

## **PROJET DETAILLE**

### **Titre du projet**

### **Evolution de la ressource en eau dans la zone méditerranéenne méridionale : Diagnostic et proposition d'outils de gestion**

#### **Mots-clés**

Ressource en eau, Fluctuations climatiques, Impact anthropique, Bassin versant, Zone méditerranéenne, Réseau Nord-Sud / Sud-Sud

### **1. Pertinence du projet**

Les analyses menées par le Plan Bleu pour l'environnement et le développement de la Méditerranée, sous l'égide du Programme des Nations unies pour l'environnement, indiquent que les régions méditerranéennes, et notamment le Maghreb, seront confrontées à l'horizon 2050 à une forte diminution et à une importante pollution de la ressource en eau (déjà observable depuis les années 90), liées à la fois au changement climatique (hot spot du changement climatique selon le 4ème rapport du GIEC) et à la pression anthropique (agriculture, industrialisation, urbanisation, tourisme...). De plus, lors des événements météorologiques extrêmes, les bassins versants de ces régions répondent de manière torrentielle, si bien que les conséquences pour les populations et les écosystèmes sont généralement catastrophiques, avec des crues et des inondations dévastatrices, des coulées de boue, des transferts de polluants dans les eaux superficielles et les nappes d'eau souterraines.

L'étude de l'évolution des ressources en eau superficielle et souterraine constitue donc un enjeu majeur pour les populations, la biodiversité et l'évolution des écosystèmes continentaux et aquatiques de ces régions.

Dans le cadre du Plan Bleu, la gestion des ressources en eau est de ce fait retenue comme 1 des 7 enjeux majeurs de développement durable en Méditerranée.

Notre étude s'inscrit dans cette thématique : elle consiste à étudier l'évolution spatio-temporelle quantitative et qualitative des ressources en eau superficielle et souterraine de 4 bassins versants de 3 pays de la zone sud méditerranéenne : Algérie, Maroc, Tunisie.

Elle aboutira à la réalisation d'une base de données numérique et cartographique de paramètres hydro-météorologiques et géomorphologiques sur les 4 bassins étudiés, utilisable par les scientifiques et gestionnaires. Un diagnostic de l'état quantitatif et qualitatif de la ressource en eau sera alors proposé à partir de la base de données, qui confronté avec les données météorologiques et socio-économiques des régions étudiées apportera les premiers éléments de réponse sur l'impact du climat et de l'homme sur la ressource. L'ensemble des données permettra alors de proposer aux décideurs des éléments et outils d'aide à la décision pour une meilleure gestion de la ressource en eau et des risques associés (crue, inondation, sécheresse, érosion, pollution...).

Le déroulement du projet se fera autour d'étudiants de Doctorat et de Master (stages). Quatre thèses en co-encadrement ou co-tutelle sont d'ores et déjà prévues. A ce titre, plusieurs séjours à Rouen pour un doctorant de Béjaïa sont déjà financés par le programme Tassili (programme en cours entre les Universités de Béjaïa et Rouen).

Sur la base de ses co-encadrements de thèses et des échanges entre les 5 partenaires, nous proposons également l'objectif pédagogique de construire une Ecole Doctorale Internationale (EDI), intitulée « Aux interfaces du développement durable », dont la vocation est de devenir le projet international structurant le partenariat entre les établissements impliqués.

Les groupes cibles seront donc les scientifiques (enseignants-chercheurs), les étudiants de Master et de Doctorat et les gestionnaires de l'eau. Ce projet a pour but de fédérer autour d'une ressource vitale, l'eau,

les partenaires institutionnels, les industriels et les universitaires.

De part son objectif général, ce projet s'inscrit dans le cadre de programmes internationaux sur la gestion intégrée des bassins versants : changement global, ressource en eau, aménagement.

Il a également pour objectif de favoriser une coopération internationale structurée entre les établissements de l'enseignement supérieur impliqués, en :

- (1) renforçant la recherche et la coopération scientifique entre la France et le Maghreb sur la question environnementale des ressources hydriques, au travers notamment de co-production scientifique ;
- (2) permettant un transfert Nord-Sud, Sud-Nord et Sud-Sud de savoir faire en sciences et techniques. En outre, les échanges entre universités partenaires contribueront au désenclavement des équipes de recherche et favoriseront l'émergence de partenariats Sud/Sud ;
- (3) constituant à plus long terme un réseau France-Europe-Maghreb sur la thématique des effets du changement climatique et de l'impact anthropique sur l'évolution de la ressource en eau en Méditerranée, en intégrant d'autres universités françaises (ex : Paris, Montpellier...) et européennes (ex : Barcelone, Cagliari...), universités avec qui nous sommes déjà en contact.

Par ailleurs, ce projet s'appuie d'ores et déjà sur :

- des conventions générales signées entre les différentes universités impliquées ;
- sur un programme existant sur la même thématique et un des bassins étudiés : « Contribution à la connaissance de la ressource en eau du bassin versant de la Soummam (Algérie) : Effet du climat, impact socio-économique pour la zone méditerranéenne méridionale », accordé et financé par le programme de coopération internationale franco-algérien Tassili (EGIDE), la Région Haute-Normandie et la Mairie et la Wilaya de Béjaïa (pour une durée de 4 ans, à partir de 2009) ;
- plusieurs rencontres et échanges entre le coordinateur B. Laignel et les coordinateurs des différentes équipes impliquées : réunions avec les partenaires algériens lors de la mission de B. Laignel à Béjaïa du 30 mai au 7 juin 2009 et avec les partenaires marocains lors de la mission de B. Laignel à Marrakech du 16 au 20 mai 2009. Une réunion est prévue avec les partenaires tunisiens au cours du 2<sup>ème</sup> semestre 2010. Ces déplacements ont été financés sur les fonds propres des laboratoires.
- 4 projets de thèses en co-encadrement ou co-tutelle concernant ces thématiques sur les 4 bassins étudiés.
- une implication et un soutien des collectivités territoriales, des organismes de recherche et des industriels. Les gestionnaires de l'eau (administrations et industriels) ont été rencontrés dans le cadre du projet Tassili sur le bassin de la Soummam en Algérie et participent au financement du projet Tassili. Il existe une convention entre l'Université Cadi Ayyad de Marrakech et l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift concernant les activités de recherches appliquées au développement durable de la région. Ce même type de démarche sera entrepris sur l'ensemble des bassins étudiés.
- un Congé pour Recherche ou Conversions Thématique (CRCT) a été accordé par la section 36 (Sciences de la Terre) du Conseil National des Universités de France pour 6 mois au coordinateur du projet B. Laignel pour le renforcement de la coopération entre l'Université de Rouen et les Universités d'Afrique, et notamment de la zone sud méditerranéenne, au travers de la mise en place de plusieurs projets bilatéraux et multilatéraux, dont le projet d'Ecole Doctorale Internationale.

## 2. Description du projet et son impact

### A. Objectif et résultats attendus

L'objectif général est de réaliser un diagnostic de l'évolution spatio-temporelle quantitative et qualitative des ressources en eau (superficielle et souterraine) de la zone sud méditerranéenne, au travers de l'étude de 4 bassins versants situés dans des contextes physiques et socio-économiques variés.

Il se décline en quatre objectifs, dont deux objectifs fondamentaux (1 et 2), un appliqué (3) et un pédagogique (4) :

(1) Confection d'une base de données numérique et cartographique de paramètres hydro-météorologiques et géomorphologiques sur les bassins étudiés,

(2) Etude de l'évolution spatio-temporelle quantitative et qualitative de la ressource en eau superficielle et souterraine,

(3) Proposition d'outils d'aide à la décision aux administrations pour une gestion optimisée et intégrée du bassin versant et de sa ressource en eau et des risques associés,

(4) Formation par la recherche, reposant sur des échanges de compétences et de formations complémentaires entre les universités concernés, et la construction d'une Ecole Doctorale internationale

Il s'agit donc d'un projet scientifique à finalités appliquée et pédagogique.

Les résultats et impacts attendus sont :

- la confection d'une base de données hydro-météorologiques et géomorphologiques commune aux scientifiques du programme et accessible aux gestionnaires,

- un diagnostic de l'état quantitatif et qualitatif de la ressource, qui confronté avec les données météorologiques et socio-économiques des régions étudiées, apportera les premiers éléments de réponse sur l'impact du climat et de l'homme sur la ressource,

- la proposition d'outils d'aide à la décision pour la prévention des crues, inondations, sécheresses, érosion et une gestion moyen et long terme adéquate des ressources en eau,

- la réalisation de publications scientifiques communes,

- le renforcement de la coopération scientifique Nord-Sud et Sud-Sud,

- la formation de jeunes chercheurs.

Les impacts généraux attendus sont, d'une part, de fédérer autour d'une ressource vitale, l'eau, les partenaires institutionnels, les industriels et les universitaires, d'autre part, de mettre en place une synergie pédagogique conduisant à l'élaboration d'un projet d'Ecole Doctorale Internationale.

### B. Sites retenus

Les bassins retenus sont : en Algérie, la Soummam (région de Béjaïa) et le Kébir-Rhumel (région de Constantine) ; au Maroc, le Tensift (région de Marrakech) ; en Tunisie, un bassin côtier du Cap-Bon.

Le bassin versant de la Soummam s'étend sur une superficie de 9125 km<sup>2</sup>. L'oued se jette dans la Mer Méditerranée au niveau de la ville de Bejaïa. Son débit moyen est estimé à 25 m<sup>3</sup>/s, mais ses crues sont violentes et dévastatrices : le débit maximal enregistré en 1970 est de 116 m<sup>3</sup>/s. Quant au débit d'étiage, il est estimé à 0,6 m<sup>3</sup>/s. Deux types de climat règnent sur le bassin versant : un climat méditerranéen humide touchant la partie basse de la vallée, et un climat continental sec caractérisé par des hivers froids et des étés chauds secs sur les plateaux dans la zone amont. La basse vallée (Soummam maritime) est caractérisée par une densité de population importante (250 hab/km<sup>2</sup>), une forte implantation de l'agriculture, de l'industrie agro-alimentaire et de l'industrie du granulat, activités fortement consommatrices d'eau et polluantes.

L'originalité du bassin du Kébir-Rhumel (8815 km<sup>2</sup>) réside dans ses caractères physiques nettement contrastés : du Sud au Nord, climat semi-aride à humide, relief plat et dénudé (Hautes Plaines) à montagneux avec un couvert forestier dense (Tell). Les fortes disparités spatiales des débits des oueds s'inscrivent dans ce compartimentage physico-climatique, auquel s'ajoute un contexte géologique très hétérogène.

Les ressources en eau du bassin sont sollicitées par des aménagements divers (barrages, retenues collinaires...) qui modifient l'écoulement naturel, de l'amont à l'aval du bassin. Ces aménagements subissent eux-mêmes des nuisances (rejets polluants, apport solides et engorgement) et sont sujets à des pertes karstiques (cas de Hammam Grouz sur le Rhumel). L'aménagement le plus marquant, d'envergure régionale, est celui du système de transfert inter-bassins des eaux de l'oued Kébir, régularisées par le barrage de Beni Haroun (capacité : 1 milliard de m<sup>3</sup>). Cet aménagement complexe s'efforce de répondre, moyennant d'importantes infrastructures de pompage, de régulation et de traitement, aux besoins croissants en eau potable des populations (AEP de la ville de Constantine et d'une trentaine d'agglomérations) et à

ceux de l'irrigation des terres des Hautes Plaines (40 000 ha au total) qui souffrent d'un déficit hydrique marqué.

Situé au centre ouest du Maroc, le bassin du Tensift-Ksob s'étend sur une superficie de l'ordre de 24 800 km<sup>2</sup> et comporte quatre domaines géographiques différenciés : (1) le Haut Atlas au Sud, zone de montagne formant les plus hauts reliefs du Royaume avec comme point culminant à 4167 m, le Jbel Toubkal ; (2) la plaine du Haouz et le bassin de Mejjate au centre sous forme d'une dépression d'une superficie de 6 000 km<sup>2</sup>, allongée d'Est en Ouest et large de 40 km, traversée par la majorité des affluents de la rive gauche de l'oued Tensift drainant les eaux de la chaîne atlasique ; (3) les Jbilet au Nord, montagnes de faible altitude, émergent au Nord de la plaine du Haouz ; (4) le bassin d'Essaouira-Chichaoua à l'Ouest, constitué d'un vaste plateau à topographie tourmentée, constituant la transition entre les plaines intérieures et le Haut Atlas.

Administrativement, cette zone s'étend sur six préfectures et provinces. Selon le recensement de 2004, la population du bassin était de 2 723 097 habitants (dont 39.3% en milieu urbain et 60.7% en zone rurale), soit près de 9,11% de la population du Royaume.

L'activité économique est basée sur l'agriculture et l'élevage, mais également sur l'industrie agro-alimentaire, l'artisanat, les mines et le tourisme. L'agriculture moderne (périmètres irrigués) occupe une place importante. L'assolement du sol est constitué fondamentalement par les céréales et l'arboriculture. Dans la région de Marrakech, on note une urbanisation en flèche, un tourisme florissant (hôtels de luxe, piscines, saunas, golfs...), concentrant des activités grandes consommatrices d'eau. Le bassin comporte également un port à Essaouira où une activité de pêche se développe.

Le bassin étudié se situe sur la plaine de la côte orientale du Cap-Bon (Tunisie), laquelle s'étend sur une superficie de 430 Km<sup>2</sup>. Elle se présente sous la forme d'une bande côtière s'ouvrant sur la mer avec un front de 50 Km, et n'ayant une extension vers l'arrière pays que de 8 Km en moyenne. On constate une invasion de la nappe phréatique au Sud Ouest de la ville de Nabeul où la salinité a dépassé 7 g/l dans une large zone, atteignant 10 g/l par endroits, et provoquant ainsi la désaffectation des puits, l'arrêt de la mise en valeur et l'exode et l'abandon des terrains. En effet, la salinisation de plus en plus accentuée le long de la côte explique l'abandon d'une bonne proportion des puits de surface (2873 puits abandonnés) et par conséquent le fléchissement de l'exploitation et la détérioration de la qualité des eaux de la nappe au cours de ces dernières années.

### **C. Programme de travail**

Le programme de travail est organisé autour des quatre objectifs définis précédemment.

#### **C1. Base de données hydro-météorologiques et géomorphologiques**

Face à la raréfaction et à la dégradation de la qualité de la ressource en eau, les études à la fois quantitative et qualitative sur cette dernière se sont multipliées ces dernières années au Maghreb. Néanmoins, les différents travaux restent trop souvent ponctuels sans de véritable centralisation. Il en résulte que les données sur l'eau sont souvent éparpillées dans les différentes administrations et entreprises (bureaux d'études, industriels consommateurs d'eau...) algériennes, marocaines et tunisiennes.

Nous proposons donc de rassembler les données, non seulement hydro-météorologiques, mais également géomorphologiques, sur 4 bassins versants pour chacun des pays concernés, sous la forme d'une base de données numérique et cartographique.

Il s'agira donc de faire un travail de communication auprès des organismes d'état et des industriels afin de les sensibiliser : (1) au problème de la raréfaction et de la dégradation de la ressource en eau et ainsi de les fédérer autour de cette ressource vitale, (2) à l'importance de réaliser une base de données pour suivre précisément l'évolution de la ressource. Ce travail permettra ainsi d'acquérir et de centraliser les données nécessaires à cette étude.

Trois types de données seront centralisés dans les bases de données numériques :

- des données météorologiques : précipitations, température de l'air ;
- des données hydrologiques : hauteur d'eau ou débit des rivières, niveau piézométrique des nappes souterraines, données qualitatives tels que pH, MES, DBO, DCO, O<sub>2</sub> dissous, faciès hydrochimique (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>), métaux (Na, K, Mg, Li, Zn, Hg, Cu, Pb), nitrate, phosphate, MO, HAP (selon les données disponibles par bassin : il va de soi que selon les bassins, les données qualitatives seront plus ou moins nombreuses et ponctuelles et que la base de données sur ce point sera différente) ;
- des données géomorphologiques, pris au sens large : morphologie (aire, pente...), géologie, occupation du sol (forêt, prairie, cultures, zones urbanisées), aménagement (barrage...) des bassins.

Deux bases de données seront ainsi proposées :

- une base de donnée temporelle basée, selon le type de données, sur des mesures journalières, hebdomadaires, mensuelles, annuelles sur plusieurs années, voire sur plusieurs décennies (par exemple on sait que pour les données météorologiques ou de débit, les mesures sont généralement journalières, alors que pour les données qualitatives, celles-ci sont souvent plus ponctuelles) ;
- une base de données spatiales cartographique reposant sur l'utilisation de SIG (Système d'Information Géographique) tel que Arc View. Cette base de données cartographique constituera un premier exemple d'atlas intitulé « L'eau dans son environnement méditerranéen ».

Outre la réalisation d'une base de données numériques accessibles aux scientifiques et gestionnaires pour le traitement de l'évolution de la ressource qui constitue l'objectif principal, la cartographie spatiale permettra également de repérer les zones à faible densité d'information, voire où l'information est absente, et donc d'attirer l'attention sur les zones qui doivent être équipées de stations de mesures.

## **C2. Evolution spatio-temporelle quantitative et qualitative de la ressource en eau**

Un fois la base de données numérique élaborée, à partir de celle-ci, il sera alors possible de dresser un diagnostic de l'évolution spatio-temporelle quantitative et qualitative de la ressource en eau (superficielle et souterraine). Ce dernier se déclinera en trois axes :

- Quantifier les ressources en eau superficielle et souterraine des bassins versants et les flux associés (à partir des hauteurs d'eau et des débits pour les rivières et des niveaux piézométriques pour les nappes souterraines),
- Effectuer un état des lieux sur la qualité des ressources en eau,
- Comprendre la variabilité de la ressource (c'est à dire son évolution) à différentes échelles scalaires temporelles (crue, cycle hydrologique, décennie...) et spatiales (bassin, sous-bassin).

Les méthodes utilisées seront de 4 types :

- Caractérisation des régimes hydrologiques (classification des débits et de la piézométrie),
- Analyses statistiques inférentielles (test de tendance, loess afin de définir des tendances à l'augmentation, à la diminution ou à la stabilité des variables hydro-météorologiques, analyses fréquentielles pour définir les périodes de retour des événements extrêmes : crue/inondation, étiage/sécheresse...),
- Analyses corrélatoires et spectrales (définition de la réponse hydrologique du bassin à la pluie),
- Analyses en ondelettes (détermination des périodicités et des ruptures dans les signaux hydrologiques).

La comparaison de l'évolution hydrologique entre les 4 bassins avec les données climatiques (précipitation, température, régime climatique) et socio-économiques (démographie, urbanisation, industrialisation...) des régions étudiées permettra d'apporter les premiers éléments de compréhension des impacts climatiques et anthropiques sur l'évolution des ressources hydriques et de poser les bases d'un nouveau projet relatif à ces facteurs et étendu à d'autres régions méditerranéennes.

A titre d'exemples :

- les diagnostics sur l'évolution quantitative et qualitative de la ressource pourront être mis en parallèle avec la consommation d'eau et les rejets domestiques et industriels, et ainsi mieux appréhender la part anthropique dans l'évolution de la ressource ;
- la mise en évidence de modes de variabilité annuelle et/ou pluriannuelle et de ruptures dans les données hydro-météorologiques à partir des méthodes d'analyse du signal pourront être confrontés aux fluctuations climatiques d'indice tel que la NAO (Nord Atlantique Oscillation), et ainsi mieux cerner le rôle du climat sur la variabilité hydrologique.

## **C3. Proposition d'outils d'aide à la décision**

Depuis les années 90, les régions du Sud de la Méditerranée, et notamment du Maghreb, connaissent une intensification des sécheresses à l'origine d'une diminution des ressources en eau, ainsi qu'une augmentation de l'intensité des événements extrêmes provoquant de graves inondations. Au facteur climatique s'ajoute la contrainte anthropique qui accentue la diminution de la ressource au travers l'expansion d'activités consommatrices d'eau.

Par ailleurs, on note également une dégradation de la qualité des eaux, liée en partie à la modification climatique, mais surtout à l'urbanisation et à l'industrialisation croissante à l'origine de rejets (plus ou moins traités) dans les rivières.

Cependant, ces régions tirent une partie de leur richesse économique de cette ressource en eau, grâce notamment à l'utilisation de celle-ci par l'industrie, l'agriculture, le tourisme... Il convient donc pour conserver l'équilibre économique et social de ces régions de veiller à une bonne gestion de cette ressource.

Cette étude aura ainsi comme objectif appliqué de proposer des outils d'aide à la décision aux administrations pour une gestion optimisée et intégrée de la ressource en eau superficielle et souterraine. Seront ainsi concernés :

- la prévention des crues, des inondations des sécheresses et de l'érosion,
- la gestion optimisée et la préservation des nappes d'eaux souterraines et des cours d'eau,
- l'intégration de l'évolution des ressources en eau du Maghreb dans le cadre global du changement climatique pour une gestion moyen et long terme adéquate des ressources,
- la gestion optimisée de l'occupation du sol et de ses ressources, et notamment de l'urbanisation.

L'analyse couplée de la dynamique des pluies et des inondations majeures dans la région permettra de mettre en évidence des types de temps à risque (orages – perturbations actives). Les méthodes de traitement du signal présentées précédemment permettront, quant à elle, de déterminer non seulement le temps de réponse de la rivière et de son bassin à la pluie (réponse impulsionnelle), mais également l'effet mémoire d'une crue (c'est à dire le temps nécessaire pour qu'une crue n'est plus d'effet sur l'hydrosystème), et ainsi apporteront un outil précieux aux décideurs pour la prévention des crues et des inondations vis à vis de la population et la mise en place de cellule de crise.

Les mêmes méthodes appliquées aux signaux pluie et piézométrie permettront de proposer une gestion optimisée de la ressource en eau souterraine en déterminant, par exemple, les périodes clés de pompage pour en diminuer ses effets. Selon les résultats, des solutions pourront également être avancées pour optimiser la recharge de la nappe...

Par ailleurs, l'analyse spatiale croisée des pollutions et des sources de rejets, permettra de cibler les zones problématiques où il conviendra de proposer des solutions adaptées et prioritaires, notamment en terme de station d'épuration.

Nous tenterons également de repositionner l'évolution des ressources en eau superficielles et souterraines du Maghreb dans le cadre global du changement climatique, qui se marque dans cette région par une intensification marquée des sécheresses et des événements extrêmes. Pour cela des comparaisons concernant les relations potentielles entre la variabilité hydrolo-météorologique (relation pluie/débit, pluie/piézométrie...) et les fluctuations climatiques (indices climatiques) seront effectuées entre les 4 bassins étudiés au Maghreb et d'autres bassins situés dans différents contextes climatiques et étudiés notamment par l'UMR M2C de Rouen (zone tempérée, sahélienne). Ce travail sera susceptible d'apporter des éléments de réponse pour une gestion moyen et long terme adéquat de la ressource en eau.

La cartographie SIG des bassins, et notamment du projet d'atlas, pourra permettre de proposer une gestion optimisée de l'occupation du sol et de ses ressources, et notamment de l'urbanisation, qui reste encore trop souvent anarchique dans ces régions.

#### **C4. Objectif pédagogique : Formation par la recherche**

Outre les objectifs développés en recherche, ce projet affiche également des objectifs pédagogiques, reposant sur des échanges d'enseignants-chercheurs, la mise en place d'interventions complémentaires dans les masters respectifs des universités concernées, des propositions de stages et des co-encadrements d'étudiants de master, la mise en place de thèses en co-encadrement ou en co-tutelle, la construction d'une Ecole Doctorale Internationale.

4 projets de thèses en co-encadrement ou en co-tutelle concernant ces thématiques sur les 4 bassins étudiés sont prévus. Le Laboratoire M2C de Rouen accueillera ces 4 doctorants sur une période de 3 mois. 3 demandes de financement (séjour et billet d'avion) seront demandées à l'AUF, le quatrième doctorant sera pris en charge dans le cadre du programme Tassili entre les universités de Rouen et de Béjaïa.

Nous proposons l'élaboration d'une Ecole Doctorale Internationale (EDI) intitulée « Aux interfaces du développement durable ». Une maquette a déjà été élaborée entre les 5 équipes du projet et sera proposée à 8 autres partenaires (Montpellier, Avignon, Dijon, Metz, Alger, Boumerdès, Fès, Tunis). Cette EDI visera à réunir des compétences scientifiques et des programmes de doctorat de très haute qualité universitaire, développés conjointement par des universités européennes et maghrébines sous la forme d'un consortium d'Ecoles Doctorales. La création de L'EDI a ainsi vocation à devenir le projet international structurant le partenariat entre les établissements impliqués. Nous prévoyons un dépôt du dossier à l'ERASMUS MUNDUS-Zone Maghreb en avril 2011 ou 2012.

#### **D. Calendrier du projet**

Le calendrier du projet s'articule de la façon suivante :

- Construction de la base de données numérique et cartographique : années 1 et 1<sup>er</sup> semestre année 2
- Diagnostic de l'évolution spatio-temporelle quantitative et qualitative de la ressource en eau (superficielle et souterraine) : année 2
- Premiers éléments concernant la mise en évidence des effets du climat et de l'impact anthropique sur l'évolution de la ressource : 2<sup>ème</sup> semestre année 2
- Propositions aux décideurs d'outils pour une meilleure gestion de la ressource : 2<sup>ème</sup> semestre année 2
- Construction d'une ED Internationale : dépôt du dossier à l'ERASMUS MUNDUS en avril 2011 ou 2012.
- 4 séminaires de travail : année 1 : au Maroc et en Tunisie, année 2 en Algérie et en France
- Accueil de 4 doctorants en France sur une période de 3 mois (1 financée par le projet Tassili et 3 par l'AUF): années 1 et 2
- Diffusion des résultats sous forme de CD, d'articles dans la presse et publications scientifiques communes, mise en place d'un site Internet : années 1 et 2

### 3. Composition et descriptif des travaux de chaque partenaire

#### Partenaires - Rôles

Pays	Equipes	Coordinateur d'équipe	Rôles
France	UMR CNRS 6143 (M2C), Univ. Rouen et Caen	B. Laignel, PR	Coordination du projet Géomorphologie, Hydroclimatologie
Algérie	Laboratoire 3BS Univ. Béjaia	K. Madani, MCF	Base données, Qualité des eaux
	Faculté Sc. Terre Dép. Aménagement Territ., Univ. Constantine	A. Mebarki, MCF	Base données, Géomorphologie, Hydrologie et aménagement
Maroc	Lab. GEOHYD, Univ. Marrakech	N.E. Laftouhi, PR	Base données, Hydrogéologie, Hydrogéochimie
Tunisie	I.N.R.G.R.E.F, Ariana	N. Gaaloul, MR	Base données, Hydrologie, Hydrogéologie, Modélisation de Nappes et recharge

#### **UMR CNRS 6143 Morphodynamique Continentale et Côtière (M2C), Université de Rouen**

L'UMR 6143 «M2C : Morphodynamique continentale et côtière » possède une expérience solide et reconnue dans le domaine des transferts hydro-sédimentaires dans le continuum continent-mer et tente de mieux comprendre les rôles respectifs du climat et de l'homme sur l'évolution des géosystèmes continentaux et côtiers. Elle s'appuie sur des mesures haute-fréquence aussi bien dans le domaine continental (bassins versants superficiel et souterrain) que côtier (estuaire, plage), permettant ainsi d'étudier de manière très rigoureuse les processus de transfert hydro-sédimentaires et d'établir des bilans très précis de ces transferts, constituant ainsi une forte spécificité de notre UMR.

De plus, depuis plusieurs années, l'équipe M2C de l'Université de Rouen tente de comprendre de quelle manière le climat s'exprime dans les systèmes hydrologiques, en travaillant dans le cadre de nombreux programmes régionaux, nationaux et internationaux et de thèses sur des systèmes hydrologiques situés : (1) dans différents contextes climatiques et géomorphologiques de part et d'autre de la Mer Méditerranée et de l'Océan Atlantique, (2) dans différents compartiments hydrologiques (surface et souterrain), (3) à différentes échelles spatiales (du petit BV d'une superficie inférieure à 1000 km<sup>2</sup> au grand fleuve mondial).

Ce projet, en cohérence avec les thématiques de notre unité, s'inscrit donc dans l'esprit pluridisciplinaire qui constitue le point fort de cette équipe et dans l'ouverture internationale de renforcement de la coopération scientifique avec l'Afrique.

Nom - Prénom	Responsabilité dans le projet	Emploi actuel	%
Laignel Benoit	Coordinateur, Géomorphologie, HydroClimatologie	PR	50
Dupont Jean-Paul	Variabilité hydrologique	PR	10
Massei Nicolas	Variabilité hydrologique/Fluctuation climatique	MCF	20
Jardani Abdel	Variabilité hydrologique : traitement, modélisation	MCF	10
Fournier Matthieu	Traitement statistique des variables hydrométéorologiques	MCF	10
Hauchard Emmanuel	Géomorphologie/outils de gestion	Ch. Assoc.*	10

\* Chercheur Associé à l'UMR M2C (Ingénieur principal, CODAH, Le Havre)

#### **Laboratoire Biochimie Biophysique Biomathématiques et de Scientométrie (3BS) ; Equipe : Génie de l'Environnement, Université de Béjaia**

L'équipe Génie de l'Environnement du Laboratoire 3BS de l'Université de Béjaia est composée de biologistes et de chimistes qui s'intéressent à la caractérisation physico-chimique des eaux et à l'épuration des rejets industriels et urbains dans les eaux. Les paramètres physico-chimiques analysés dans les eaux sont : température, pH, oxygène dissous, conductivité, concentration en MES, DBO5, DCO, métaux (Na, K,

Mg, Li, Zn, Hg, Cu, Pb), MO, HAP.

Dans le cadre du programme Tassili, qu'elle coordonne avec l'UMR M2C de Rouen, l'équipe assure le suivi haute-fréquence des flux hydriques et sédimentaires et leur caractérisation physico-chimique sur le bassin versant de la Soummam, bassin retenu dans le cadre de ce projet.

Nom - Prénom	Responsabilité dans le projet	Emploi actuel	%
Madani Khodir	Instrumentation et analyse/Coordinateur activités Soummam	MCF	50
Chibane Mohammed	Recherche historique des événements de types crues, inondations, coulées de boues, sécheresses / Compilation des données hydro-météorologiques	PR	50
Maane Samira	Suivi de la qualité des eaux de surface	CC*, Doct.	50
Merzouk Belkacem	Épuration des eaux	MCF	50
Bechroune abdelhakim	Système d'information géographique (numérisation et cartographie)	Doct.	50
SAHLI Youcef	Variabilité hydrologique, traitement et modélisation. Interaction eaux de surface eaux souterraine	Doct.	50

\*CC : Chargé de Cours

**Faculté Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement Territoire, Département d'Aménagement du Territoire (et Laboratoire LGE) - Université Mentouri de Constantine**

L'équipe de chercheurs (doctorants, magistérants, étudiants-ingénieurs de fin de cursus) mènent des travaux en hydrologie sous la direction de Mr Mebarki A. Ils portent sur plusieurs bassins hydrographiques de l'Est algérien, et le bassin du Kébir- Rhumel en particulier : contextes physiques, évaluation des états du cycle hydrologique, variabilité spatio-temporelle des écoulements, barrages et transferts inter-bassins, aménagement et gestion de l'eau urbaine et agricole. Le Laboratoire de géologie et environnement (M. Benabbas C., LGE), mène des travaux en collaboration et s'intéresse à des thèmes complémentaires (géologie, géo-risques et environnement, hydrogéologie, pollution) axés, en partie, sur le Kébir-Rhumel, bassin concerné par un vaste aménagement hydraulique intégré (transfert de Béni Haroun).

Nom - Prénom	Responsabilité dans le projet	Emploi actuel	%
MEBARKI Azzedine	Coordinateur activités BV. Kébir-Rhumel, hydrologie, ressources en eau, aménagement	MCF	50
BENABBAS Chaouki	Géodynamique des bassins versants	MCF	25
MIHOUBI Naouel	Hydrologie- hydrogéologie (bassin du haut - Rhumel)	Doctorante	50
BOUSSETI Sandra	Ressources et gestion eau urbaine (Constantinois)	Maître assistant, Doctorante	20
BOUTERAA Walid	Hydrogéol., gestion intégrée ressources en eau	Doctorant	20

**Laboratoire GEOHYD, Département de Géologie, Université Cadi Ayyad de Marrakech**

Le Laboratoire [Géostructures, géomatériaux et ressources hydriques], en abrégé *GEOHYD* est une structure de recherche accréditée au Département de Géologie de la Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech relevant de l'Université Cadi Ayyad. C'est également l'une des cinq structures Marocaines de

recherche en géologie, associées et parrainées par le Centre National Marocain de Recherche Scientifique et Technique (CNRST de Rabat). Son champ d'activité couvre essentiellement les différents aspects de la géologie appliquée aux ressources naturelles (géomatériaux, eau et environnement).

GEOHYD compte en son sein, douze Professeurs attirés et permanents dont sept Professeurs de l'Enseignement Supérieur (PES) et cinq Professeurs de l'Enseignement Supérieur Associés (PA). Le Laboratoire compte aussi actuellement une quinzaine de doctorants travaillant sur les axes de recherche du Laboratoire dont principalement l'impact des changements climatiques et des activités anthropiques sur les ressources en eau dans les régions semi arides et l'application des nouvelles technologies (SIG, MNT, simulation, etc.) à l'évaluation des ressources en eau et des ressources minérales.

Le laboratoire bénéficie de l'appui inestimable de ses partenaires locaux et nationaux (Agences de bassins; ABH (Tensift, Draa, Oum Er-Bia, Sidi Slimane, etc.), Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole; ORMVA (Haouz, Tadla, Souss, Draa, etc.) ainsi qu'internationaux (Europe, USA...).

Nom - Prénom	Responsabilité dans le projet	Emploi actuel	%
Laftouhi Nour-Eddine	Responsable activités côté Marocain Variabilité hydrologique,	PR	35
El Alaoui Laouini My Driss	Variabilité hydroclimatique, mesures hydrologiques, compilation synthèse données existantes	Doct.	50
Saad Aicha	Interaction eaux de surface eaux souterraines, compilation synthèse données existantes	Doct.	35
Ait El Mekki Ouassil	Interaction eaux de surface eaux souterraines, mesures hydrologiques, compilation synthèse données existantes	Mast. 2	50

#### **Laboratoire des Sciences et Valorisation des Ressources en Eau – Sol, INRGREF , Université 7 novembre**

L'INRGREF (Tunisie) est un Institut de Recherche relevant de l'Institution de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur Agricole (IRESA). Il couvre les recherches relatives au Génie Rural, Eaux et Forêts. Les missions de l'INRGREF consistent à la contribution à l'élaboration de la politique nationale de recherche dans les domaines des Eaux, des Forêts et du Génie Rural, l'organisation et l'exécution de toute recherche scientifique en relation avec les domaines précités, la participation à la protection, à la conservation et à la rationalisation de l'exploitation des ressources naturelles et de l'espace rural et la valorisation des résultats de recherche et de son savoir-faire scientifique. Les thèmes de recherche concernent notamment l'Hydrologie, l'Hydrogéologie, la maîtrise et l'économie de l'eau pour l'irrigation, l'utilisation des eaux saumâtres, réutilisation des eaux usées et des boues résiduaires, les problèmes de la salinité des eaux et sols, la recharge naturelle et artificielle des nappes. L'INRGREF participe à plusieurs programmes et projets de recherche et de formation avec les pays Arabes et d'Afrique du Nord, les pays d'Europe, les Etats Unis d'Amérique et le Canada, les pays d'Asie, l'Union Européenne et les plusieurs organisations internationales (CIHEAM, ACSAD, ICARDA, AIEA, FAO, IRD, CEMAGREF).

L'équipe de la Gestion intégrée des eaux de ruissellement - Eaux souterraines du Laboratoire des Sciences et Valorisation des Ressources en Eau – Sol au sein de l'INRGREF (Université de 7 Novembre - Carthage) a vocation à former des spécialistes de haut niveau et des chercheurs (après un doctorat) dans un domaine spécifique des Sciences et Technique de l'Eau et l'Environnement. L'équipe est composée d'hydrologues, d'hydrogéologues, des modélisateurs, de chimistes et un économiste qui s'intéressent à la gestion des ressources en eaux pour un environnement durable en agriculture.

L'équipe Hydrologie-Hydrogéologie compte aussi actuellement trois doctorants, une dizaine de Master et PFE travaillant sur les axes de recherche du laboratoire dont principalement l'évolution spatio-temporelle quantitative et qualitative de la ressource en eau, Hydrogéologie des nappes et gestion intégrée des eaux souterraines, Recharge des nappes phréatiques à partir des eaux usées traitées, l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau et l'application des nouvelles technologies (SIG, SIH, MNT, Modélisation, simulation, etc.) à l'évaluation des ressources en eau.

Nom - Prénom	Responsabilité dans le projet	Emploi actuel	%
Noureddine GAALOUL	Responsable activités côté Tunisien Modélisation et Interaction eaux de surface eaux souterraine	M.R	50
Safouene MOUELHI	Variabilité hydrologique, traitement et modélisation eaux de surface	C.R	10
Oufa MAHJOUB	Suivi de la qualité des eaux de surface et souterraines	C.R	10
ALi CHEBIL	Traitement des données socio-économiques	C.R	5
Moncef Rekey	Hydrogéologie des Bassins	A.R	5
Noureddine Saidi	Modélisation de biseau salé et recharge de nappe	Doc.	10
Wiem Chabaane	Modélisation de biseau salé et recharge de nappe	Doc.	10

### Références bibliographiques

Choix des 5 publications les plus significatives par équipes

UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen

LAIGNEL B., DUPUIS E., DURAND A., DUPONT J.P., HAUCHARD E., MASSEI N., 2006 - Erosion balance in the loamy watersheds of the Western Paris Basin from the continuous measurement in the surface water. *C. R. Geoscience*, 338, 556-564

MASSEI N., DURAND A., DELOFFRE J., DUPONT J.P., LAIGNEL B., VALDES D., 2007 - On the influence of North Atlantic Oscillation on rainfall variability in northwestern France over the past 35 years. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres. J.G.R.*, 112.

MASSEI N., LAIGNEL B., DELOFFRE J., MESQUITA J., MOTELAY A., LAFITE R., DURAND A., 2009 - Long-term hydrological changes of the Seine river flow (France) and their relation to the North Atlantic Oscillation over the period 1950-2008. *International Journal of Climatology*, DOI 10.1002/joc.20022.

MASSEI N., LAIGNEL B., ROSERO E., MOTELAY-MASSEI A., DELOFFRE J., YANG Z.-L. - Wavelet analysis of the long-term variability of streamflow in the Mississippi river basin in relation with climate changes. *International Journal of Climatology*, Accepté après révision en mars 2008.

VALDES D., DUPONT J.P., LAIGNEL B., OGIER S., LEBOULANGER T., MAHLER B.J., 2007 - A spatial analysis of structural controls on karst groundwater geochemistry at a regional scale. *Journal of Hydrology*, 340, (3-4): 244-255.

Laboratoire 3BS – Equipe Génie de l'Environnement, Université de Béjaia

MERZOUK B., MADANI K., SEKKI A., 2010. Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. *Desalination*, 250, 2, 15, 573-577.

MERZOUK B., GOURICH B., SEKKI A., MADANI K., CHIBANE M., 2009. Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation–electroflotation technique: A case study. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 1, 215-222.

MERZOUK B., GOURICH B., SEKKI A., MADANI K., VIAL C., BARKAOUI M., 2009. Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process. *Chemical Engineering Journal*, 149, 1-3, 207-214.

MADANI K., CHIBANE M., ALOUI S., BENMEZIANE F., 2009. Quantification of the degree of organic and organic pollution of Béjaia. *Medcoast 09 International conference Sochi (russia) November 10-14-2009*. [www.medcoast.org.tr](http://www.medcoast.org.tr).

MAANE S., LAIGNEL B., MOTELAY-MASSEI A., MADANI K., CHIBANE M. In press - Spatial and temporal variability of water quality of an urbanized river in Algeria: Soummam Wadi. In press to *Water*

Faculté Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire, Département d'Aménagement du Territoire (et LGE) Université Mentouri de Constantine

- MEBARKI A. et THOMAS C., 1988, Analyse des relations entre écoulements superficiels et souterrains à partir des hydrogrammes des cours d'eau. Application au bassin du Kébir-Rhumel dans le Constantinois (Algérie), Hydrologie continentale, O.R.S.T.O.M., Paris, vol. 3, n°2, 1988, pp. 89-103 [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_4/hydrologie\\_cont/26515.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/hydrologie_cont/26515.pdf)
- MEBARKI A., 2000, Etiages, rejets et protection des ressources en eau des bassins « méditerranéens » de l'Algérie orientale, Géocarrefour (Revue de Géographie de Lyon), Vol 75 - 4/2000, pp.399-416. <http://geocarrefour.revues.org/sommairepersee166649.html>
- MEBARKI A., 2007, Les bassins hydrologiques de l'Algérie orientale: ressources en eau, aménagement et environnement, Paris, La Houille Blanche, n°2/2007, pp.112-115 [www.shf-lhb.org/10.1051/lhb:2007027](http://www.shf-lhb.org/10.1051/lhb:2007027)
- MEBARKI A., BENABBAS C. ET GRECU F., 2008, Le système « Béni-Haroun » (oued Kébir-Rhumel, Algérie): aménagements hydrauliques et contraintes morpho-géologiques, Analele universitatii bucurestii geografie anul LVII 2008 pp. 37-51
- MEBARKI A., 2009, Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'Est, Office des Publications Universitaires, Alger, 2009, 389 p.

Laboratoire GEOHYD, Université Cadi Ayyad de Marrakech

- N. LAFTOUHI, M. VANCLOOSTER, M. JALAL, O. WITAM, M. ABOUFIRASS, M. BAHIR AND E. PERSOONS, 2003. Groundwater nitrate pollution in the Essaouira Basin (Morocco). C.R. Geosciences, 335, 307-317.
- N. LAFTOUHI AND E. PERSOONS, 2007. Influence of climatic variations on water resources and the hydrologic regime of the Qsob River (Essaouira-Morocco). In: Climatic and anthropogenic impacts on the variability of water resources, G. Mahé (Sci. Ed.), FRIEND International Seminar, Technical Document in Hydrology No. 80, UNESCO Paris Ed., 87-100.
- OUYSSSE S., LAFTOUHI N., TAJ-EDDINE K., 2008. Impact of the variations of climate on the water resources in the Draa catchment (Morocco): Analysis of the rainfall regime and groundwater recharge in the Draa basin-. Oral presentation in the XXXVI IAH International Association of Hydrogeologists, Toyama Japan: 28/10- 01/11/2008.
- LAFTOUHI N., MOUNDI Y., TAJ-EDDINE K., 2008. Understanding and identification of hydrological processes in the Tensift catchment area (Morocco) using the hydrological model CEQUEAU- 2008 33<sup>rd</sup> International Geological Congress- Oslo- Norway (Norvège)- August, 6-14, 2008 (<http://www.cprm.gov.br/33IGC/1442398.html>).
- SAAD A., LAFTOUHI N., TAJ-EDDINE K., 2009. Mise en évidence de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eaux souterraines a l'échelle du bassin versant: cas du bassin versant n'fis (Haouz - Marrakech Maroc)- - Geographia Technica, Issue 1-2009 ([http://studiacrescent.com/abstracts/issue-nr.-7-\(1-2009\)\)](http://studiacrescent.com/abstracts/issue-nr.-7-(1-2009))).

**Laboratoire des Sciences et Valorisation des Ressources en Eau – Sol, INRGREF , Université 7 novembre**

- GAALOUL N., 2008. Gestion intégrée des ressources en eaux souterraines : cas de la plaine du Cap Bon. La Houille Blanche. Revue Internationale de l'Eau, Publications SHF. N°5-2008 .pp.38-44.
- GAALOUL N., PLIAKAS F., KALLIORAS A., MARINOS P., 2008. Seawater intrusion in Mediterranean porous coastal aquifers: Cases from Tunisia and Greece. 8th International Hydrogeological Congress of Greece , Eds. G. Migiros., G. Stomatis, G. Sroumaras, V°1, pp.281-290.
- GAALOUL N., REKAYA M., JLASSI F., 2008. Salinisation des eaux souterraines de la nappe phréatique de la Côte Orientale au nord-est de la Tunisie. Revue Géologues, N°159 , pp.59-64.
- FERREIRA J.P., OLIVEIRA L., ROCHA E., GAALOUL N., 2009. L'analyse des composantes de l'environnement, sociales et économiques pour la recharge des nappes artificielles. 9ème Symposium d'Hydraulique et de Ressources (SILUSBA), 28-30 Octobre 2009, Benguela, Portugal.
- GAALOUL N., 2009. Un Système d'Information Géographique (SIG) pour l'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère côtier du Cap-Bon (Tunisie).Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, 2-4 décembre 2009, Hammamet, Tunis Edition 1, pp.247-250.