

Etudes sur la gestion de l'eau dans la vallée de l'Arghen, Maroc



Vallée de l'Oued Arghen

PREAMBULE

Ce document contient trois études effectuées de Mars à Septembre 2018 dans le cadre d'une collaboration entre Experts-Solidaires et AgroParisTech Montpellier, avec le soutien financier de la Fondation SIWA-FGTO, du département de l'Hérault et de l'AERMC, le soutien technique de l'Agence de Bassin du Souss Massa, la participation d'un étudiant de l'Ecole Hassania des Travaux Publics et de HEE, bureau d'étude de Taroudannt.

Ces études font suite à une demande des présidents de communes de la vallée de l'Arghen, située dans l'Anti Atlas de mieux connaître la situation de l'eau dans la vallée, pour s'adapter et résister aux changements des conditions climatiques et pluviométriques dans la vallée.

Elles s'inscrivent dans la continuité du Schéma d'Aménagement et de la Gestion Intégrée de l'Eau (SAGIE) préparé en 2008 par l'Agence Bassin Hydraulique du Souss Massa, avec le soutien du Département de l'Hérault.

Les trois études ont été réalisés par

- Romain DEVILLARD, AgroParisTech
- Zoélie DUPERIER, AgroParisTech
- Anaïs MAYAU, AgroParisTech
- Ayoub BENKOU, HEE
- Oussama RAFIQ, EHTP Casablanca

Avec le soutien et le contrôle bienveillant de membres de l'association Experts Solidaires

- Gilian CADIC
- Serge MIQUEL

OBJECTIFS DE CES ETUDES

Ces études avaient pour objectif de fournir à l'Agence de Bassin Hydraulique du Souss Massa, dont le rôle est d'organiser en charge de la gestion de l'eau sur la région Sous Massa des éléments permettant de mettre en place des moyens de suivi des nappes et de protection contre les crues.

Sur la base des études présentés, l'Agence de Bassin de Sous Massa a décidé d'engager une campagne de forage de reconnaissance dans la vallée de l'Arghen afin d'assurer le suivi des nappes, et lancer une étude technique approfondie pour la réalisation d'ouvrages de limitation contre les crues.

INTRODUCTION par Serge Miquel

Que de chemin parcouru depuis 2008 !

A l'origine, le concept de mise en place d'une opération de Gestion Globale de l'Eau dans la vallée de l'Arghen avait surpris, car il s'agissait de lancer une démarche nouvelle, une étude originale, sur un territoire hydrographique dépourvu d'informations, notamment sur les ressources en eau et la climatologie.

L'importance donnée à la nécessaire mise en place d'une Gouvernance de bassin, avait aussi étonnée, du fait que les seules considérations techniques traditionnelles, ne semblaient alors ne plus être essentielles !

Par la suite, la construction puis l'approbation du SAGIE, ont démontré que le puzzle des opérations thématiques pouvait se reconstituer efficacement au sein d'un cadre hydrographique pertinent, grâce à une méthodologie adaptée, définissant les enjeux et les objectifs clairement identifiés et décidés collégialement.

Ainsi du « *global au local* » et du « *local au global* », les projets thématiques sur l'eau potable et l'assainissement, ceux relatifs à l'abreuvement des cheptels, les protections localisées ... ont pu être réalisés en toute cohérence et maîtrise des impacts.

Aujourd'hui, dans la poursuite du développement du SAGIE, il n'est donc pas étonnant de compléter la connaissance et de mettre en place des dispositifs pour assurer une meilleure gestion de l'eau, pour limiter les risques des inondations et de fait rassurer les populations d'aujourd'hui et de demain.

« *Mieux connaître, pour mieux agir* », trouve ainsi réponse, avec l'étude conduite pour renforcer la piézométrie. Ce réseau patrimonial qui verra prochainement le jour, accompagnera l'évolution des consommations en eau et servira de sentinelle pour observer les tendancielles quantitatives et qualitatives sur la ressource en eau et guidera en matière de prospective pour le développement territorial de la Vallée.

La gestion du risque inondation est une des clés de voute du dispositif pour la sécurité des habitants ruraux et de leurs biens. À ce jour, dépourvus de véritables solutions techniques, ils ont dû faire face aux risques avec des aménagements locaux peu performants et trop rapidement détruits par les cours d'eau en crue. Désormais, la réflexion à le grand avantage de prendre en considération le bassin hydrographique du SAGIE et cette bonne échelle permet de quantifier le risque tant dans sa globalité que localement. Il s'en suit, que des solutions adaptées à la vallée de l'Arghen, peuvent donc être proposées, telles que par exemple, celles de la rétention dynamique.

Les résultats des études qui sont présentées dans ce document, résultent d'un travail de terrain très important. Les investigations réalisées n'ont pas été facile, à la fois à cause de la topographie complexe, des voies et pistes de communication peu praticables et aussi souvent en l'absence de référentiels techniques.

Mais l'ingénieur a su s'organiser et s'adapter, notamment par un travail d'équipe, pour mener à bien sa mission. Il a alors ainsi pu déployer toute sa connaissance technique pour la mettre en application, la confronter en équipe et « *sortir les solutions* ».

On retiendra de ses trois études, la valeur ajoutée qu'elles représentent en termes d'avancées dans la résolution des problèmes. Ainsi, leur applicabilité devrait trouver immédiatement place dans les programmes d'actions de l'Agence de Bassin Souss Massa, dans ceux des Directions Provinciales de l'Équipement, de l'Agriculture, Eaux et Forêts et Office National de l'Eau et de l'Énergie.

Ces études globales, ont aussi la vertu de concrétiser l'utilité première de la vision territoriale de bassin, et à cette échelle la Gouvernance du Comité de Pilotage du SAGIE, tout comme l'Intercommunalité qui se met en ordre de marche au niveau des Municipalités, n'en trouveront assurément que des bénéfiques.

CONCLUSION par Gilian Cadic

Le bassin versant de l'oued Arghen relie les sommets de l'Anti Atlas marocain (Djebel Aklim, 2531m) à la plaine du Souss à environ 300 m d'altitude. La géologie est complexe, se traduisant par une alternance de plateaux et de vallées encaissées à forte pente.

Les ruissellements peuvent être intenses et rapides: une crue dévastatrice dure moins de 24 heures, occasionnant des dégâts dans tous les douars traversés, peu dans les habitations, mais surtout dans les jardins riverains.

Les ressources en eau souterraine sont diffuses, peu étendues. Les forages peuvent atteindre de grandes profondeurs (160 m) pour des débits modestes. Aucune donnée n'est disponible sur d'éventuelles interactions entre différents forages situés à quelques kilomètres de distance.

Les études ci-jointes mettent en relief le besoin d'améliorer la connaissance et d'agir dans l'ensemble du bassin versant, en complément des projets dans les douars pour l'amélioration de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement.

Les propositions pour l'amélioration de la connaissance et du suivi des ressources souterraines se traduisent par l'équipement de sondes de mesure piezométrique sur plusieurs aquifères différents du point de vue hydrogéologique. Comme pour toute action nouvelle, il est préconisé une mise en place progressive, avec implication des associations locales et des communes, d'abord avec des équipements portatifs. A moyen terme (5 à 10 ans), un équipement automatisé avec télégestion serait souhaitable, au moins pour quelques puits ou forages de référence, et si possible, un suivi de la minéralisation de l'eau, par mesure de la conductivité contribuerait aussi à la bonne connaissance des ressources en eau.

Concernant la protection contre les inondations, il est préconisé d'appliquer les principes généraux de type " rétention dynamique". Dans les vallées affluentes, les zones des vallées se prêtant bien à un stockage des eaux de crue des oueds sont mobilisées sur le principe d'une "sur-inondation": par création de seuils freinant les écoulements, il est provoqué en amont du seuil une élévation supplémentaire du niveau d'eau, dans des sites ne présentant pas d'enjeux (ni habitations, ni routes, ni jardins). Ces techniques peuvent être appliquées en commençant par l'amont, ainsi un seuil inondant un tronçon de vallée crée un stockage temporaire bénéficiant d'abord aux douars situés immédiatement en aval, et aux autres douars plus bas dans la vallée. Ces petits barrages perméables se videront en quelques jours.

Inévitablement, ces seuils seront amenés à bloquer une partie des matériaux grossiers transportés en crue. Pour ne pas reproduire les inconvénients des seuils et barrages construits ces dernières décennies, il est préconisé d'expérimenter l'implantation de barrages transversaux à échancrure centrale, construits en gabions du fait de l'abondance dans les lits des oueds de galets et cailloux non friables et relativement anguleux. Comme pour toute technique comportant de l'innovation, même partiellement, il est conseillé d'agir par petites touches, avec mesures correctives après retour d'expérience dans les quelques années suivant la mise en service.

L'appel à des outils de modélisation hydraulique serait très utile pour affiner la conception de ces seuils-barrages à échancrures. Le suivi du regarnissage en matériaux des fonds de lits des oueds permettra d'établir un lien avec l'amélioration des infiltrations attendues pour une meilleure recharge des nappes, aussi bien les petites nappes alluviales de bordure d'oueds, que les nappes plus profondes.

Il est important de signaler une remarque mentionnée par les étudiants sur certains sites prospectés: le programme marocain conventionnel de mise en place de digues latérales protégeant les terrasses alluviales avec leurs jardins et leurs vergers pourrait avoir une efficacité fortement renforcée s'il était complété par quelques seuils perméables transversaux situés à proximité.

L'installation d'une ou deux stations météorologiques fait partie du programme préconisé: une station " centrale " vers le milieu du bassin, et si possible une station en limite amont du bassin versant qui pourrait participer à un système d'annonce de crues.

Concernant les aspects formation des personnels locaux et les aspects éducatifs à valoriser dans les écoles et collèges de la vallée, la mise en place de réseaux de mesure et de techniques partiellement innovantes de rétention des eaux serait un élément moteur supplémentaire dans la dynamique collective engagée dans cette vallée, pouvant même intéresser le volet "tourisme scientifique ".

Les élus de cette vallée ont affiché un volontarisme et une ouverture vers l'intercommunalité. L'appui des autorités locales et régionales et la mise en place de crédits spécifiques de la coopération décentralisée sont de nature à faire de cette vallée un bassin versant " école " ou " modèle " sur les aspects gestion de l'eau.

Sommaire

Etude No1 : Etudes et propositions pour le suivi piézométrique des eaux souterraines

Introduction	9
1. Le contexte institutionnel	11
1. A l'échelle du Royaume	11
2. A l'échelle de la région du Souss-Massa	11
2. La caractérisation de la vallée	13
3. Exploitation et gestion intégrée des eaux souterraines : bonnes pratiques	15
1. Outils pour un suivi hydrogéologique de la Vallée	15
2. Réseau piézométrique : un réseau patrimonial d'utilité publique	16
4. L'inventaire des forages	19
5. Calendrier stratégique pour l'équipement des forages	23

Etude No2 : Etude et propositions pour limiter l'effet des crues dans la vallée de l'Argen

1 : Contexte	29
1. Suivi des projets en cours	29
2. Caractérisation de la Vallée de l'Argen	30
a. Caractérisation géographique	30
b. Caractérisation hydrologique / hydrodynamique	31
c. Définition des objectifs pour lutter contre les inondations dans la Vallée	35
2 : Proposition d'une stratégie de prévention des inondations sur la Vallée	36
1. Identifications des 17 ouvrages pilotes	36
2. Type et conception de barrage	39
a. Barrage avec échancrure et gradin de dissipation en aval en cas de surverse	40
b. Barrage en gabion avec pertuis ouvert	41
3. Dimensionnement du barrage : les paramètres à prendre en compte	42

Etude No3: Analyse Hydrologique du bassin de la vallée de l'Argen

Partie 1 : Lutte contre les crues

I.Situation géographique du bassin versant	47
II.Situation administrative	47
III.Le cadre géologique	48
IV.Pluviométrie	49
I.Etude hydrologique préliminaire	50
1. Délimitation du bassin versant sur ArcGIS	50
2. Détermination des paramètres physiques du BV	59
3. Calcul du temps de concentration	62
4. Calcul du débit de pointe à l'exutoire	63
5. Visite du terrain	68

Partie 2: Suivi piézométrique

I.Problématique	76
II.Contraintes et objectif de l'étude	76
1. Contraintes	76

2. Objectif de l'étude :	76
III. Proposition des étudiants de l'AgroParisTech concernant les forages à équiper :	77
1. Repérage des zones intéressantes pour l'implantation des forages :	77
2. Calendrier stratégique pour l'équipement des forages	79
IV. Consultation sur les prix des systèmes de télémessure du niveau piézométrique :	81

TABLE DES SIGLES

ABHSM : Agence de Bassin Hydraulique du Souss Massa
 AEF : Agence des Eaux et Forêts
 AEP : Alimentation Eau Potable
 CP : Conseil Provincial
 DPETL : Direction Provinciale de l'Équipement, du Transport et de la Logistique
 DRA : Direction Régionale de l'Agriculture
 GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau
 ONEE : Office National de l'Électricité et de l'Eau potable
 SE : Service des eaux de la DPETL

Etude No1 : Etude et propositions pour le suivi piézométrique des eaux souterraines de la vallée de l'Arghen

Vallée de l'Arghen, Province de Taroudant, Région Souss Massa, Maroc

Par :

Romain DEVILLARD

Zoélie DUPERIER

Anaïs MAYAU

Appuyés par Gilian CADIC



AgroParisTech

Introduction

La région Souss-Massa est bordée au nord par les massifs du Haut Atlas occidental, suivant la Vallée de l'oued Souss, traversée au centre par l'oued Massa et l'Anti-Atlas, bordée au sud par la rivière Drâa. Elle compte 2 676 847 habitants au dernier recensement de 2014.

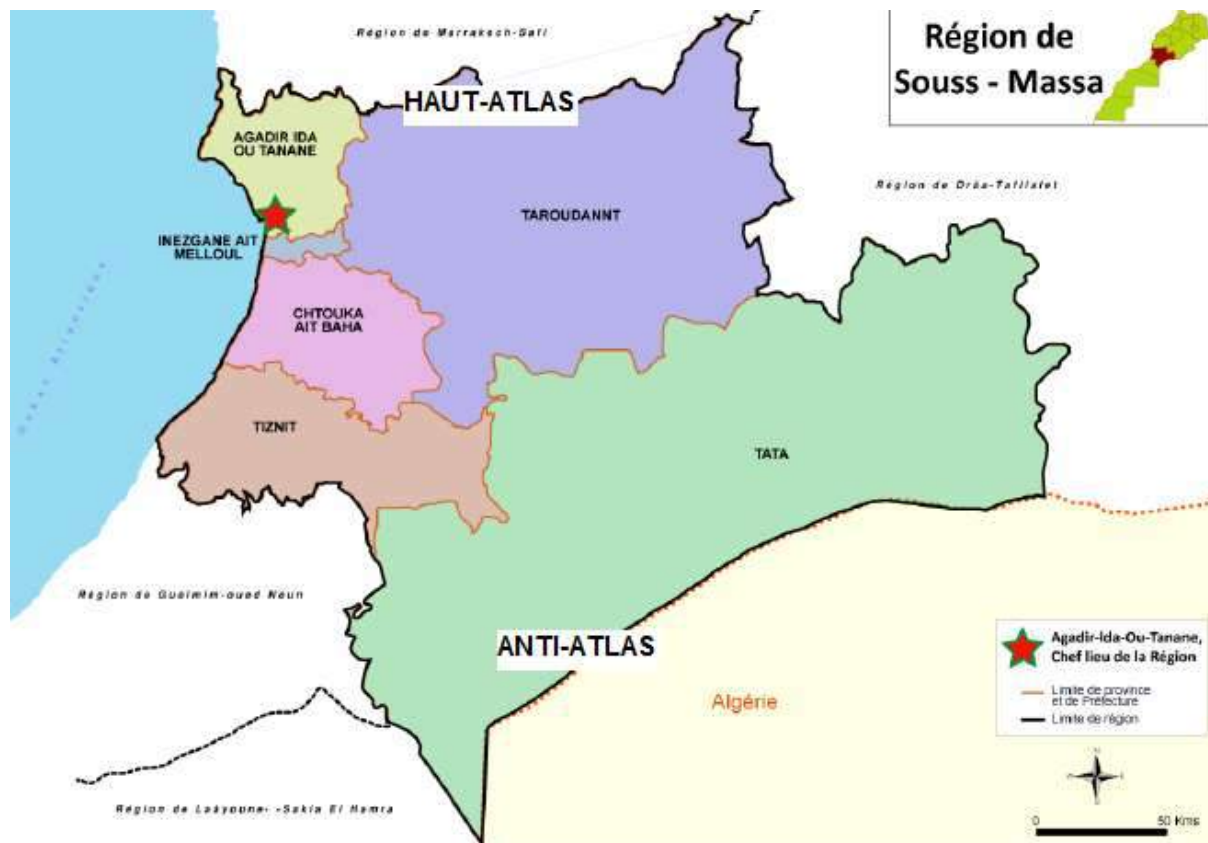


Figure 1 : Carte de la région Souss Massa.

Source : La monographie de la région.

Trois facteurs déterminent le climat méditerranéen semi-aride de la région, à savoir le relief, la côte océanique et le Sahara. Ainsi, le nord de la région, dominé par l'Atlas, est caractérisé par un climat humide à semi-aride en progressant vers la plaine. La vallée de l'Arghen, qui se trouve dans la zone occupant le contrebas du relief de l'Atlas et les bassins de Souss et de Massa, connaît un climat aride malgré une large ouverture sur l'Atlantique. Les précipitations dans la plaine du Souss ont atteint en moyenne 250 mm sur les 10 dernières années, et 350 à 400 mm sur les hauts plateaux. Enfin, la partie sud et sud-est de la région qui compose le côté nord du Sahara est couverte par un climat désertique.

La Vallée de l'Arghen est située à l'Est de la ville de Taroudant dans l'Anti-Atlas. C'est une zone montagneuse, composée de multiples villages (douars) situés sur les hauteurs ou le long de l'Oued. L'accès à l'eau pour les habitants de ces douars est un réel problème, que ce soit pour l'alimentation en eau potable ou pour l'assainissement puisque ces réseaux sont inexistantes dans la plupart des cas. Les sources d'eau sont généralement d'origines souterraines. Les douars se tournent vers la création de forages privés qui alimentent des citernes d'eau familiales ou collectives. Ces dernières années des projets ont été menés pour répondre aux besoins de ces douars. Ainsi des réseaux d'AEP et d'assainissement ont

été construits dans quelques communes (Ben Ali, Tidriouine, Tamjdaoute, Imounarim et Idaoulimit) où un suivi sur le long terme est nécessaire à leur fonctionnement optimal. De plus, il reste encore de nombreux douars à équiper.

La problématique qui concerne plus largement ce rapport est **la baisse de la ressource en eau souterraine observée par les locaux dans certains forages**. Cette baisse des niveaux piézométriques est préoccupante pour les habitants et l'Agence de Bassin Hydraulique (ABH) du Souss Massa est consciente de l'importance de sécuriser vis-à-vis de l'accès à l'eau et de la durabilité de la ressource. D'où cette étude, précédée par de nombreuses sur cet enjeu, pour l'installation d'un réseau piézométrique dans la vallée de l'Arghen afin de connaître les tendances de la ressource et de **mettre en place des mesures pour une meilleure gestion** ainsi qu'un système d'alerte.

1. Le contexte institutionnel

1. A l'échelle du Royaume

Au Maroc, l'eau est caractérisée par une disponibilité inférieure à 1 000 m³ par habitant et par an. Le pays est dans une situation de stress hydrique. Il y a une demande croissante en eau, due à l'urbanisation et à la croissance démographique. Les ressources en eau conditionnent pourtant fortement le développement socio-économique du pays : développement de l'agriculture d'irrigation, du tourisme, des activités industrielles et de l'éducation, notamment des filles (les femmes et les enfants étant souvent les premiers concernés par la corvée d'eau). **L'accès à l'eau et la préservation de la ressource sur le territoire sont donc deux enjeux primordiaux.** D'où l'intérêt du gouvernement pour ces aspects, qui ainsi, a mis en place une gouvernance (figure 2) plus adaptée pour la Gestion Intégrée de la Ressource en Eau (GIRE) sur la Province de Taroudant et a intégré des objectifs de maîtrise de la demande en eau, de rationalisation de son utilisation et de préservation des ressources disponibles, ainsi que la poursuite de la mobilisation des ressources en eau.



Figure 2 : Gouvernance et institutions de la gestion de l'eau au Maroc.

2. A l'échelle de la région du Souss-Massa

La région Souss-Massa est l'une des douze nouvelles régions du Maroc instituées dans le cadre d'un nouvel acte de décentralisation administratif de 2015. La province de Taroudant fait partie de cette région (tout comme les provinces de Tiznit, de Tata, d'Agadir, etc).

Les institutions en charge (Figure 3) de la gestion de l'eau au niveau de la zone d'étude sont nombreuses et sont réparties à différents échelons administratifs. La Direction Provinciale de l'Équipement, du Transport et de la Logistique (DPETL), située à Taroudant, est composée de plusieurs services dont le Service de l'Eau (S-Eau) qui est l'organisme privilégié pour assurer la gestion de l'eau sur la vallée de l'Arghen. Elle dispose d'un réel pouvoir afin d'élaborer et de mettre en œuvre ses programmes d'action pour répondre aux attentes des

usagers. Elle prépare et exécute la politique entreprise par le gouvernement. Elle travaille en collaboration avec les communes, les douars et les associations pour avancer sur les problématiques liées à l'eau et rend des comptes à l'ABH-SM.

L'ONEE, né du regroupement en 2012 de l'Office National de l'Électricité (ONE) et l'Office National de l'Eau Potable (ONEP), s'occupe des grands projets structurants pour le Maroc, le dotant d'infrastructures de production, transport et de distribution d'électricité et d'eau ainsi que d'épuration des eaux usées indispensable au développement durable du pays.

GOVERNANCE DE LA GESTION DE L'EAU DANS LA VALLÉE DE L'ARGHEN

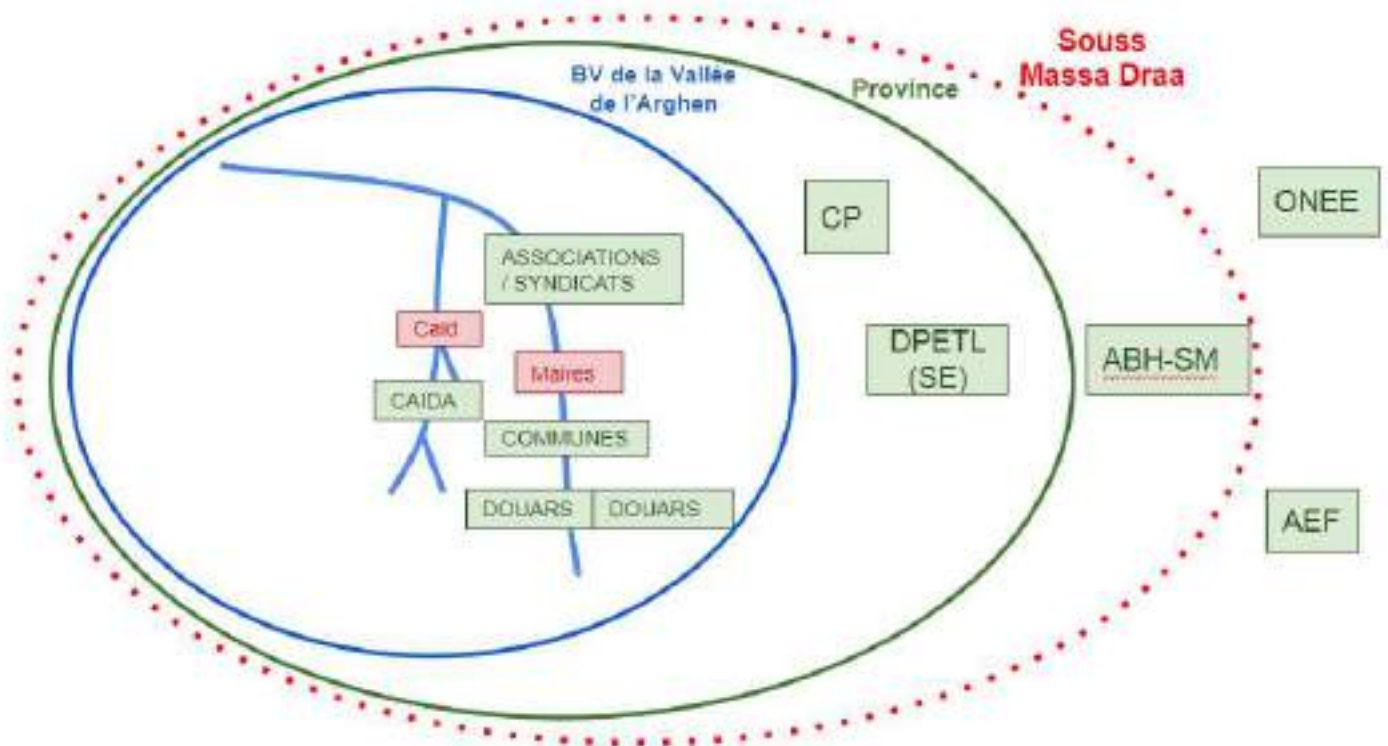


Figure 3 : Gouvernance et acteurs de la gestion dans la vallée de l'Argheh.

2. La caractérisation de la vallée

Au niveau de la Vallée de l'Arghen, à la différence de la Vallée du Souss, aucun système de suivi des niveaux piézométriques par télémessure n'est en place. De plus, la connaissance précise des niveaux des eaux souterraines est très faible. Seul le SAGIE fait figure de référence en matière de gestion intégrée de la ressource sur le territoire. En outre, les données hydrologiques sont rares sur le territoire et seules quelques données pluviométriques sont disponibles, ainsi que les images satellites produites par le Centre national de Télédétection concernant la présence des nappes au niveau des roches fissurées de l'Arghen.

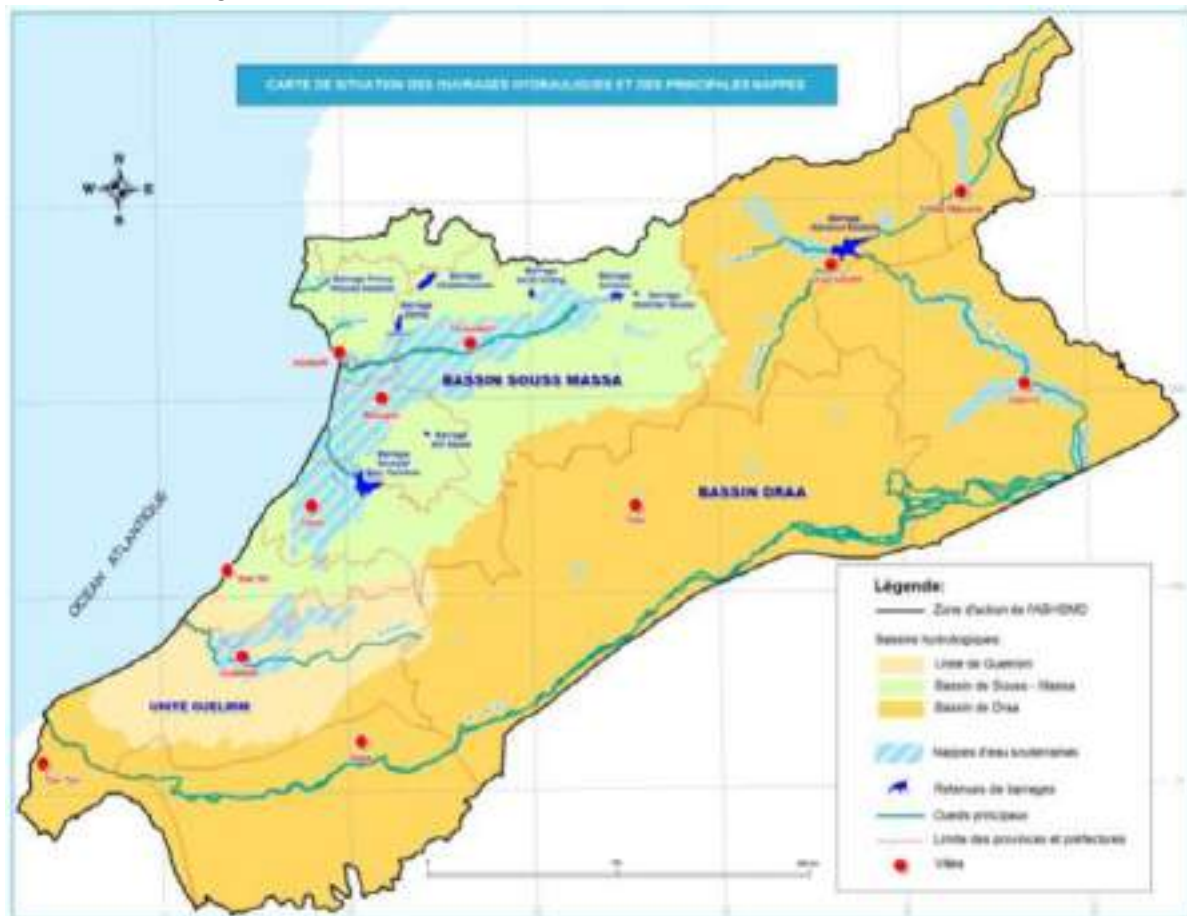


Figure 4 : Carte du contexte hydraulique du Souss Massa.

Source : <http://docplayer.fr/24980272-Royaume-du-maroc-agence-du-bassin-hydraulique-du-souss-massa.html>

Les données météorologiques sont peu présentes dans la vallée de l'Arghen, les stations les plus proches sont Taliouine et Taroudant. Les données hydrologiques pour la vallée sont interpolées en conséquence par les hydrologues de l'ABH. Une étude est sur le point d'être lancée par l'ABH pour l'installation d'une nouvelle station météorologique automatique, sur un emplacement représentatif du climat de la Vallée de l'Arghen (commune d'Adar ?). La station sera dimensionnée pour une superficie de 100 m², avec électricité, devant être facile d'accès à l'intérieur d'un périmètre d'une administration, afin d'éviter tout problème foncier ou acte potentiels de vandalisme.

A plus long terme, l'objectif de ces différents projets est de parvenir à une gestion intercommunale de la ressource en eaux souterraines et eaux de surface sur la Vallée de

l'Arghen, dont le comité décisionnaire prendrait la forme d'une association de Bassin Versant.

Le SAGIE est un premier pas en la matière, dont les effets ont d'ailleurs influencé la réglementation marocaine, puisqu'un amendement de la loi sur l'eau a été voté à faveur d'une transition vers une gestion intégrée de la ressource en eau sur le territoire national.

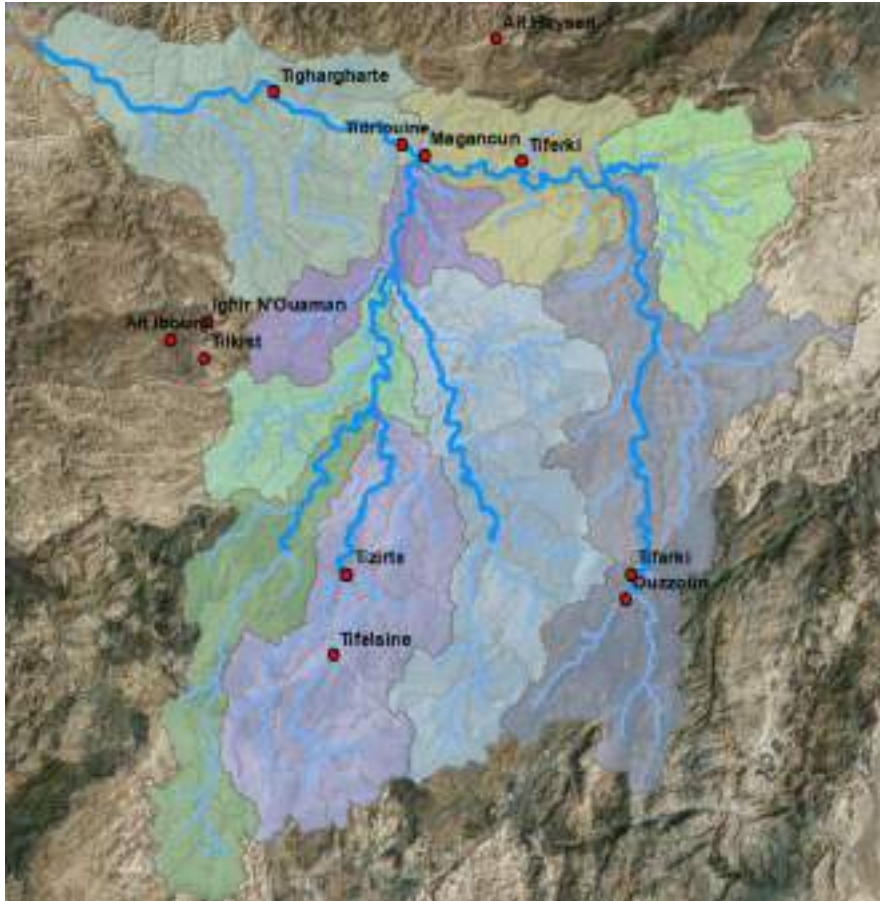


Figure 5 : Carte des bassins versants et du réseau hydrographique de la vallée de l'Arghen.

Suivi piézométrique de la Vallée du Souss : état avancé

La nappe de la Vallée du Souss (50 m d'épaisseur d'alluvions, à forte pente) est télé-mesurée par l'ABH et baisse de 1 à 2 mètres par an. Cinq forages ont été équipés en sondes piézométriques multi-paramètres (pH, conductivité, piézométrie). A noter qu'une campagne importante sur la qualité de l'eau va bientôt voir le jour avec un suivi et des analyses des points d'eau potable, prévues plusieurs fois par an.

L'agriculture irriguée représente 93% des prélèvements dans la plaine du Souss. En conséquence, un programme pour économiser la ressource en eau agricole a été mis en place par l'ABH, par l'équipement des agriculteurs avec des sondes hydro-métriques, ainsi que par la mesure des taux d'évapotranspiration des différentes cultures irriguées.

L'augmentation de l'efficacité des pratiques irriguées a été la priorité sur la Vallée : 54 hectares de cultures de la plaine sont désormais irrigués par goutte-à-goutte. L'irrigation de précision permettrait d'obtenir une meilleure productivité de l'eau couplée d'une importante économie en eau, si tant est que les surfaces agricoles ne sont pas élargies. D'autres projets sont en cours, notamment le dessalement de l'eau de mer à destination de l'agriculture.

Suivi piézométrique de la Vallée de l'Arghen : prémices du projet

En conséquence de cette absence de données concernant la caractérisation des nappes phréatiques (*nappe phréatique= la première nappe rencontrée quand on part du sol*) de la Vallée de l'Arghen, et de la méconnaissance de l'évolution de la ressource, l'ABH est consciente de la nécessité d'identifier rapidement des sites potentiels (sources des oueds incluses) où installer de façon permanente des sondes piézométriques. L'objectif est ainsi d'identifier la tendance de la recharge des aquifères en fonction de la pluviométrie et des prélèvements à usages domestiques des douars rattachés aux réseaux. L'intérêt de la sonde multi-paramètre réside dans la capacité de l'appareil à communiquer des données relatives à la qualité de l'eau (pH, conductivité).

L'objet de notre étude consiste donc à repérer un ensemble de forages et de puits représentatifs des différents contextes hydrogéologiques du territoire. Une étude hydrogéologique prévue pour 2019 est d'ailleurs en cours de réalisation, au sein de laquelle trois experts de l'ABH vont accompagner des étudiants dans la caractérisation hydrogéologique de la Vallée d'Arghen.

Le BE marocain Managem (<http://www.managemgroup.com/Activites/Services/REMINEX>) réalise en outre une étude sur l'interconnexion entre les nappes d'Arghen et les nappes du cercle d'Irghem. Les premières conclusions de l'étude montrent qu'il n'y a pas de nappe généralisée dans la région.

3. Exploitation et gestion intégrée des eaux souterraines : bonnes pratiques

1. Outils pour un suivi hydrogéologique de la Vallée

Cartes géologiques

Pour une gestion intégrée de la ressource souterraine dans la Vallée de l'Arghen, en premier lieu, il serait nécessaire de connaître les formations géologiques (très complexes) qui la contiennent. Il s'agit en effet de la partie géologique de l'hydrogéologie, où plusieurs documents sont nécessaires.

Les cartes géologiques constituent la base de tout rapport hydrogéologique. La carte géologique existante, *Ighem 100*, nous a ainsi été très utile (cf. chapitre ci-après sur la caractérisation des forages de la Vallée).

Coupes de forage

Les *coupes de forage* sont d'autres documents très utiles. L'objectif de la coupe de forage est de réaliser une description géologique du terrain grâce aux déblais et aux échantillons remontés à la surface lors de la réalisation du forage. Les échantillons font ainsi apparaître la succession stratigraphique des couches qui ont été traversées. Cela permet aussi de montrer à quelles profondeurs se situent les couches aquifères, et les couches imperméables. La présence d'un hydrogéologue lors du forage est donc nécessaire. L'hydrogéologue peut aussi effectuer des analyses de qualité lors du forage (caractérisation de l'eau, gestion de la qualité, conception des éléments techniques du dispositif de protection du forage). En amont, l'hydrogéologue doit aussi déterminer les implantations les plus favorables pour réaliser le forage, du fait du contexte géologique fort complexe et disparate de la Vallée de l'Arghen.

Grâce aux coupes des forages, des profils hydrogéologiques et géologiques de la Vallée peuvent donc être précisément reconstitués. Grâce à ces profils, il est possible de connaître l'évolution des nappes et des couches imperméables, de constater d'éventuelles interconnexions entre les nappes, ou encore d'étudier les variations des épaisseurs d'une même couche géologique.

Cartes hydrogéologiques

La carte hydrogéologique doit permettre de traduire l'épaisseur ou la profondeur d'une nappe aquifère, en fonction de la carte topographique de la surface. De telles informations mises en commun permettent de réaliser un bloc-diagramme : une représentation en trois dimensions du terrain (souterrain et de surface).

En plus de ces informations, des commentaires synthétiques et datés sur les terrains forés, peuvent être intégrés régulièrement dans les dossiers de gestion des ressources souterraines de la Vallée. Nous nous sommes attachés, lors de notre travail de terrain sur quinze jours, à rédiger ces commentaires. (cf inventaires des forages ci-après).

Images Satellites

Les techniques de reconnaissance aérienne et spatiale sont également indispensables, notamment pour analyser les bassins versants dans la zone. Les images par satellites (disponibles grâce aux images du Centre national de Télédétection marocain) seront très utiles pour analyser les propriétés des eaux de surface, par exemple les zones infiltrantes ou ruisselantes.

De plus, les images satellites de la Vallée de l'Arghen permettront de repérer rapidement les cultures existantes sur la zone, et de connaître ainsi précisément les superficies irriguées, afin de repérer des prélèvements qui ne sont pas forcément déclarés.

2. Réseau piézométrique : un réseau patrimonial d'utilité publique

Le rôle de l'ingénieur de forages est très important. Il est chargé de traduire une coupe géologique prévisionnelle en un profil technique de réalisation, de choisir la technique de forage, les longueurs et les diamètres, les matériaux (plastique, acier traité, inox, etc.). Ces choix se font idéalement en fonction de la connaissance des débits souhaités de prélèvement, des contraintes géologiques annoncées par l'hydrogéologue, enfin de la qualité chimique de l'eau disponible.

L'évolution des données hydrauliques peut donc être connue grâce à la réalisation d'un suivi piézométrique (pour les niveaux d'eau) et grâce à l'installation de stations de jaugeages ou de compteurs de débit (pour la connaissance des flux).

De simples forages non exploités ou d'anciens puits permettent de mesurer la profondeur de la surface libre de la nappe. Pour éviter les erreurs, les ouvrages sélectionnés doivent être en excellent état, et être reliés à un seul aquifère. De plus ils ne doivent pas être colmatés, et un coût énergétique est à prendre en compte, car il faudra amener l'électricité jusqu'aux forages pour que la sonde soit mise en activité.

Néanmoins, il est possible et pertinent de mesurer la piézométrie sur des forages ou des puits en activité, si tant est que les mesures sont effectuées à des heures connues (la nuit et tôt le matin lorsque les prélèvements sont inexistantes). De telles mesures donnent en outre des informations incontournables sur les tendances des prélèvements.

Sur la Vallée de l'Arghen, les principaux prélèvements correspondent actuellement aux prélèvements AEP, et donnent des informations importantes sur l'évolution des consommations des usagers dans les douars, surtout si ces données sont mises en corrélation avec les données démographiques et les connaissances concernant les tendances socio-économiques de la zone (frein de l'exode rural du fait de l'accès à l'eau potable, développement de l'activité avec les projets de mines, etc.).

En outre, les forages en exploitation ont l'avantage d'être plus représentatifs que les anciens ouvrages pour récolter des échantillons d'eau souterraine et pour analyser leur qualité. Ainsi il fait sens que les réseaux soient majoritairement constitués d'ouvrages AEP en service, comme c'est le cas dans la Vallée de l'Arghen.

Néanmoins, il est nécessaire d'équiper des forages qui ne sont pas des ouvrages AEP, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la nature chimique de l'eau dans un réseau AEP n'est contrôlée qu'au niveau du point où elle est exploitée : ceci nous prive de données pour les zones situées en amont de ces captages. De plus, si un captage AEP venait à être pollué, il serait automatiquement victime d'une fermeture administrative et empêcherait la connaissance sur le long terme de l'évolution de la concentration en pollution dans la nappe.

A cet égard, les sources sont d'excellents points où mettre en place un suivi de qualité. De plus les sources sont par définition des points de convergence d'écoulements de vastes systèmes hydrographiques. La connaissance de la ressource souterraine est ainsi connue à son extrême aval, un autre point utile permettant d'analyser les liens quantitatifs entre les nappes souterraines et les eaux de surface.

Pour les nappes captives, comme le niveau de l'eau dans le forage remontera jusqu'au sol et s'écoulera à la surface, il peut être intéressant de l'équiper d'un manomètre. Les niveaux de pression mesurés pourront ainsi être convertis en colonnes d'eau par rapport à un point d'altitude de référence.

La sonde piézométrique multi-paramètres

Pour mesurer les niveaux d'eau sur l'ensemble de l'aquifère, la sonde électrique est l'outil le plus simple. La sonde piézométrique est constituée d'un ruban gradué en mètres et en centimètres, comportant deux conducteurs reliés à deux électrodes lestées. Quand le ruban atteint le niveau de l'eau, un court-circuit s'opère et un message (sonore ou lumineux) est transmis, qui instruit l'analyste positionné à la sortie du forage ou à la margelle du puits de la profondeur du niveau de l'eau par son inscription numérique au niveau du manche de la sonde.

Les installations du forage (tubes, crépines, pompes) sont victimes de diverses pathologies et du vieillissement. Ainsi, pour assurer la longévité du forage, il faudrait idéalement disposer des informations nécessaires suivantes : débits prélevés, évolution des niveaux d'eau, indicateurs de pH et de conductivité de l'eau - qu'un personnel d'exploitation est formé à

interpréter. Il est donc nécessaire d'équiper les forages d'une sonde piézométrique, s'accompagnant si possible d'un compteur afin d'enregistrer les débits prélevés. Une baisse du débit peut en effet être due à des phénomènes de colmatage ou d'ensablement qui provoquent un rabattement supplémentaire dans le tube de forage. Si ces mesures sont complétées par quelques analyses de l'eau, cela permettra de connaître rapidement les causes d'une baisse de débit, non uniquement liée à une baisse de la nappe : corrosion, entartrage....

Réseau piézométrique : concept d'un réseau patrimonial du service public

L'objectif du réseau piézométrique est la mise en commun des valeurs piézométriques au sein d'un même système. Le réseau a plusieurs intérêts, en plus de la connaissance de l'évolution des nappes souterraines. Le réseau permet de surveiller les prélèvements au niveau d'un aménagement hydraulique, ou de contrôler les prélèvements près d'un éventuel site pollué (potentiel projet de mines ?). L'objectif premier reste évidemment de fournir des valeurs de référence sur la recharge de l'état des stocks en eau souterraine de la Vallée.

Les données recueillies à l'échelle de la Vallée de l'Arghen peuvent, en plus de renseigner un contexte piézométrique local, être intégrées à un réseau régional ou national. Les données recueillies peuvent ainsi, après validation, être placées dans des systèmes serveurs accessibles à tous. Les cartes et les données peuvent ainsi être mises à destination du public à sensibiliser (les usagers) en matière d'économie de la ressource, mais également à destination des spécialistes.

En outre, le projet de suivi piézométrique de la Vallée du Souss Massa est un exemple de bonne pratique en matière de gestion de la ressource en eau, pouvant être reproduit à l'échelle nationale, dans une perspective de développement durable.

Sur le long terme, le suivi piézométrique est intéressant car il permet de produire des chroniques piézométriques de longue durée (altitude de l'eau/profondeur de l'eau), ceci permettant de produire des modélisations à long terme sur les tendances des prélèvements en fonction de scénarios prospectifs prenant différents paramètres en compte (évolution de la consommation, évolution des pratiques agricoles, climatologie).

Sur le plan décisionnel, le réseau piézométrique constitue un outil formidable de communication à destination des élus pour faire prendre conscience de la réalité d'un problème de gestion de la ressource. Le réseau piézométrique de la Vallée de l'Arghen, et plus largement, de la Vallée du Souss Massa, pourrait alors constituer un outil incontournable de gestion du service public marocain pour l'eau souterraine.

4. L'inventaire des forages

Dans la vallée de l'Arghen, cinq zones intéressantes ont été identifiées pour l'implantation de sondes piézométriques lors de notre travail de terrain, où nous avons souhaité prendre en compte les critères suivants pour notre prospection : la géographie de la zone, la population et l'agriculture, enfin, le contexte hydrogéologique.

Comme nous pouvons l'observer sur le zonage réalisé à partir de la carte géologique *Irghem 100* (figure 1 ci-après), la Vallée de l'Arghen possède une grande complexité géologique.

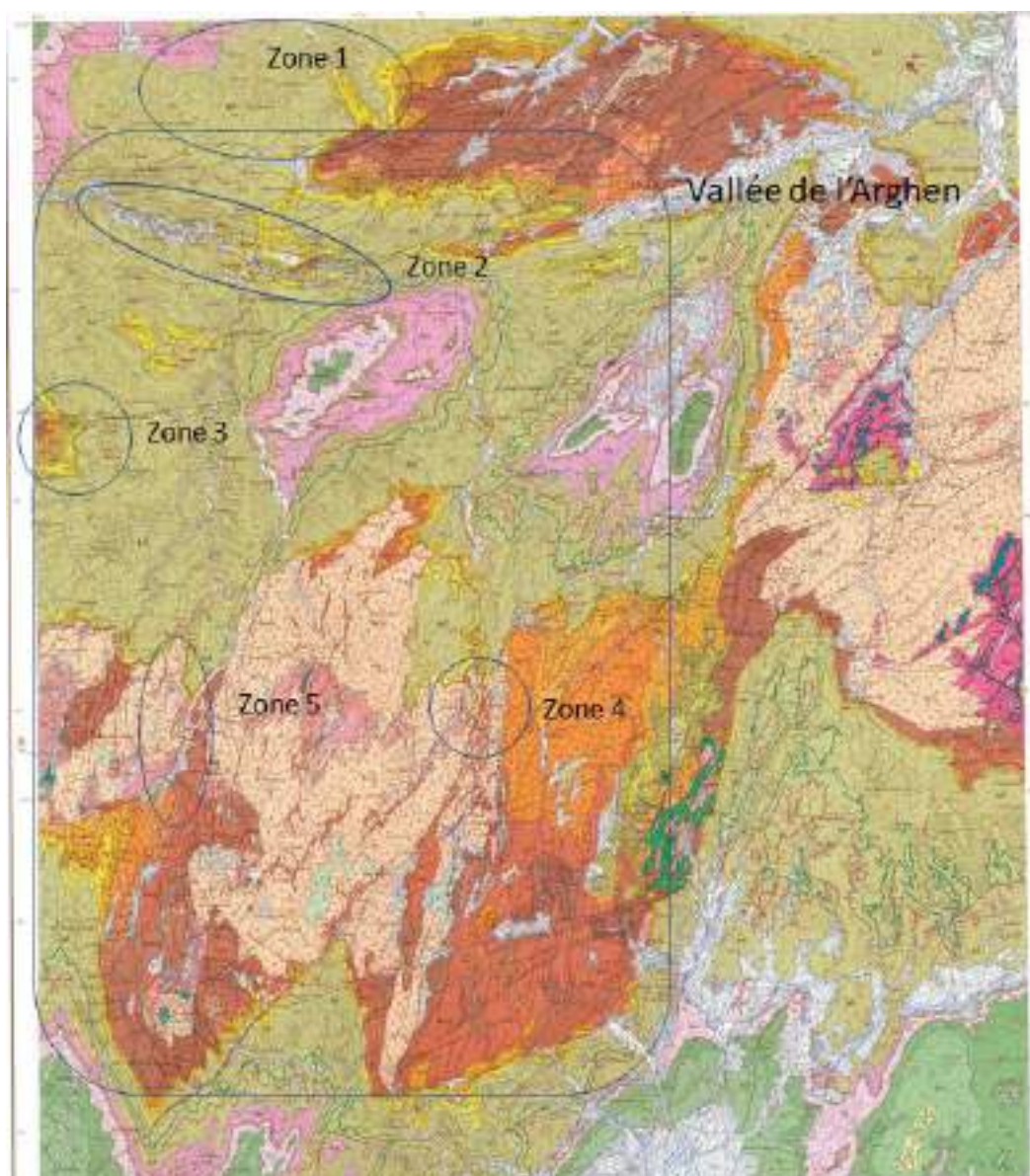


Figure 6 : Zone pour piézomètre sur carte géologique de la vallée de l'Arghen

Pour le positionnement des sondes piézométriques multi-paramètres, il serait intéressant de se placer le long de l'oued principal (Zone 2), dans les montagnes sur la rive droite (Zone 1), sur un plateau de la vallée rive gauche (Zone 3) et en amont des deux principaux oueds affluents (Zone 4 et 5).

La **zone 1** se situe sur un plateau de l'Adoudounien au milieu de deux bassins versants entre l'Arghen et celui du Souss. Pour cette zone, deux solutions semblent possibles, le forage principal et celui de secours du projet entre Toughmart et Arazane.

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
Forage Ait Hassen principal	Toughmart	Forage	30°26'45.67 N	8°20'50.73 O
Forage Ait Hassen secondaire	Toughmart	Forage	30°26'42,86" N	8°20'55.56" O

La **zone 2** se situe dans le lit principal de l'oued Arghen. Une mesure dans cette zone est intéressante pour mesurer le niveau d'une éventuelle nappe alluviale. Comme point intéressant, les points d'eau suivants ont été identifiés :

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
Tigherghert	Toughmart	Forage	30°18.198 N	8°30.794 O
Tilmazdigh	Toughmart	Forage	30°24.685 N	8°26.479 O
Imi N'Tazgui	Toughmart	Forage	30°24.298 N	8°25.898 O
Tidriouine	Toughmart	Forage	30°24.416 N	8°4.608 O
Maganoun	Toughmart	Forage	30°23.620 N	8°22.930 O
Tiferki	Toughmart	Forage	30°23.218 N	8°20.318 O

La **zone 3** est sur un plateau à l'ouest de la vallée, elle s'implante dans la commune de Nihit. La zone est constituée de conglomérat schisto-calcaire datant du précambrien III. Cette zone connaît une tension particulière au niveau de la ressource en eau. Trois douars sont identifiés Tilkist, Ighir N'Ouamane et Aït Ibourk.

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
Tilkist	Nihit	Forage Abandonné	30°18.591 N	8°29.965 O
		Forage	30°18.548 N	8°29.883 O
		Puits 62m	30°18.551 N	8°29.830 O
		Forage Village	30°18.340 N	8°29.273 O
		Forage près de la Madrassa	30°18.823 N	8°30.073 O
		Puits près de la Madrassa (25m)	30°18.875 N	8°30.353 O
Ighir N'Ouaman	Nihit	Puits principal	30°19.481 N	8°29.975 O
		Puits secondaire 1	30°19.351 N	8°29.950 O
		Puits secondaire 2	30°19.260 N	8°29.801 O
Aït Ibourk	Nihit	Puits principal	30°18.770 N	8°30.887 O
		Sondage	30°18.188 N	8°30.871 O
Igr	Nihit	Puits pour 6 douars	30°18.188 N	8°30.794 O

La **zone 4** se situe en amont d'un des deux oueds principaux de l'Arghen. La zone est dans un conglomérat du précambrien II avec des intrusions de roche volcanique venant du Jbel Aklim proche. Deux sites sont proposés:

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
Ouzzoun	Adar	Puits principal	30°11'49.52"N	8°17'21.51"O
Tifarki	Adar	Puits principal	30°12'34.46"N	8°16'54.26"O

La **zone 5** est en amont de l'autre oued principal de l'Arghen proche du douar Tifelsine. Cet endroit est extrêmement riche d'un point de vue géologique avec la présence d'un cône de déjection du quaternaire, des schistes verts et des quartzites lités du précambrien II ainsi que des grès rouges du précambrien III.

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
Tifelsine	Adar	Puits principal	30°10'23.34"N	8°25'46.83"O
Tizirt	Imi N'Tayert	Puits principal	30°12'34.46"N	8°16'54.26"O

Installation d'une station météorologique :

Pour commencer, il serait intéressant de suivre la pluviométrie de la Vallée car aucune station météorologique ne suit cette donnée dans la région. Seule, une station avait été en service à Igherm pendant deux ou trois décennies. Les stations les plus proches étant Taliouine et Taroudant. Le suivi de cette donnée est important pour comprendre la recharge des nappes phréatiques.

Pour l'installation, il faut prévoir une superficie de 100 m², avec électricité, et la station doit être facile d'accès et à l'intérieur d'un périmètre d'une administration, afin d'éviter tout problème foncier ou acte potentiels de vandalisme.

En tenant compte de ses paramètres un site proche de la Madrassa du douar Ighir N'Ouahmane sur la CT de Nihit semble intéressant. (Figure 7).

Si une deuxième station devait être implantée, le site de la Mairie-Ecole d'Adar, au bord de la route d'Igherm à Taliouine, serait intéressant, à la fois pour connaître les pluviométries saisonnières et annuelles, pour un lien avec le suivi des eaux souterraines, et aussi pour servir d'alerte en cas de crues, car cette station serait située en limite de bassin versant.



Figure 7 : Madrassa proche des douars Tilkist / Ighir N'Ouahmane dans la commune de Nihit

5. Calendrier stratégique pour l'équipement des forages

Recommandation pour la première phase de l'installation suivie piézométrique :

Pour commencer le suivi piézométrique, l'équipement d'au moins un forage par zone identifiée (Figure 6) semble nécessaire pour avoir une idée globale de l'état des nappes sur la Vallée de l'Arghen.

Concernant les phases d'équipement, nous proposons le calendrier suivant :

Equipement des Forages stratégiques prioritaires - phase 1		
Forages en cours de construction		
Zone 1	Arazane - Toughmart	Le projet commun de forage entre la commune de Arazane et de Toughmart se situant sur le douar de Aït Hassen doit posséder une sonde à cause de l'importance du projet. Le forage secondaire étant un forage qui n'est pas en exploitation continue, il semble idéal pour accueillir une sonde piézométrique.
Forages déjà existants		
Zone 2	Maganoun	La plupart des forages identifiés lors de la reconnaissance terrain sont des forages récents et en exploitation. Pour cette zone le forage de Maguenoun est intéressant (Figure 8). Le douar est situé à la confluence de plusieurs oueds, une valeur ici peut donner une idée de la situation dans la vallée.
Zone 3	Nihit et Igr	Deux forages sont intéressants pour le suivi de

		la ressource. Le forage qui alimente la madrassa de la commune de Nihit et le forage situé sur le territoire du douar Igr qui alimente 6 douars (Figure 9)
Zone 4	Ouzzoun	Suivre le niveau d'eau dans le puits principal du douar Ouzzoun semble le plus pertinent, il est récent et situé directement dans l'oued il renseigne alors du niveau de la nappe liée à cet oued. (Figure 9)
Zone 5	Tifelsine	Le nouveau puits construit à Tifelsine est idéal pour le suivi dans cette région (Figure 10), les autres puits du douar étant anciens et/ou privés.
Equipement des forages stratégiques secondaires - phase 2		
Forages existants		
Phase 1 :	Équiper les autres forages existants (intérêt stratégique secondaire) au fur et à mesure.	équipement d'ici 6 mois à 1 an
Automatisation des équipements des forages futurs - phase 3		
Phase 3	Inclure un suivi piézométrique pour tous les forages futurs	-Inclure une sonde dans la réflexion de tous les futurs projets



Figure 8 : Forage d'eau potable sur le douar de Maguenoun



Figure 9 : Puits principal du douar Ouzzoun dans la commune d'Adar



Figure 10 : Puits principal du douar Tifelsine dans la commune d'Adar

BIBLIOGRAPHIE

- 1) <https://blog.lydec.ma/gestion-ressources-eau-enjeu-maroc-journee-mondiale-eau/>
- 2) ROYAUME DU MAROC Ministère de l'Intérieur Direction Générale des Collectivités Locales, La Région de Souss-Massa, MONOGRAPHIE GÉNÉRALE
- 3) J.J COLIN, *Les Eaux souterraines : Connaissance et gestion*, BRGM Editions, 2004

Etude No2 : Etudes et propositions pour limiter l'effet des inondations dans la vallée de l'Arghen

Vallée de l'Arghen, Province de Taroudannt, MAROC

Romain DEVILLARD
Zoélie DUPERIER
Anaïs MAYAU

Avec le concours de Gilian CADIC

AgroParisTech

Introduction

Dans le cadre d'un partenariat avec l'ONG Experts Solidaires, des étudiants en Mastère Spécialisé Gestion de l'Eau au sein de l'école AgroParisTech-ENGREF ont réalisé cette étude sur la gestion de la ressource en eau dans la Vallée de l'Arghen à Taroudant, Maroc.

Les objectifs de cette étude, réalisée au mois de mars 2018, ont été définis de la manière suivante, par ordre de priorité :

1. Réalisation d'un état des lieux concernant les zones inondables de la Vallée (douars Maganoune, Ouzzoune et Tifelssine en priorité)
2. Identification des objectifs à attribuer aux ouvrages : écrêter les crues très en amont et favoriser l'infiltration dans les nappes alluviales
3. Identification de 15 à 20 sites potentiels pour la construction d'ouvrages de ralentissement dynamique
4. Proposition de types d'ouvrages pertinents pour le territoire : ouvrages en gabions

A plus long terme, un enjeu d'ordre institutionnel est également en perspective. Il s'agirait en effet de promouvoir la planification d'un volet "**Prévention des Inondations/Gestion des Risques**" au sein de l'actuel SAGIE de la vallée de l'Arghen.

La protection contre les crues des douars situés dans la vallée gagnerait à être abordée comme un objet de gouvernance intercommunale et participative. Ne pas prendre en compte l'importance stratégique de ce volet aurait un effet contraire sur l'aménagement et le développement économique du territoire. Les investissements réalisés risqueraient en effet de favoriser la construction d'ouvrages non adaptés aux enjeux actuels dans la vallée, à savoir la protection des douars et de leurs cultures en terrasses avoisinantes contre les inondations.

1 : Contexte

1. Suivi des projets en cours

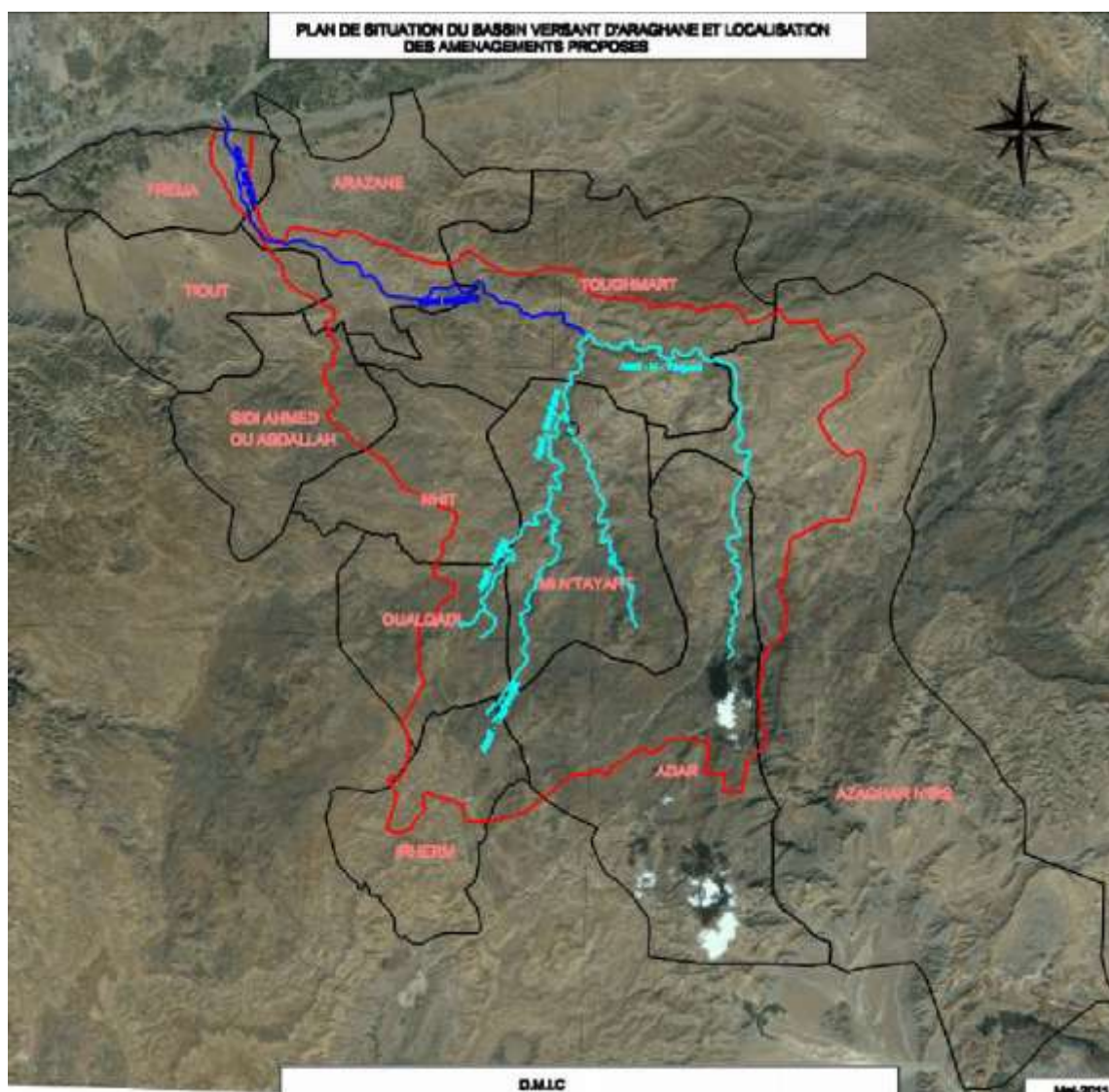


Figure n°1 : Carte issue du Schéma d'aménagement et de gestion intégrée de l'eau du bassin hydraulique (SAGIE) «Arghane », province de Taroudant, produite par l'Agence du Bassin Hydraulique (ABH) du Souss Massa.

Concernant la protection contre les inondations, nous avons pris connaissance des projets et partenariats en cours sur le territoire, à l'occasion de nos rencontres avec l'Agence du Bureau Hydraulique du Souss Massa Draa (ABH), pendant nos deux semaines de terrain.

- Entre les **douars Ben Ali et Tidriouine**, la Suisse financerait la construction d'un nouveau seuil de dérivation et de deux réservoirs permettant de développer l'agriculture, et de ce fait, l'importation en Suisse des fruits et légumes marocains sur leur territoire. En compensation de l'eau utilisée pour l'agriculture d'exportation, l'accord prévoit de financer une taxe Empreinte Eau.
- Actuellement, la protection contre les inondations dans la vallée de l'Arghen se fait plutôt par des **protections ponctuelles de type digues ou murets en pierre** pour protéger les zones culturales en terrasses à proximité des douars. Ces ouvrages sont financés par le Ministère marocain de l'Agriculture. Les projets de construction

de seuils de protection sont relativement délaissés, ayant le désavantage de générer des phénomènes importants d'envasement, s'ils n'étaient pas régulièrement entretenus.

- La construction d'un barrage de 30 Mm³ en amont de la vallée de l'Arghen est également en réflexion, ayant pour objectif principal le stockage de volume d'eau, et non la protection des douars en aval contre les épisodes d'inondation.

La connaissance des différents partenariats et des subventions agricoles permet de saisir les enjeux du partage de la ressource en eau, toujours plus rare, sur le territoire.

2. Caractérisation de la Vallée de l'Arghen

a. Caractérisation géographique

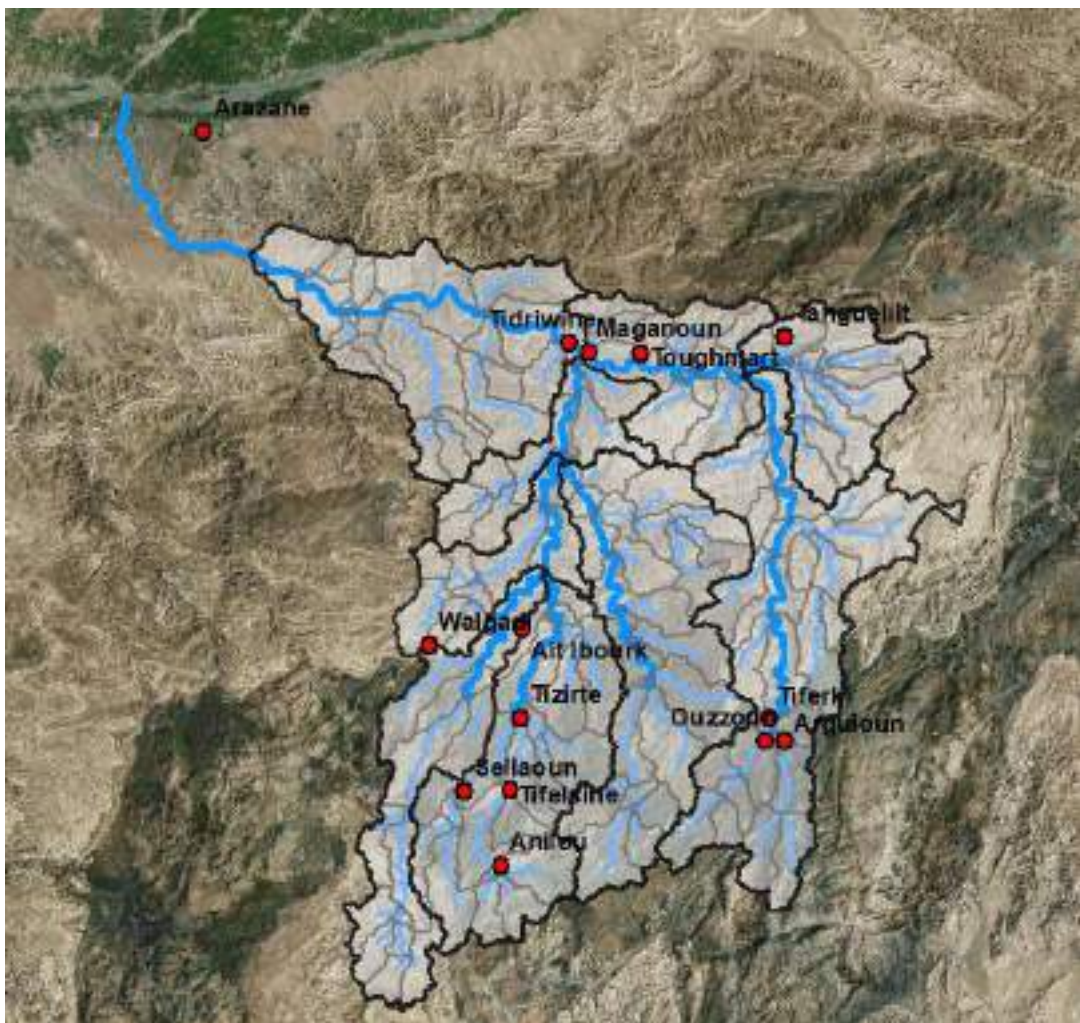


Figure n°2 : Carte Arcgis produite à l'occasion de notre étude de terrain, représentant les Bassins versants et les oueds principaux et secondaires de la Vallée, avec mention des douars où se sont déroulées nos visites de terrain.

Deux oueds affluents de l'Arghen traversent les principaux douars en amont de la vallée pour se rejoindre à Maguenoun. Envisager la construction d'ouvrages sur ces deux oueds principaux, en amont des premiers douars (Tifelsine, Ouzzoun, Tiferki et Arguione) est

donc un projet intéressant pour réduire la violence des crues et des inondations des premiers douars, et conjointement du douar de Maganoun situé en zone sensible.

b. Caractérisation hydrologique / hydrodynamique :

→ **Observation des dégâts liés aux crues 2010 et 2014, notamment sur la route de Maganoun, et au sein même des douars Tifelsine et Maganoun.**

Nos visites de terrain furent l'occasion de réaliser un constat des dégâts générés dans la Vallée, à l'occasion des crues de 2010 et 2014.



Figure n°3 : Photographie de débris après le passage de la crue de 2014 sur les rives de l'oued au niveau de Tifelsine.



Figure n°4: Photographies du passage de la crue torrentielle de 2014 dans le douar de Tifelssine.



Figure n°5: Photographies de routes et passages détruits en aval de Ouzzoun, en direction de Maganoun

→ Absence de données hydrologiques et hydrauliques sur la zone

De même que pour les ressources en eaux souterraines, les données relatives aux eaux de surface sont méconnues dans la vallée de l'Arghen. L'absence d'un historique des données hydrologiques du territoire est une contrainte majeure.

L'absence de connaissances sur les périodes de retour des crues, des débits de pointe, mais également des contextes géologiques et hydro-morphologiques restent un frein à la bonne conduite des calculs hydrauliques nécessaires pour dimensionner des ouvrages efficaces.

Les données météorologiques sont peu présentes dans la vallée de l'Arghen, les stations les plus proches étant Taliouine et Taroudant. Les données hydrologiques sont ainsi interpolées par les hydrologues de l'ABH. **Une étude est sur le point d'être lancée par l'ABH pour l'installation d'une nouvelle station météorologique automatique, sur un emplacement représentatif du climat de la vallée de l'Arghen.** La station sera dimensionnée pour une **superficie de 100 m²**, avec électricité, et devra être facile d'accès à l'intérieur d'un périmètre d'une administration, afin d'éviter tout problème foncier ou acte potentiels de vandalisme.

Le Rapport de délimitation du domaine public hydraulique rendrait compte des dégâts provoqués par la crue de 2014. **Dans la région du Souss Massa, la pluviométrie en novembre 2014 avait été évaluée à 150 mm étalée sur trois jours.** A la fin du mois de février 2018, la pluviométrie avait été évaluée à 150 mm, ayant causé moins de dégâts du fait de son étalement sur 10 jours.

En 2010 a eu lieu une crue dont la période de retour a été évaluée à 114 ans, d'après les hydrogéologues de l'ABH.

→ Projet d'interpolation des données de la Vallée du Souss Massa ?

Actuellement, seules les données hydrologiques de la vallée du Souss Massa sont connues et disponibles. Pour un premier projet de construction d'ouvrages de prévention contre les inondations, une interpolation des données du Souss Massa pour fournir des hypothèses quant au contexte hydrologique de la vallée de l'Arghen est souhaitable. Néanmoins, des données interpolées restent insuffisantes pour le projet intégré de prévention contre les inondations sur l'ensemble de l'Arghen, notamment pour dimensionner avec précision les futurs ouvrages de rétention dynamique.

Un bureau d'études allemand aurait financé une étude sur les eaux de surface au niveau de la commune d'Arazane, permettant d'obtenir une estimation des débits de crue décennale, centennale et millénaire. Nous n'avons malheureusement pas eu accès au rapport, mais celui-ci pourrait très certainement apporter de nouvelles données, et éventuellement permettre de produire des données par interpolation pour les autres communes de la Vallée.

→ Contexte géologique complexe de la Vallée

La vallée de l'Arghen se situe au niveau de l'Anti-Atlas et possède un contexte géologique complexe, avec des nappes limitées à productivité très variable.

La construction d'ouvrages de ralentissement dynamique sur cette zone pourrait, en plus du premier objectif que constitue l'écrêtement des crues, participer à stabiliser le niveau de la nappe pour les douars proches des ouvrages.

Il convient de rappeler que les connaissances du contexte géologique de la zone sont encore trop limitées. (cf. notre rapport sur le suivi piézométrique de la Vallée de l'Arghen). Le projet de station météorologique cité plus haut devrait être complété d'une étude géologique sur le territoire produite par un groupe d'experts de l'ABH, dont les résultats seront disponibles d'ici à 2019.

→ Charriage des matériaux et risques d'envasement des ouvrages

Avant tout projet de construction d'ouvrage sur la zone, une étude des sols est indispensable afin de déterminer un plan d'entretien des ouvrages contre l'envasement (courbe granulométrique des éléments charriés).

Sur le terrain, nous avons pu observer que la sédimentation charriée par les oueds est plutôt grossière. En outre, les cailloux charriés lors des crues peuvent servir de matériau de remplissage de gabions pour la construction de l'ouvrage. Dans les parties amont des oueds, les cailloux transportés sont encore relativement anguleux, donc encore plus favorables à des systèmes de gabions.

→ *Cas d'étude du Barrage de Sellaoun : met en évidence la problématique de l'envasement des barrages "classiques" et l'importance de l'entretien des barrages.*

Le barrage de Sellaoun est un exemple marquant de ce phénomène d'accumulation des sédiments en amont. Ce barrage avait pour vocation de retenir l'eau pour l'irrigation et l'abreuvement des cheptels. Situé sur une piste à 3 km de la route entre Taroudant et Ighrem, il est implanté sur le territoire de la commune de Oualkadi. Sa hauteur initiale était de 11 mètres mais l'envasement ou plutôt l'ensablement-engravement a progressé au fur et à mesure des années : en 2018 l'envasement a été estimé à 6 mètres.



Figure n°6 : Photographies du barrage de Sellaoun en mars 2018 (aval à droite et amont à gauche), constat de la sédimentation

Cette accumulation de sédiments rend le barrage inutilisable. L'étude de l'ABH a montré que la réhabilitation du barrage coûterait 870 000 dhs soit environ 79 000 euros.

c. Définition des objectifs pour lutter contre les inondations dans la Vallée

→ **A quel besoin répond le projet de construction d'ouvrages de ralentissement dynamique dans la zone ?**

Objectif principal : écreter une partie de la crue (cf. schéma de l'hydrogramme) en prenant compte des limites admissibles (débits maximums autorisés dans les douars) :

- les douars très en aval : Maganoun
- les douars plus en amont : commune d'Adar etc.

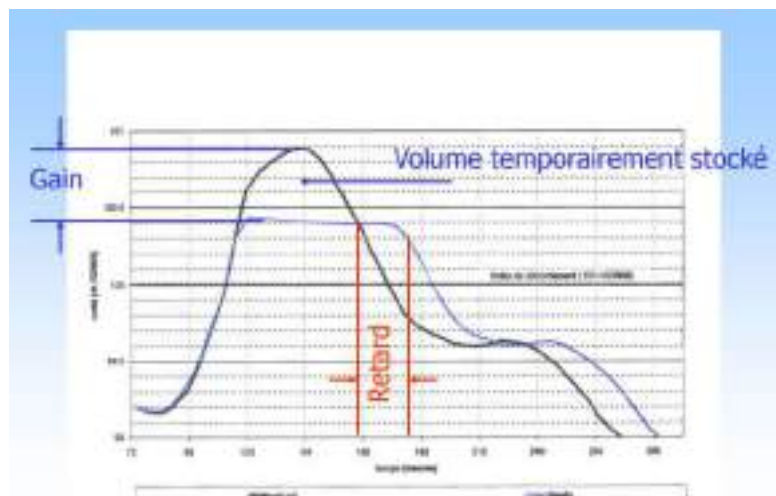


Figure n°7 : Exemple d'un hydrogramme de crue (source IRSTEA)

- **Objectifs secondaires** : agir en complémentarité des digues de protections culturelles déjà existantes (protection ponctuelle)

Favoriser une action en réseau des ouvrages de rétention dynamique à construire pour :

- gérer l'écrêtage des crues de façon intégrée (grâce à l'action d'une série de barrages)
- gérer la rétention des sédiments de façon intégrée

2 : Proposition d'une stratégie de prévention des inondations sur la Vallée

1. Identifications des 17 ouvrages pilotes

Nous avons pu identifier 17 verrous stratégiques où proposer la construction d'ouvrages de rétention dynamique, ayant pour objet principal l'écrêtement d'une partie de la crue afin de protéger les douars situés dans les zones les plus sensibles aux risques d'inondations en période de pluie :

- **deux ouvrages en amont de Maganoun**
- **deux ouvrages en amont d'Ouzzoun**
- **sept ouvrages en amont de Tiferki (protection du puits situé au bord de l'oued)**
- **quatre ouvrages en amont de Tifelssine**



Figure n°8 : Ouvrages possibles se situant entre Ouzzoun et Maganoun

→ Protection en amont de Maganoun, Aval de Tiferki et Ouzzoun

Sur l'oued, affluent gauche de l'Arghen, qui traverse Ouzzoun puis Tiferki puis Maganoun, nous avons repéré très en aval de la commune d'Adar un emplacement stratégique pour la construction d'un ouvrage de ralentissement dynamique. Le verrou "Arganier" est situé dans l'oued au niveau d'un "mur" naturel reconnaissable, non loin d'un espace où sont entreposés des matériaux de type granulats pour revêtement routier, quelques kilomètres en amont du futur terrain de sports de Toughmart.



Figure n°9 : Ouvrages possibles en amont de Tifelsine

→ ***Protection amont de Tifelsine***

Il pourrait être intéressant d'implanter un barrage sur la branche gauche du Bassin Versant, au niveau de l'oued qui passe en travers de la route bétonnée. Il pourrait faire œuvre de premier site pilote. L'objectif est moins de stocker de l'eau, que de favoriser l'infiltration et freiner les débits entrants.

→ ***Repérage amont d'Aniloul***

Nous avons effectué une visite de terrain en amont d'Aniloul, et observé la présence de barrages qui fonctionnent. Il est néanmoins intéressant de prendre en compte leur existence pour d'éventuels projets de réhabilitation, sur le long terme. L'oued en amont d'Aniloul se prête en effet à la construction de petits ouvrages, notamment pour freiner les débits de crue en cas de saison des pluies, qui se dirigent vers Tanamert et Tifelsine. De nombreuses digues de protection des zones culturelles situées sur les rives de l'oued sont également construites.

→ **Douar Tiferki, Commune d'Adar**

L'objectif des ouvrages de ralentissement dynamique en amont de Tiferki serait de protéger le puits situé dans l'oued, les jardins et les cultures en terrasses, et permettre l'infiltration dans la nappe. Pour protéger le puits de Tiferki, plusieurs ouvrages en amont du douar, mais également tout juste en aval du puits, pourraient permettre de ralentir très efficacement les débits transitants.



Figure n°10 : Puits de Tiferki entouré d'ouvrages en gabions qui ont été détruits. Le puits est situé dans le lit de l'oued et devrait être protégé par des ouvrages de ralentissement dynamique.



Figure n°11 : Ouvrages possibles autour d'Ouzoun

→ Douar Ouzzoun

A l'entrée d'Ouzzoun, pratiquement au niveau du stade de football situé dans l'oued, nous avons repéré un verrou intéressant et mesuré, à l'aide de lunettes tachéométriques, la hauteur de l'oued par rapport à la route, en perspective de la construction d'un ouvrage dont la crête du barrage soit plus basse que la route. En connaissant les données de crues, un calcul hydraulique (hauteur/débit) permettrait un bon dimensionnement de l'ouvrage. A ce même endroit, il faudrait évaluer à quelle profondeur se situe le rocher sous les alluvions. Nous projetons la construction d'un ouvrage en gabions qui aurait une échancrure centrale permettant de laisser passer une bonne partie des sédiments, du fait de l'accélération très localisée du flot.



Figure n°12 : Verrou repéré à l'entrée d'Ouzoun en amont du stade situé dans l'oued.

L'objectif dans cette zone est donc de freiner le débit entrant, de telle sorte que l'on passe de la crue cinquantennale à la crue décennale. Il faudrait que ce barrage puisse se vider au bout de 8h à 10h maximum, et permette ainsi l'infiltration afin de réalimenter la nappe. Une étude géosismique pourrait être, à cet emplacement, très pertinente, pour connaître la profondeur du socle rocheux.

→ Douar Arguioun (Peupliers près d'Ouzoun)

Dans cette vallée, il pourrait être intéressant aussi de réaliser un barrage en complémentarité des seuils déjà existant le long de la route qui relie Ouzoun à Arguioun. Le Douar est en effet juste en dessous du sommet du Jbel Aklim. Il faudrait réaliser un barrage très en amont, afin de protéger le douar, les zones culturelles et les jardins, sans toucher à la piste. Il faudrait faire un seuil plus haut que la piste, de 5 mètres. L'objectif n'est pas de stocker de l'eau, mais bien de freiner le débit entrant.

Etapes de notre méthodologie de terrain pour la prospective des emplacements

1. Recherche d'une topographie caractéristique: un verrou et une plaine inondable de rétention en amont. Une attention particulière est portée aux terrains en amont de l'ouvrage, soit la plaine de déversement, pour ne pas risquer de noyer des douars ou des plaines agricoles.
2. En fonction des emplacements, attribution de rôles spécifiques aux différents ouvrages : **barrage piègeur de sédiments et ralentisseur de crue** en amont, suivi d'un **ouvrage véritablement écrêteur**.
3. Prise en compte des emplacements des digues déjà existantes afin de construire des **ouvrages dont l'usage soit complémentaire**.

2. Type et conception de barrage

Nous proposons pour ce projet l'utilisation de l'ouvrage en gabion, comme un ouvrage idéal de rétention dynamique pour le terrain. Il s'agit d'une cage parallépipédique en grillage galvanisé rempli de cailloux. Il existe de nombreux types de gabions.

Le régime d'écoulement principal auquel le Maroc fait face est principalement le régime torrentiel. Dans la vallée de l'Arghen, aucun cours n'atteint le régime fluvial. Par conséquent, les protections de berges ponctuelles et les ouvrages de rétention dynamique de crue n'entrent pas en conflit et sont complémentaires.

L'objectif premier ici est de **freiner le débit plusieurs conceptions peuvent être envisagées**. En fonction du résultat escompté, les ouvrages en gabions seront plus ou moins souples. On peut distinguer les gabions notamment par : la forme de la cage, les matériaux constitutifs de l'enveloppe, l'ouverture des mailles, le mode de remplissage, le mode de liaison ou encore l'application. Les avantages de ce matériau dans le cadre du contexte marocain, et plus précisément de la vallée de l'Arghen, sont nombreux :

- **perméabilité** : il est perméable et convient comme dispositif de protection (et non d'étanchéité). A noter qu'il devient monolithe par consolidation en milieu aquatique ;
- **déformabilité** : sa souplesse autorise son utilisation en terrain affouillable. Il épouse les formes du terrain naturel et le suit dans ses mouvements (affaissements, tassement, etc...) sans compromettre la stabilité des ouvrages ;
- **simplicité** : les matériaux qui le composent sont abondants et disponibles. De plus il permet d'exécuter rapidement et économiquement les ouvrages.

Néanmoins, on note quelques inconvénients qu'il faut prendre en compte pour la conception des ouvrages. Notamment le fait que les dimensions de ce matériau imposent un surdimensionnement des ouvrages de forme géométrique simple.

a. Barrage avec échancrure et gradin de dissipation en aval en cas de surverse.

Un barrage avec échancrure est constitué de deux demi-barrages qui laissent passer un débit calibré (Figure 1).

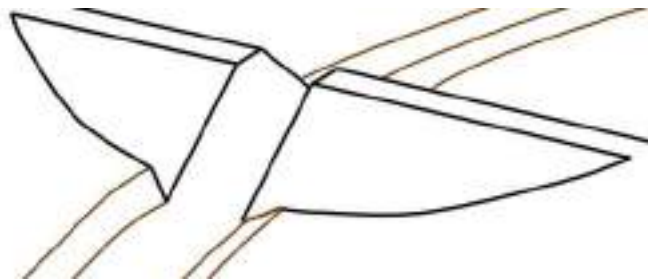


Figure n°13 : Barrage échancré

Lorsque le débit devient supérieur au débit de calibration du barrage, le stockage de l'eau a lieu en amont et les débits sont lissés en aval.

Pour les fortes crues deux stratégies de dimensionnement sont possibles :

1. Une surverse peut être envisagée, mais pour protéger l'intégrité du barrage, il faut mettre en place des outils de protection en aval. **Un gradin de dissipation de l'énergie hydraulique est envisageable** (Figure 2). Dans cette configuration **la chute de l'eau est accompagnée par un escalier en gabion jusqu'au bassin de dissipation**. Cela permet d'empêcher l'érosion du barrage en cas de surverse.

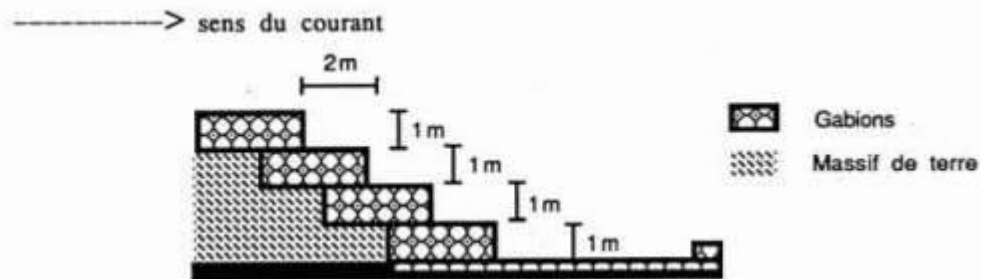


Figure n°14 : Gradin de dissipation en gabion

2. Le barrage est dimensionné de telle sorte à ne jamais être en surverse. Il faut inclure dans le dimensionnement **une marge de sécurité par rapport au risque de déversement entre le niveau de l'eau et la crête du barrage**.

Pour le talus amont deux choix sont possibles : **le talus est fait en remblai et est protégé contre l'érosion grâce à un matelas Reno en gabion** (Figure 3).



Figure n°15 : Installation de matelas Reno anti batillage

Une autre option, celle **d'un talus amont et d'un barrage réalisés entièrement en gabions**. Cela dépend de la configuration des lieux et de la disponibilité des matériaux.

De manière générale, dans ce type de barrage **il faut faire attention aux vitesses atteintes dans l'échancrure**, qui ne doivent pas être supérieures à la vitesse de l'eau qui s'écoule dans les mêmes conditions, mais sans échancrure.

L'avantage d'un barrage de ce type est qu'il **laisse passer les sédiments**. Pour cette raison, **l'envasement du barrage sera limité, permettant un entretien du barrage moins contraignant**.

b. Barrage en gabion avec pertuis ouvert

L'idée de ce barrage est la même que pour le barrage avec échancrure. **La crue est écrêtée en laissant passer un débit défini et en stockant l'eau des débits supérieurs au débit de conception** (Figure 4).



Figure n°16 : Barrage en gabion avec pertuis ouvert

L'avantage du pertuis est que pour les faibles débits la hauteur de crête de l'eau est moins importante que pour une échancrure. Cependant une fois la hauteur du pertuis atteinte, c'est-à-dire pour un débit suffisamment élevé, la conduite se met en charge et l'efficacité est grandement diminuée, contrairement aux barrages échancrés (Figure 5).

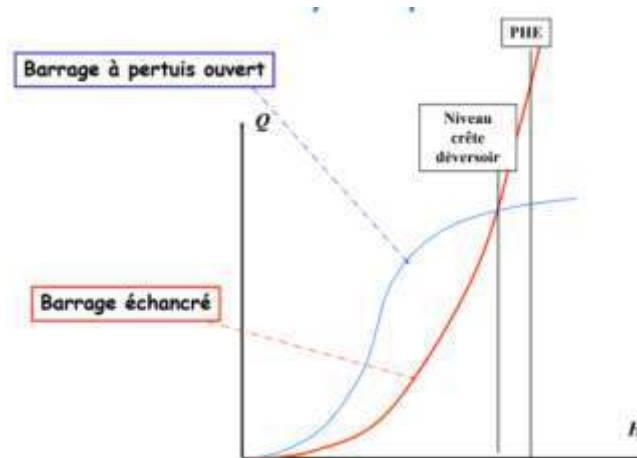


Figure n°17 : Relation entre le débit et la hauteur d'eau pour un barrage à pertuis ouvert et un barrage échancré.

Un autre problème concernant l'utilisation de pertuis est l'obligation d'utiliser une grille en amont afin d'empêcher les débris d'entrer et d'obstruer la conduite. De même l'envasement du barrage peut gravement nuire à l'efficacité du dispositif, il faut alors une gestion des sédiments et un entretien du barrage exemplaire pour que le barrage conserve sa pertinence.

3. Dimensionnement du barrage : les paramètres à prendre en compte

Pour la conception d'un barrage il est nécessaire de s'intéresser à différentes problématiques au préalable :

- le niveau de sécurité que l'on souhaite atteindre avec notre ouvrage,
- les caractéristiques hydrologiques des crues sur le territoire
- les méthodes d'estimation choisies.

Le choix du niveau de sécurité se fait en fonction de la notion de période de retour T , et de la probabilité de non dépassement sur une année F .

$$T = 1/(1 - F)$$

Ainsi la probabilité qu'un ouvrage ne subisse pas la crue de période de retour 1000 ans pendant sa durée d'exploitation fixée à 200 ans est de :

$$F = 1 - (1/T) \text{ sur 1 année donc sur 200 ans } , F_{200 \text{ ans}} = (1 - (1/T))^{200} = 0,999^{200} = 0,82$$

Ainsi le risque d'observer une ou plusieurs crues millénales est de 0,18.

En général, on établit le dimensionnement du barrage écrêteur de crue en fonction des situations rares de crue, des situations exceptionnelles de crue et des extrêmes de crue.

- **Situations rares de crue :**

Cette crue est définie comme la crue provoquant un remplissage jusqu'à la cote de protection (cote du déversoir de surface). On est alors en efficacité maximale vis-à-vis de la protection des enjeux aval. En moyenne, la période de retour associée à cette cote est entre $T=10$ à $T=100$ ans (choix technico-économique).

- **Situations exceptionnelles de crue :**

Cette crue est définie comme la crue provoquant un remplissage jusqu'à la cote des plus hautes eaux (PHE), laissant encore une revanche pour se protéger de l'effet des vagues.

- **Situations extrêmes de crue :**

Cette crue est associée à l'atteinte de la cote de danger de rupture. Cependant, dans le cas d'une conception de barrage permettant une surverse, cette situation est potentiellement écartée s'il est correctement dimensionné. Autrement, lorsque la cote de danger de rupture est atteinte il y a un risque de dégâts majeurs pouvant conduire rapidement à la rupture de l'ouvrage et constitue un état limite ultime (ELU).

Les caractéristiques hydrologiques des crues de période de retour entre $T=10$ à $T=100$ ans que l'on cherche à déterminer pour le dimensionnement d'un barrage sont : le débit de pointe (en prenant en compte le fait qu'on ne se soit pas sur une typologie d'ouvrage étanche), le volume de stockage de l'ouvrage, la durée de la crue (pour l'hydrogramme).

Mais attention, pour une crue donnée, le débit de pointe et le volume ne sont pas des données à associer pour effectuer une probabilité. Il faut aussi tenir compte du fait que la réponse du bassin versant est variable face aux averses successives. Au-delà du débit de pointe et du volume de crue, il faut aussi prendre en compte que la forme de l'hydrogramme a un impact non négligeable pour l'estimation de la cote des plus hautes eaux.

Des analyses statistiques et hydrologiques doivent être réalisées pour déterminer le niveau de pluie ou de débit associé aux périodes de retour établies, afin d'évaluer le niveau de sécurité nécessaire.

Le but étant de déterminer les caractéristiques d'une loi de probabilité (ex : exponentielle, Gumbel, ...) qui supporte l'extrapolation vers les fréquences rares et exceptionnelles.

Evidemment, pour pouvoir réaliser ces extrapolations, des données pluviométriques, hydrométriques, naturalistes et historiques sont nécessaires, demandant l'installation d'équipements tels que des stations météo, des pluviomètres, des stations de mesures du débit, etc. sur le bassin versant. A ces données s'ajoutent l'importance d'un suivi sur le long terme (plus la période de données sera longue plus l'analyse statistique sera fiable) et d'une régularité dans la prise des mesures. Avant chaque analyse, une prise de recul vis-à-vis de la qualité des données est à faire, pour renforcer la pertinence de l'étude.

Différentes méthodes d'estimation existent pour déterminer les caractéristiques du dimensionnement de notre barrage :

- les statistiques basées sur la connaissance unique des débits,
- la modélisation de la transformation de la pluie en débit (méthode du Gradex, Shadex, SHYPRE),
- le transfert vers un site non jaugé pour les petits bassins versants (formules régionales) mais attention il y a une forte variabilité des crues selon le contexte climatique et topographique.

Conclusion

Les paramètres indispensables pour dimensionner des ouvrages de ralentissement dynamique sont nombreux (caractéristique du bassin versant, temps de concentration, nombre de courbe, occupation des sols, etc). En l'occurrence les données pluviométriques et/ou hydrométriques sont essentielles pour effectuer les analyses hydrologiques et hydrauliques. Ainsi, il faut les recueillir et les valider, d'où l'intérêt de la mise en place prochaine d'une nouvelle station météo dans la vallée, même si les données ne seront utilisables que dans plusieurs années. Actuellement, seule la méthode d'estimation par transfert est possible pour le dimensionnement des ouvrages. Elle a déjà été appliquée sur le bassin versant pour estimer les crues mais l'hypothèse selon laquelle les bassins versants sont homogènes et donc leurs caractéristiques transférables reste discutable. Du fait de ces lacunes, le choix de la typologie d'ouvrage est d'autant plus important afin de répondre aux exigences de laminage, d'entretien et de sécurité.

Annexes:

Liste des figures :

Figure n°1 : Carte issue du Schéma d'aménagement et de gestion intégrée de l'eau du bassin hydraulique (SAGIE) «Arghane », province de Taroudant, produite par l'Agence du Bassin Hydraulique (ABH) du Souss Massa.

Figure n°2 : Carte Arcgis produite à l'occasion de notre étude de terrain, représentant les Bassins versants et les oueds principaux et secondaires de la Vallée, avec mention des douars où se sont déroulées nos visites de terrain.

Figure n°3 : Photographie de débris après le passage de la crue de 2014 sur les rives de l'oued au niveau de Tifelssine.

Figure n°4 : Photographies du passage de la crue torrentiel de 2014 dans le douar de Tifelssine.

Figure n°5 : Photographies de routes et passages détruits en direction de Maganoun

Figure n°6 : Photographies du barrage de Sellaoun en mars 2018 (aval et amont), constat de la sédimentation

Figure n°7 : Exemple d'un hydrogramme de crue (source IRSTEA)

Figure n°8 : Ouvrages possibles se situant entre Ouzzoun et Maganoun

Figure n°9 : Ouvrages possibles en amont de Tifelssine

Figure n°11 : Ouvrages possibles autour d'Ouzzoun

Figure n°10 : Puits de Tiferki entouré d'ouvrages en gabions qui ont été détruits. Le puits est situé dans le lit de l'oued et devrait être protégé par des ouvrages de ralentissement dynamique.

Figure n°12 : Verrou repéré à l'entrée d'Ouzzoun en amont du stade situé dans l'oued.

Figure n°13 : Barrage échancré

Figure n°14 : Gradin de dissipation en gabion

Figure n°15 : Installation de matelas Reno anti batillage

Figure n°16 : Barrage en gabion avec pertuis ouvert

Figure n°17 : Relation entre le débit et la hauteur d'eau pour un barrage à pertuis ouvert et un barrage échancré.

Etude No3 : Analyse hydrologique du Bassin de la vallée de l'Arghen



RAFIQ OUSSAMA 2-IVE (ETHP)
BENKOU AYOUB Ingénieur (HEE)

Cette étude a été faite dans le cadre d'un stage d'ingénieur ayant pour objectif l'analyse de deux sujets: La protection contre les inondations dans la vallée d'Arghen et le Suivi piézométrique dans la même zone. Cette étude avait pour but de déboucher sur des propositions à l'Agence de Bassin du Souss Massa.

Juillet-Aout 2018

Généralités sur la zone d'étude

I. Situation géographique du bassin versant :

L'Oued Arghen est un affluent rive gauche de l'oued Souss. Le bassin versant de l'oued Arghen draine le versant nord de la chaîne montagneuse de l'Anti-Atlas. Il fait partie du grand bassin versant de l'oued Souss. Il couvre une superficie de 1029,57 km², soit moins de 7% de l'étendue du bassin versant du Souss.

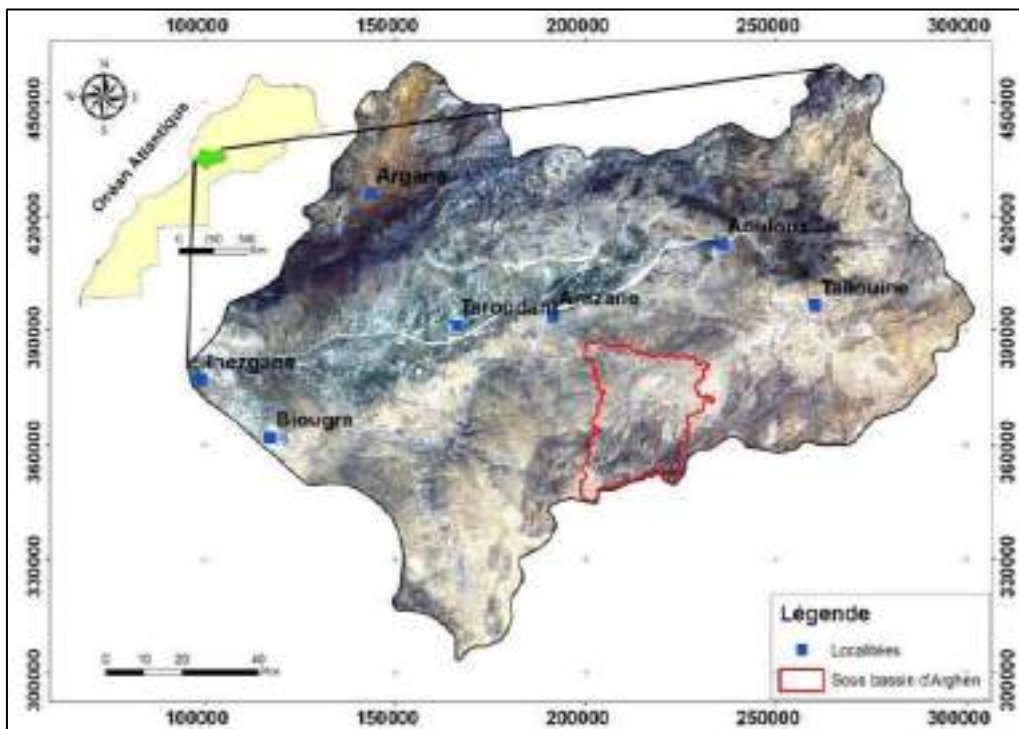


Figure 1: Situation du bassin versant de l'Oued Arghen dans le grand bassin de Souss

II. Situation administrative :

Administrativement, il se situe dans sa grande partie sur les communes de la province de Taroudant :

- Adar : 22.75 % de la superficie
- Imi Ntayart : 22.63 %
- Toughmart : 18.29 %

Et dans une moindre mesure sur les communes :

- Azaghar Nirs : 9.31 %
- Nihit : 6.93 %
- Igherm : 8.32 %
- Arazane : 2.15 %

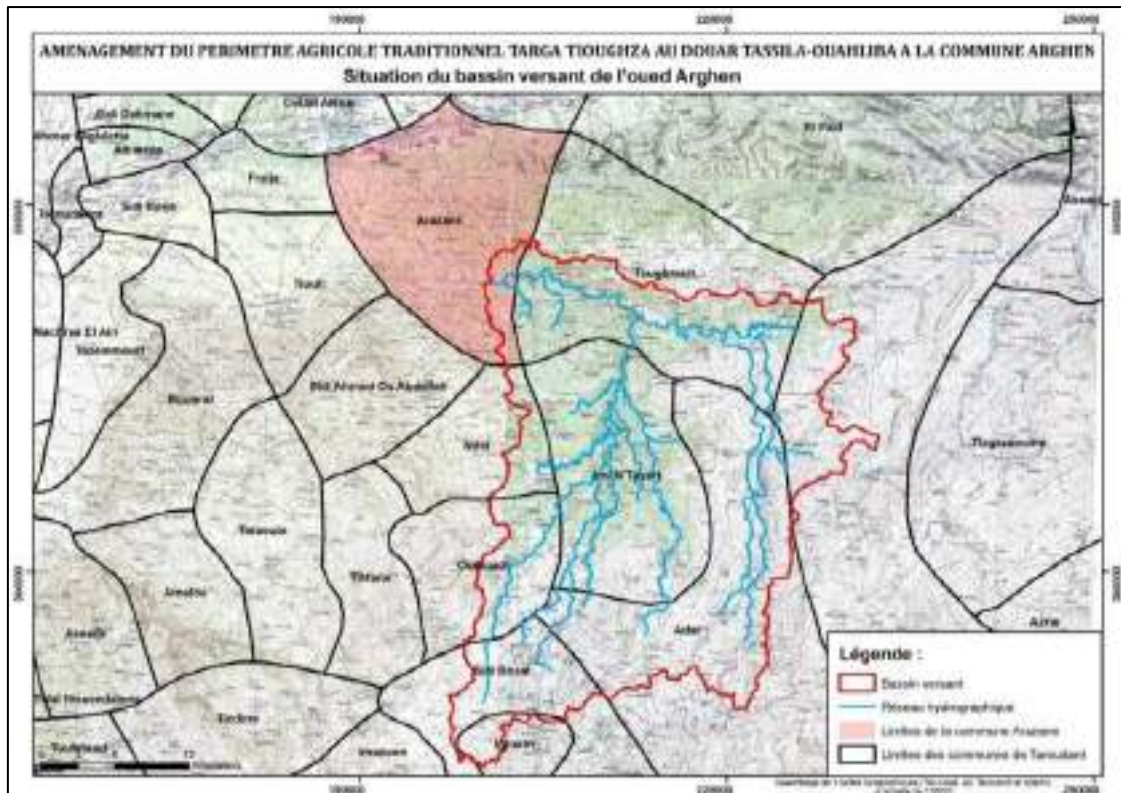


Figure 2: Situation administrative

III. Le cadre géologique :

Le bassin d'Arghen fait partie intégrante du massif d'Irherm (Anti-Atlas), Les terrains précambriens affleurent en une série de boutonnières alignées selon un axe ENE-WSW, L'Adoudounien est représenté par une série de calcaires et dolomies inférieurs. La carte géologique extraite de la carte géologique d'Igherm (1 :100.000) montre la nature lithologique des roches :

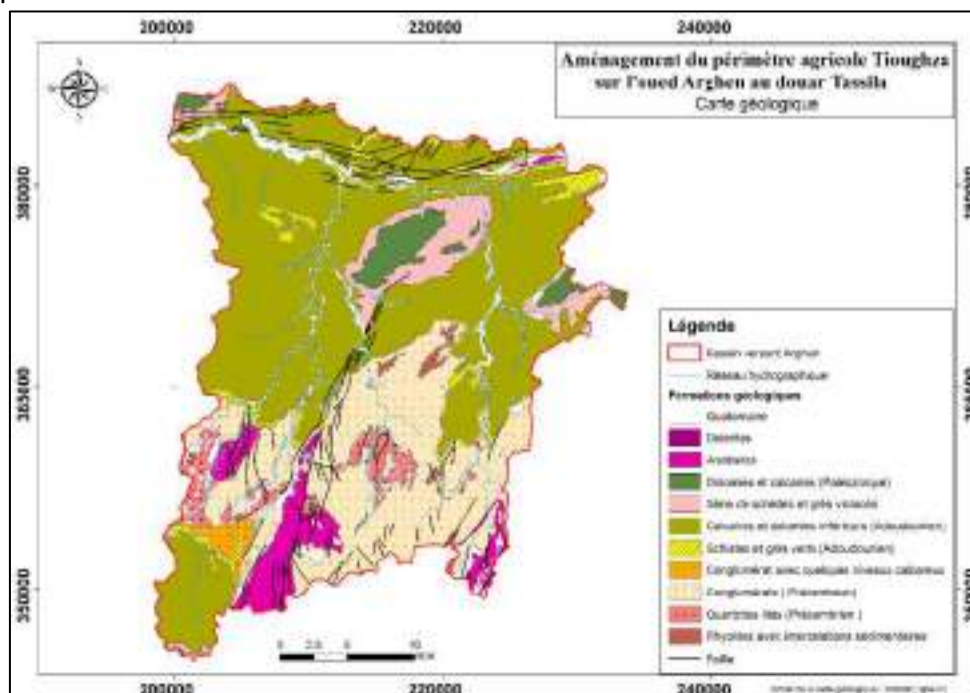


Figure 3: Carte géologique du Bassin versant d'Arghen (extraite de la carte géologique d'Igherm au 1 :100.000))

IV. Pluviométrie :

Deux postes pluviométriques encadrent le bassin versant de l'oued Arghen. Il s'agit des postes :

Poste pluviométrique	Nombre d'années d'observation	Pluie moyenne annuelle mm	Nombre de jours de pluie	Situation par rapport au bassin
Taroudant	88	202	24	Nord
Taliouine	68	235,5	37	Est

Donc on estime la pluie moyenne dans le bassin par la moyenne des pluies dans les deux postes voisines, ainsi la pluie moyenne dans le bassin versant de l'Oued d'Arghen est : **218,75 mm**

Partie 1 : Protection contre les inondations dans la vallée d'Arghen

I. Etude hydrologique préliminaire :

1. Délimitation du bassin versant sur ArcGIS :

Objectif :

L'objectif de cette partie est de délimiter notre bassin versant et d'établir sa superficie, la longueur de son cours d'eau le plus long ainsi que ses hauteurs min et max, ces données vont servir comme données d'entrée pour le calcul des différents paramètres du bassin, du temps de concentration et du débit. La délimitation du bassin versant est effectuée à l'aide de la composante Arcmap du logiciel Arcgis, et ci-dessous ses différentes étapes.

Logiciel utilisé :

Arcmap : est la composante principale de la suite des programmes de traitement géospatial ArcGIS d'Esri. Il est principalement utilisé pour afficher, éditer, créer et analyser des données géospatiales. ArcMap permet à l'utilisateur d'explorer des données dans un jeu de données, de symboliser les fonctionnalités en conséquence et de créer des cartes.

1-1 Coordonnées de notre exutoire :

L'exutoire d'un bassin est le point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin.

Ainsi, la position de notre exutoire est déterminée sur carte sur le site internet : <http://tool-online.com/map-tools.php> de façon à ce qu'il regroupe toutes les eaux de ruissellement des différents cours d'eau du bassin.



Figure 4: position de l'exutoire



Figure 5: position de l'exutoire après Zoom

Vers l'aval, aucun affluent notable ne s'ajoute au réseau d'écoulement. Ainsi, c'est inutile de considérer un exutoire en aval de ce point.

1-2 Etapes de la délimitation du bassin par Arcmap :

Préparation du MNT (Modèle Numérique de Terrain) de base :

On utilise comme document d'entrée le MNT contenant la région étudiée. Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation de la topographie (altimétrie et/ou bathymétrie) d'une zone terrestre sous une forme adaptée à son utilisation par un calculateur numérique (ordinateur).

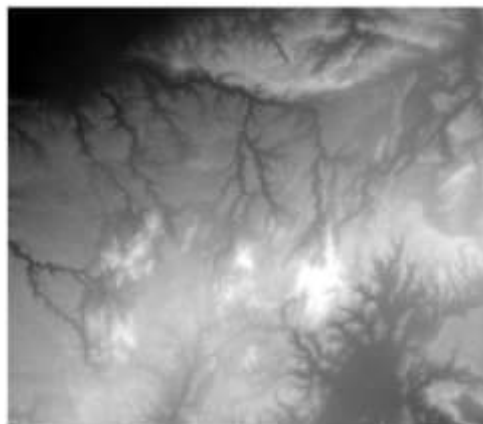


Figure 6: Le MNT contenant le bassin d'Arghen

Afin de délimiter le bassin, on utilise l'extension ArcHydro de Arcmap, en exécutant les commandes suivantes dans l'ordre :

- **Terrain Processing > DEM Manipulation > Fill Sinks** : Elle permet de corriger les erreurs d'altitude qui pourrait fausser complètement le résultat, et ce par une méthode d'interpolation.



Figure 7: Résultat de la commande Fill Sinks

- **Terrain Processing > Flow Direction** : Elle détermine pour chaque cellule de la carte un sens d'écoulement via un système de numérotation.

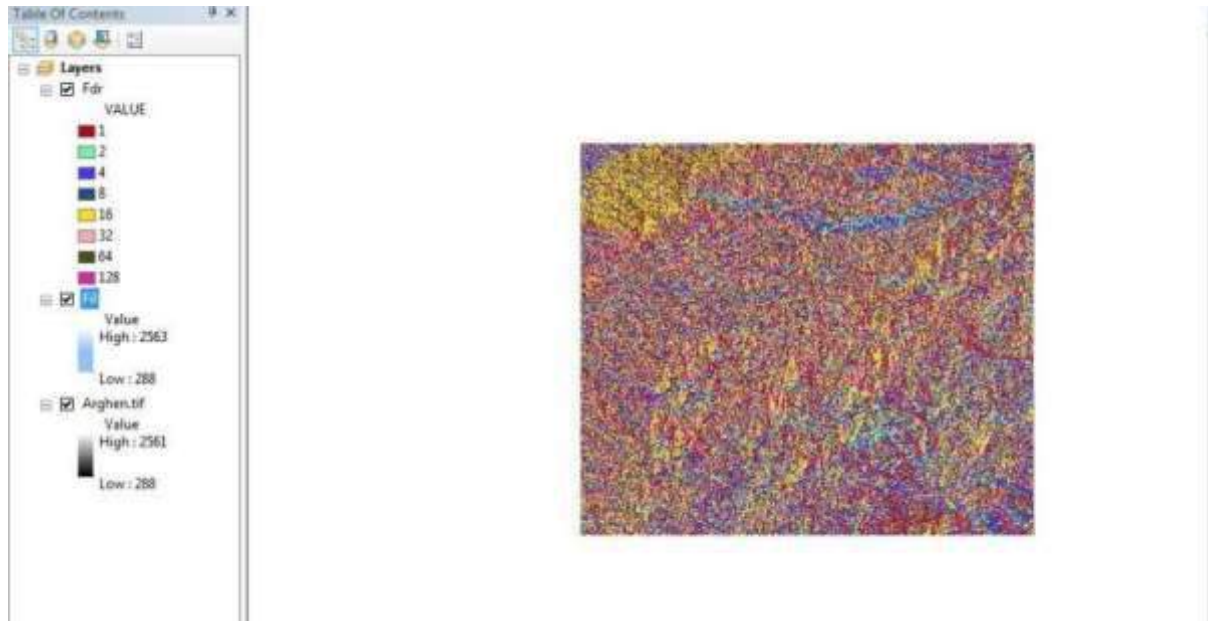


Figure 8: Résultat de la commande Flow Direction

- **Terrain Processing > Flow Accumulation** : Elle utilise le sens d'écoulement déterminé précédemment pour définir le réseau hydraulique.

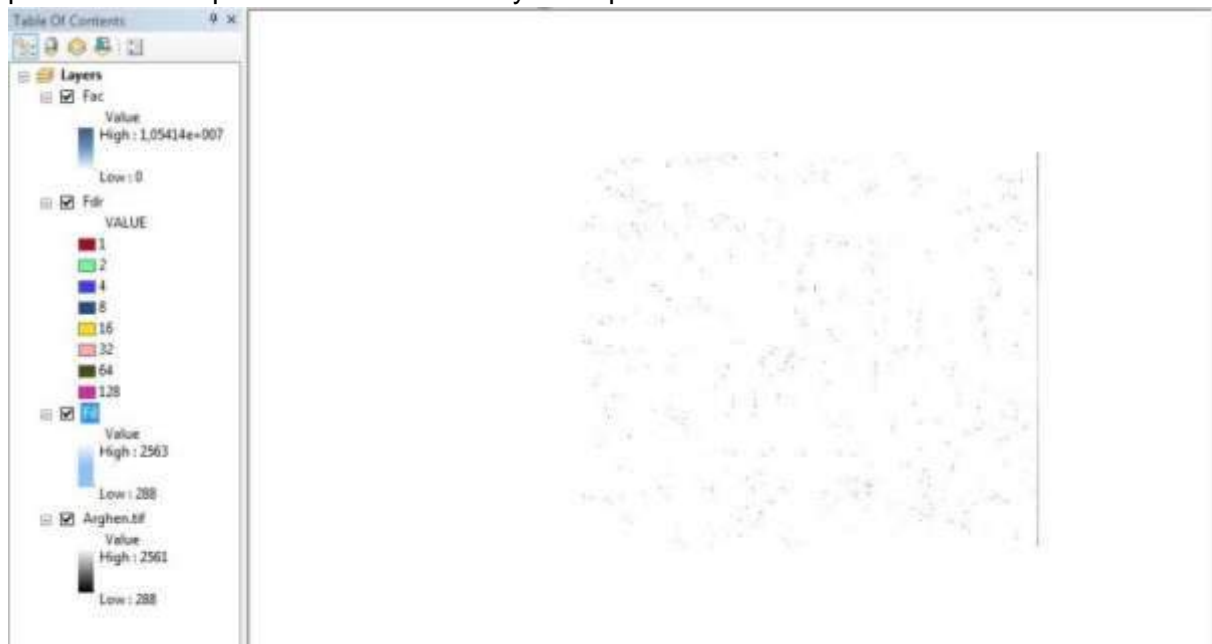


Figure 9: Résultat de la commande Flow Accumulation

- **Terrain Processing > Stream Definition puis Stream Segmentation** : Elles servent respectivement à affiner le réseau hydraulique précédent et puis segmenter le réseau d'écoulement en tronçons à identifiants uniques. En appliquant ces deux commandes on obtient la distinction entre les cours d'eau principaux et ceux secondaires.

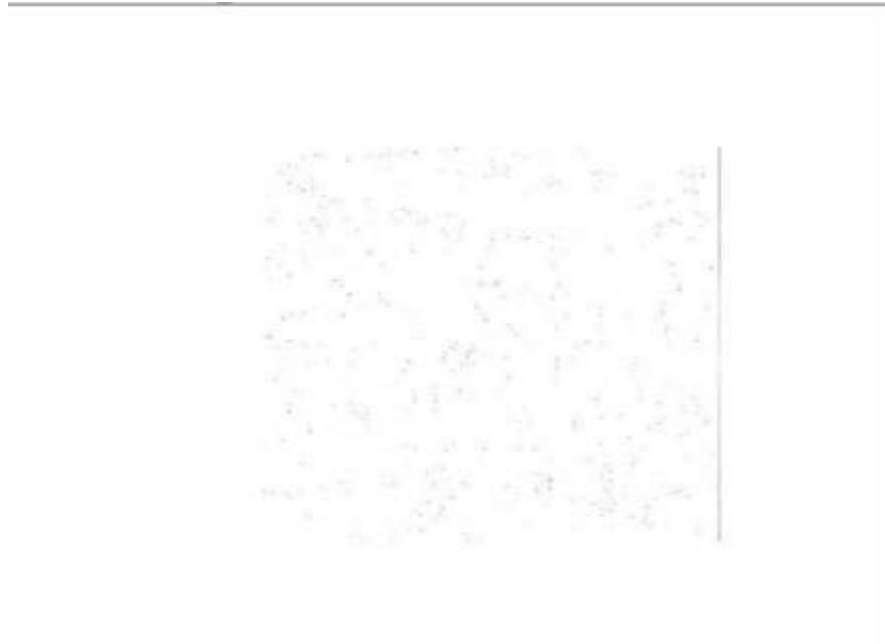


Figure 10: Résultat des commandes Stream definition et Stream segmentation

- **Terrain Processing > Catchment Grid Delineation** : Elle délimite et associe à chaque segment de cours d'eau la surface qu'il draine.



Figure 11: Résultat de la commande Catchment Grid delineation

- **Terrain Processing > Catchment Polygon Processing** : Elle transforme les surfaces obtenues dans l'étape précédente en polygones.

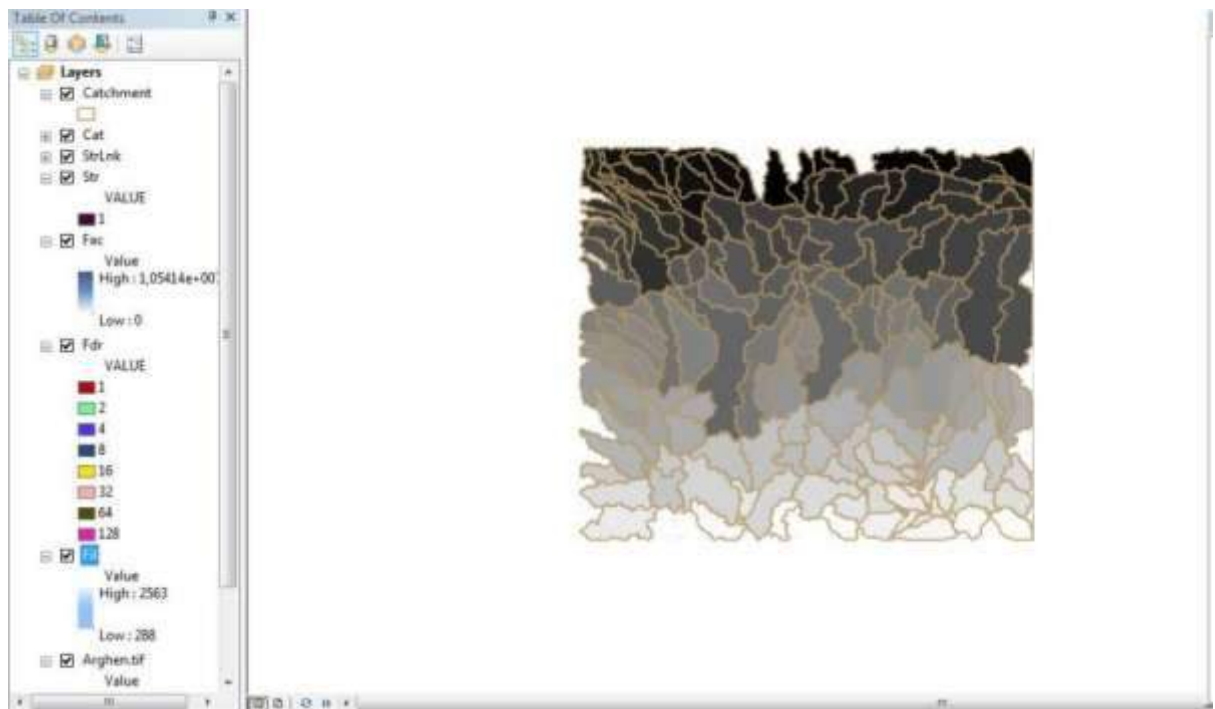


Figure 12: Résultat de la commande Catchment Polygon Processing

- **Terrain Processing > Drainage Line Processing puis Adjoint Catchment Processing** : La première commande convertit les cours d'eau de la représentation en grilles en une représentation vectorielle, la deuxième définit ensuite pour chaque surface un polygone de la surface drainée en amont.

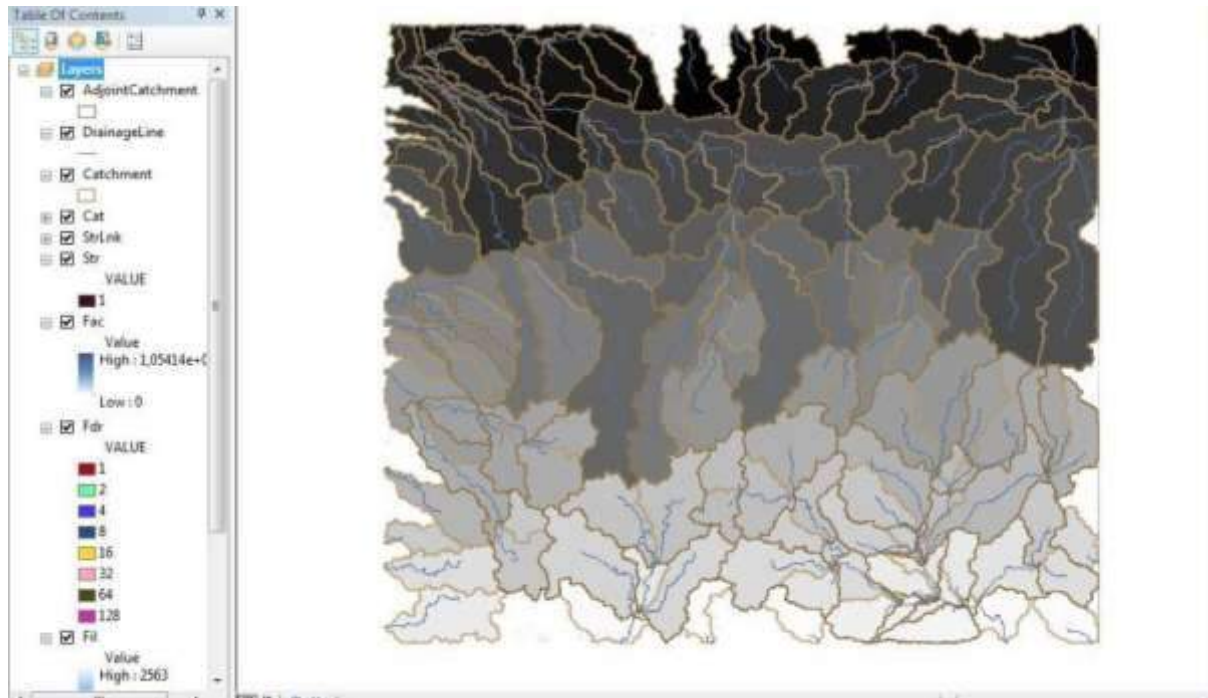


Figure 13: Résultat des commandes drainage line processing et adjoint catchment processing

- **Batch Point** : Cet outil permet la définition de l'exutoire via le curseur, ayant les coordonnées (X,Y) approximatives de l'exutoire on a utilisé l'outil Go to XY pour atteindre le point en question, puis on a remplacé l'exutoire manuellement pour qu'il soit sur le cours d'eau.

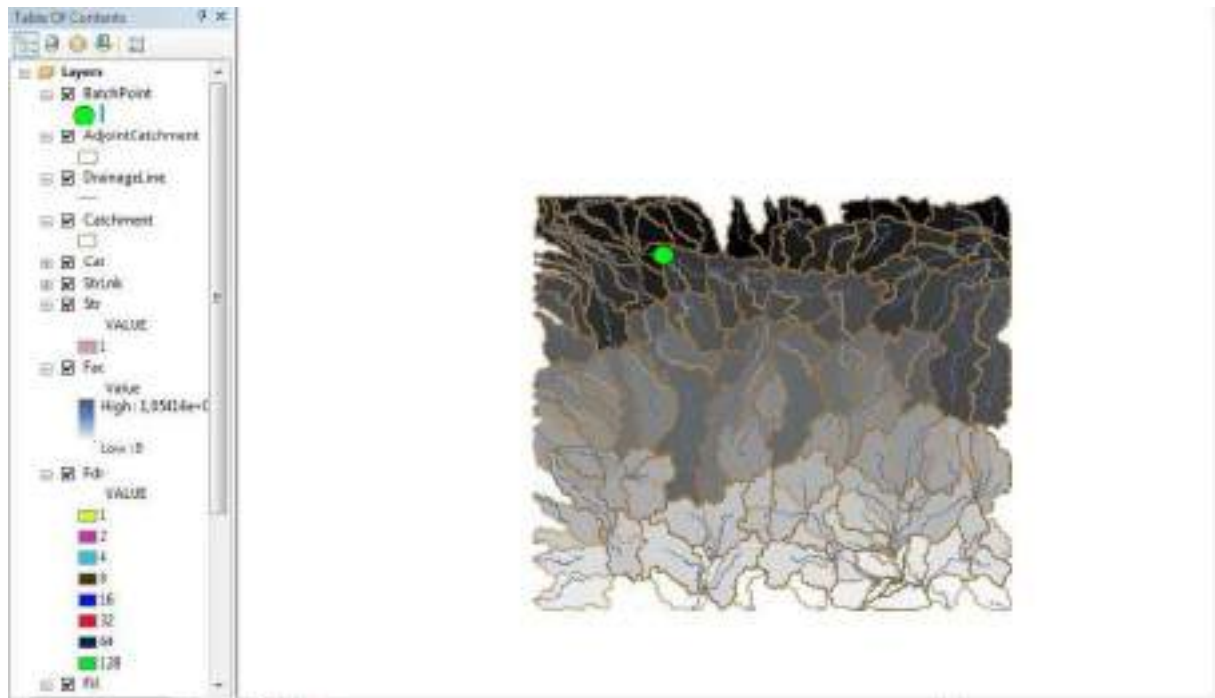


Figure 14: définition de la position de l'exutoire à l'aide de l'outil Batch Point

- **Watershed Processing > Batch Watershed Delineation** : Elle permet la délimitation du bassin versant associé à notre exutoire.

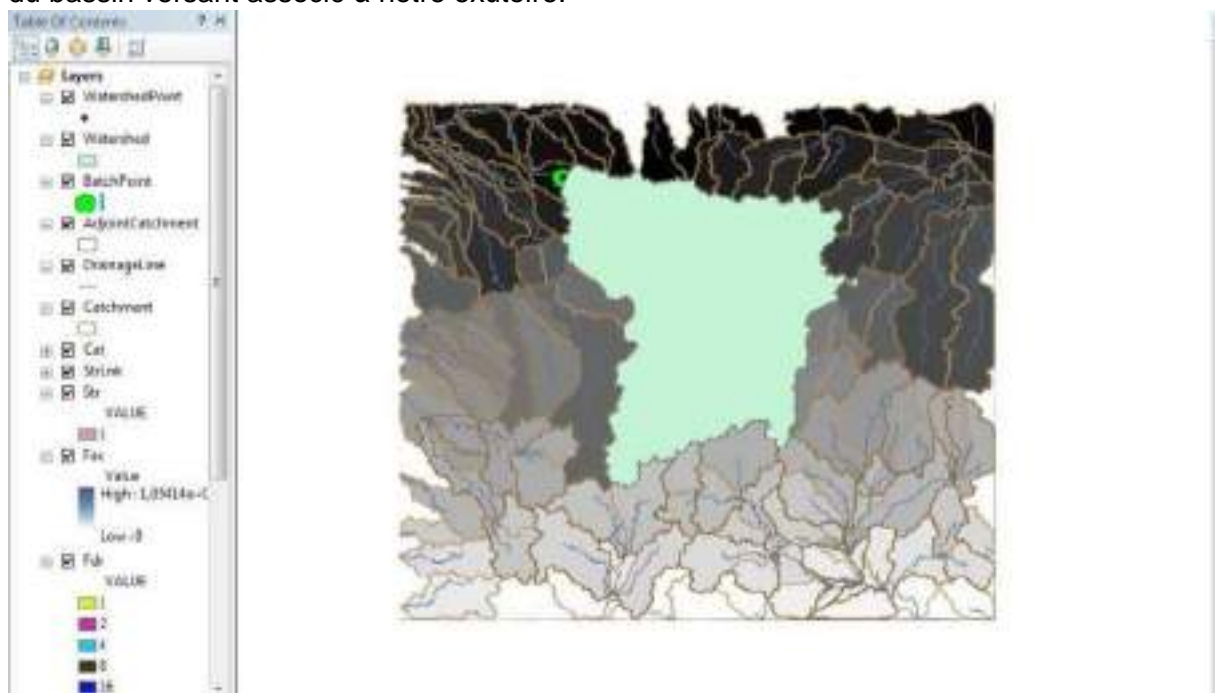


Figure 15: Résultat de la commande Batch Watershed delineation

1-3 Détermination de la surface, périmètre et longueur du Talweg du BV :

Après la délimitation de notre BV, ArcGIS calcule automatiquement la superficie, le périmètre et la longueur du Talweg (cours d'eau le plus long) du BV, ces paramètres sont donnés dans les figures ci-dessous en mètre.

Shape *	OID *	Shape Length	Shape Area	HydroID	Name
▶ Polygon	1	276600	1029572968.75	420	exutoire

Figure 16: Périmètre et superficie

	Shape *	OID *	Shape Length	HydroID	DrainID
▶	Polyline	1	80404.665152	247	420

Figure 17: Longueur du Talweg

Avec :
 Superficie : shape Area
 Périmètre : Shape Length
 Longueur du Talweg : Shape Length

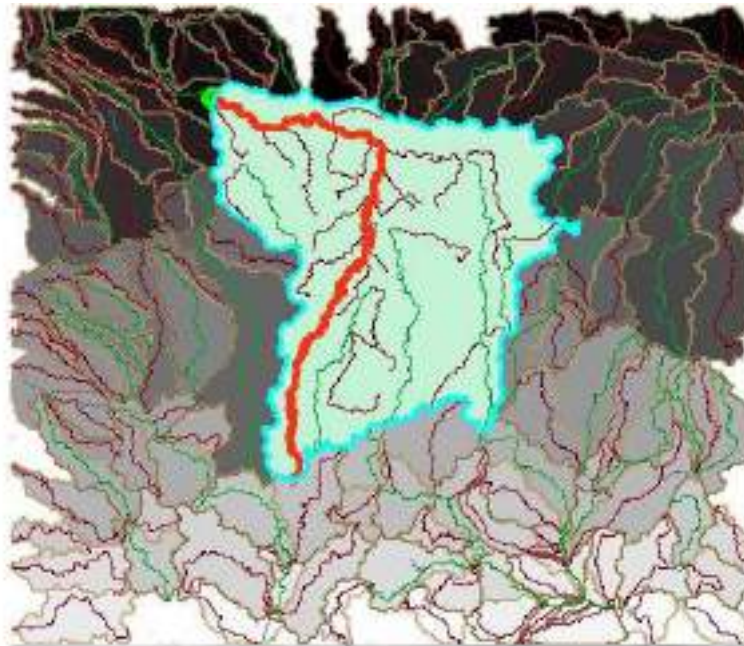


Figure 18: Le cours d'eau le plus long déterminé par Arcgis

1-4 Carte et courbe hypsométrique :

a. Carte hypsométrique établie par ArcGIS :

La carte hypsométrique donne la répartition des intervalles d'altitudes dans la surface du bassin versant.

Ci-dessous la carte hypsométrique du Bassin d'Arghen où évidemment les altitudes diminuent de l'amont vers l'exutoire.

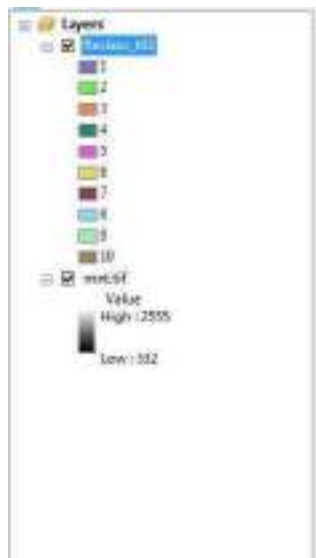


Figure 19: Carte hypsométrique du BV d'Arghen

Les classes 1 à 10 font référence à des intervalles d'altitudes en m, comme montré dans le tableau ci-après :

Old values	New values
532 - 811	1
811 - 1000	2
1000 - 1144	3
1144 - 1275	4
1275 - 1401	5
1401 - 1534	6
1534 - 1680	7
1680 - 1837	8
1837 - 2094	9
2094 - 2555	10

On en déduit les hauteurs min et max ainsi que la courbe hypsométrique.

- o Hmin= 53 m
- o Hmax= 2555 m

b. Courbe hypsométrique :

Arcgis calcule automatiquement les superficies associées aux classes (intervalles d'altitudes) comme montré dans le tableau ci-dessous :

OBJECTID*	Shape*	grid code	Shape Length	Shape Area
1	Polygon	1	117060,302333	52364355,566024
2	Polygon	2	389288,054787	84449565,986698
3	Polygon	3	606199,055364	155532126,18772
4	Polygon	4	722453,213844	167617646,8403
5	Polygon	5	756830,282123	185295316,92052
6	Polygon	6	599970,046727	134055953,694078
7	Polygon	7	423115,639141	95403768,916644
8	Polygon	8	310126,204707	100048342,710398
9	Polygon	9	180578,636214	42052443,551325
10	Polygon	10	45093,413929	12746819,414979

Avec :

Grid code : classe

Shape Area : Superficie

On insère ces données dans Excel pour tracer la courbe hypsométrique :

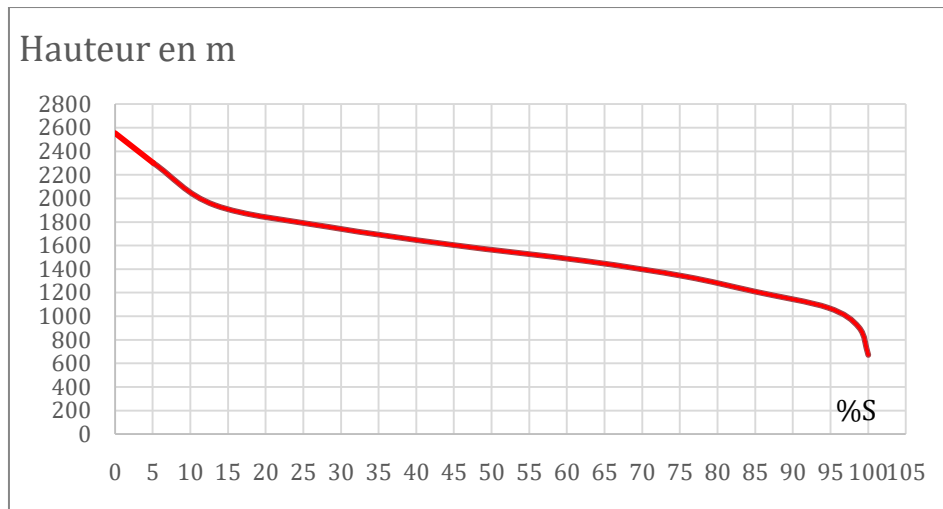


Figure 20: Courbe hypsométrique

Cette courbe nous permet d'établir l'altitude moyenne dans le BV dont la méthode de calcul est expliquée dans la partie suivante.

2. Détermination des paramètres physiques du BV :

Les principales caractéristiques physiques étudiées pour tout bassin versant hydrologique sont détaillées ci-après. Elles constituent des paramètres d'entrée des formules et des modèles de calcul hydrologiques.

2-1 SUPERFICIE :

La superficie du bassin versant est obtenue par le logiciel ArcGIS comme montré ci-haut.

2-2 PERIMETRE :

Le périmètre du bassin versant est obtenu par le logiciel ARCGIS.

2-3 LONGUEUR DU COURS D'EAU PRINCIPAL :

La longueur du cours d'eau principal renseigne sur le temps de transit de l'eau pour atteindre l'exutoire.

2-4 FORME :

a. INDICE DE GRAVELIUS

La forme du bassin versant est approchée par l'indice de compacité de Gravelius (Kc).

$$k_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec :

P : périmètre du bassin en Km;

S : surface en Km²;

Kc : adimensionnel, Il vaut généralement 1 pour un bassin quasi circulaire. Plus il est grand, plus le bassin présente une forme allongée.

b. INDICE DE HORTON

Il exprime le rapport de la largeur moyenne du bassin versant à la longueur du cours d'eau principal.

$$K_h = \frac{S}{L_c^2}$$

S : surface en Km² ;

L_c : Longueur du cours d'eau principal

Un bassin allongé présente un indice inférieur à 1.

c. RECTANGLE EQUIVALENT

On assimile par convention le bassin versant à un rectangle qui lui est équivalent en superficie. Sa longueur est définie à partir de son indice de compacité K_c et de sa superficie S, par ce qui suit :

$$L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right)$$

La largeur en est déduite.

2-5 HYPSONOMETRIE :

On étudie pour un bassin versant la répartition de sa surface en fonction des tranches d'altitudes fixées arbitrairement. On matérialise cette répartition par la courbe hypsométrique.

a. ALTITUDES CARACTERISTIQUES

L'une des finalités des courbes hypsométriques est le calcul des altitudes caractéristiques suivantes :

- L'altitude maximale H_{max}.
- L'altitude minimale H_{min}.
- L'altitude moyenne du bassin H_{moy} en m. Elle est calculée en pondérant la hauteur moyenne d'une tranche d'altitude par la surface partielle de cette tranche selon la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{h_{i-1} + h_i}{2} \right) \cdot S_i \right]$$

Avec :

- **S** : Surface totale du bassin versant en Km² ;
- **h_{i-1}** : limite inférieure d'une la tranche d'altitude en m;
- **H_i** : limite supérieur de cette tranche d'altitude en m;
- **S_i** : surface partielle de cette tranche en Km².
- L'altitude médiane, H_{50%} au-dessus de laquelle est située 50% de la superficie du bassin versant.
- L'altitude la plus fréquente H_{mode}. C'est l'altitude moyenne de la tranche modale.
- L'altitude H_{5%}, au-dessus de laquelle est située 5 % de la superficie du bassin.
- L'altitude H_{95%}, au-dessus de laquelle est située 95 % de la superficie du bassin versant.

b. PENTES CARACTERISTIQUES

On distingue pour les pentes celles du bassin versant et celles des oueds.

➤ **Pentes du Bassin Versant**

Les principales pentes qu'on calcule pour les bassins versants sont les suivantes :

○ **Indice de Pente De Roche**

L'indice de pente de ROCHE I_p est calculé à partir du rectangle équivalent. C'est un indice adimensionnel qui rend compte de l'influence de la pente du bassin sur son régime hydrologique. Il est défini par :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n h_i \sqrt{\frac{h_i - h_{i-1}}{L_i}}$$

Avec :

- **L** : Longueur du rectangle équivalent en m.
- **$h_i - h_{i-1}$** : Dénivelé de la tranche des altitudes h_i à h_{i-1} en m.
- **L_i** : Longueur sur le rectangle équivalent de la surface partielle correspondante à la tranche d'altitude h_i-h_{i-1} en m.

○ **Indice De Pente Globale**

L'indice de pente globale I_g qui est exprimé en m/m ou en pourcent, est défini par :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Avec :

- **$H_{5\%}$** : Altitude au-dessus de laquelle se situe 5 % de la superficie du bassin en m.
- **$H_{95\%}$** : Altitude au-dessus de laquelle se situe 95 % de la superficie du bassin versant en m.
- **L** : longueur du rectangle équivalent en m.

Ces indices dénotent d'un relief montagneux.

○ **Dénivelée Spécifique**

La dénivelée spécifique D_s en m, est définie par :

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

Avec :

- **I_g** : Indice de pente globale en m/m.
- **S** : superficie du bassin versant en m^2 .

La classification suivante de l'ORSTOM (Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer : office français), permet de se prononcer sur la nature du relief des bassins versants.

CLASSE	NATURE DU RELIEF	VALEUR DE D_s
R1	Relief très faible	Moins de 10 m
R2	Relief faible	10 à 25 m
R3	Relief assez faible	25 à 50 m
R4	Relief modéré	50 à 100 m
R5	Relief assez fort	100 à 250 m
R6	Relief fort	250 à 500 m

R7	Relief très fort	500 m et plus
----	------------------	---------------

Tableau 1: Nature du relief selon Ds

➤ **Pentes De L'oued :**

La pente moyenne du cours d'eau I_{moy} en m/m est définie par :

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

- Hmax : Altitude maximale du bassin versant en m.
- Hmin : Altitude minimale du bassin versant en m.
- L : Longueur du cours d'eau principal

A l'aide des données établies par ArcGIS, on déduit les autres caractéristiques physiques de notre bassin résumées dans le tableau ci-dessous :

Caractéristique physique	Arghen
Superficie Km ²	1029,57
Périmètre Km	276,6
Longueur oued Km	80,4
Indice de compacité de Gravelius	2
Longueur rectangle équivalent Km	130,4048161
Largeur rectangle équivalent Km	7,895183863
Altitude max m	2555
Altitude min m	532
Dénivelée m	1955
H 5% m	2300
H 95% m	1050
Indice de pente globale	0,009585536
Dénivelée spécifique m	307,5702471 Relief fort
Pente moyenne oued m/m	0,025161692
Altitude moyenne m	1503,600635

Tableau 2: Caractéristiques physiques du BV d'Oued Arghen

3. Calcul du temps de concentration :

Le temps de concentration est un paramètre utilisé en hydrologie pour mesurer la réponse d'un bassin versant à un événement pluvieux (réponse hydrologique). Il est défini comme le temps nécessaire à une goutte d'eau de pluie pour parcourir la distance depuis le point le plus éloigné de l'exutoire d'un bassin jusqu'à celui-ci. Le temps de concentration est fonction de nombreux paramètres tels que la topographie, la géologie, l'utilisation des terres dans le bassin versant etc.

Plusieurs formules permettent de le calculer. Parmi celles-ci les plus utilisées dans le contexte méditerranéen et régional sont résumées au tableau suivant :

Auteur	Enoncé de la formule Tc en minutes	Domaine de validité	Paramètres
Bransby Williams	$14,557 \cdot L \cdot S^{-0,1} \cdot I^{-0,2}$	Superficie entre 810 – 1500 ha, pente entre 1 et 10 et C>0.4 .	- S = superficie du bassin versant en Km ² . - I = pente moyenne du

Californienne	$8,712 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,77}$		cours d'eau principal en m/m. - L= longueur du cours d'eau principal en Km. - H _m = hauteur moyenne du bassin versant en m, - H _s = hauteur de l'exutoire du bassin (site étudié) en m.
Espagnole	$18 \cdot L^{0,77} \cdot I^{-0,1925}$		
Giandotti	$\frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_m - H_s}} \cdot 60$	Les grands bassins versants Superficie > 100 km ²	
Kirpich	$3,9814 \cdot L^{0,77} \cdot I^{-0,385}$	Bassins versants urbanisés avec : 0.004 < A < 0.453 km ² et 0.03 < I < 0.1	
Turraza-Passini	$6,48 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot S}}{\sqrt{I}}$	Superficie supérieure à 40 km ²	
US Corps Of Engineers	$16,682 \cdot (L \cdot I^{-0,25})^{0,77}$		
Ven Te Chow	$7,38 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,64}$	Domaine de validité pour les bassins versants agricoles de 0,01 à 18,5 km ² et la pente moyenne comprise entre 0,0051 et 0,09.	
Ventura	$7,632 \cdot S^{0,5} \cdot I^{-0,5}$	Entre 1 et 20 km ² ou supérieur à 10 km ² selon les ouvrages.	

Tableau 3: formules de calcul du temps de concentration

En tenant compte du domaine de validité de chaque formule, les formules à utiliser dans notre cas sont : Les formules de Giandotti, Turraza-Passini, et Ventura.

Calcul du temps de concentration	Tc Arghen en minutes	Tc en heures
Giandotti	598,9980442	9,983300737
Turazza-Passini	1780,36507	29,67275116
Ventura	1543,81901	25,73031684
Tc retenu	1662,09204	27,701534

Le Tc retenu est la moyenne de celui donnée par les deux formules : Turazza-Passini et Ventura.

4. Calcul du débit de pointe à l'exutoire :

Il existe plusieurs méthodes de calcul des débits de projet. Quatre grandes familles de méthodes existent : les méthodes statistiques, les méthodes hydrométéorologiques, les méthodes analogiques et les formules empiriques. Pour les formules empiriques, il y a celles qui utilisent uniquement la superficie du bassin (Formule pour le débit spécifique, Calcul proportionnel, Formule de Franco Rodier...), des formules faisant intervenir la précipitation (Formule de Iskowski, Fersi, Possenti, Turraza...), des formules faisant intervenir la période

de retour (Formule de Maillet Gauthier, Fuller, Mac Math, Hazan et Lazarevic, Crupedix , Méthode rationnelle ...) , des équations de régionalisations

D'une manière générale, les formules couramment utilisées en hydrologie pour l'estimation des débits de pointe et leurs conditions d'application sont les suivantes :

Formule	Condition d'application		Référence
	Surface Bassin Versant	Autre	Surtout en assainissement pluvial
Caquot	< 2 Km ²	Pente moyenne BV < 5 %	Bibliographie spécifique
Mac Math	< 1 Km ²	---	Guide de conception des routes rurales DRCR
Burkli Ziegler	< 10 Km ²	---	"
Rationnelle	< 10 Km ²	---	"
Mallet Gauthier	>10 Km ²	---	"
Fuller 2	>10 Km ²	---	"
Hazan Lazareviç	>10 Km ²	Pluie supérieure à 200 mm	"
Gradex des pluies	< 5000 Km ²	Temps de concentration de 1 h à 4 jours	P. Guillot Electricité de France
United States Soil Conservation Service	---	---	Bibliographie spécifique
Formule régionale Francou Rodier	Applicable uniquement aux grands bassins	---	Francou J et Rodier J, ORSTOM
Formule régionales de débits de pointes ou de débits spécifiques	---	---	Synthèse des données hydrologiques locales

Tableau 4: Méthodes de calcul du débit de pointe

En tenant compte des conditions d'application de chaque méthode et de la disponibilité des données nécessaires à l'application de chacune, on calcule avec les méthodes suivantes : Mallet Gauthier, Francou Rodier, Débits spécifiques et Gradex.

4-1 Calcul des débits par la méthode Mallet Gauthier :

L'énoncé de la formule de Mallet Gauthier est comme suit :

$$Q_T = 2.K.Log_{10}(1 + a.H_T) \cdot \frac{S}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{(1 + 4.Log_{10}T - Log_{10}S)}$$

- QT = Débit de pointe pour la période de retour T (m3/s).
- HT = Pluie moyenne annuelle en m. Ici la pluie moyenne est de **218,75 mm**.
- T : Période de retour en ans.
- L : Longueur du cours d'eau principal en km.
- S : Superficie du BV en km².
- a : Paramètre variant de 20 à 30. On prend 20 pour le Maroc.
- k : Paramètre régional variant de : 0,5 : grands bassins versants à faible pente à 6 : petits bassin versants à forte pente. Il est fixé à 2 pour le Maroc, par décret du ministre de l'équipement depuis les inondations de 1996.

Ci-dessous un tableau résumant le calcul du débit par cette méthode pour les différentes périodes de retour :

Période de retour (ans)	2	5	10	20	50	100	500	1000
Débits par Mallet Gauthier en m3/s	***	296,8786	472,9033	599,2814	733,662	820,8294	994,175	1060,134

Pour les formules régionales (Francou Rodier et Débit spécifique), on utilise comme station de référence, la station voisine de Taliouine vu la disponibilité des données dans cette station et sa superficie comparable à celle de notre bassin (1290 km²).

4-2 Calcul des débits par la méthode Francou-Rodier :

L'énoncé de la formule de Francou-Rodier est comme suit :

$$Q_T = \left(\frac{S}{10^8} \right)^{\left(1 - \frac{K_T}{10}\right)}$$

- QT = débit de pointe de période de retour T en m3/s.
- T = Période de retour en ans.
- S = superficie du bassin versant en km².
- KT = coefficient régional fonction du climat (adimensionnel).

Le coefficient K_T est déduit par raisonnement inverse des valeurs des débits de pointes des crues pour d'une ou de plusieurs stations hydrologiques voisines.

$$K_T = 10 \cdot \left[1 - \left(\frac{\ln \frac{Q_T}{10^6}}{\ln \frac{S}{10^8}} \right) \right]$$

On commence d'abord par le calcul du coefficient K_T pour les différentes périodes de retour, puis en déduit les débits de pointe. On résume les calculs dans le tableau ci-dessous :

STATION	OUED	Surface Km ²	Période de retour	2	5	10	20	50	100	500	1000
Taliouine	Zagmouzen	1290	Débit m3/s	94	278	441	619	874	1078	1587	1819
			KT	1,926	2,87	3,272	3,567	3,868	4,05	4,387	4,5058

Période de retour ans	2	5	10	20	50	100	500	1000
Débit par Francou-rodier	94	278	441	619	874	1078	1587	1819

4-3 Débits par la méthode du débit spécifique :

On transpose au bassin versant étudié, les débits spécifiques Q_s (m³/s/Km²) des crues de fréquences rares de la station hydrologique voisine : Taliouine :

STATION	OUED	Surface Km ²	Variable	PERIODE DE RETOUR ans						
				2	5	10	20	50	100	1000
Taliouine	Zagmouzen	1290	Débit m3/s	94	278	441	619	874	1078	1587

		Qsp m3/s/Km ²	0,073	0,2155	0,342	0,48	0,678	0,836	1,23
	Débit de pointe	Qp m3/s	75,02	221,88	352	494	697,6	860,4	1267

4-4 Débits par la méthode du Gradex des pluies :

La méthode du Gradex est basée sur le principe qu'à partir d'une certaine valeur de pluie, provoquant une saturation maximale du sol, toute la pluie tombée ruisselle. On considère l'occurrence de cette saturation à partir de la pluie produisant le débit de pointe de référence généralement le débit décennal.

On commence par étudier les pluies maximales journalières pour en déduire les pluies de fréquences rares, qu'on ramène au temps de concentration du bassin moyennant une courbe IDF ou une formule de réduction des pluies.

On déduit le débit moyen d'écoulement de la crue décennale durant le temps de concentration, à partir du débit de pointe de référence, moyennant un rapport les liant, qui est souvent constant pour un contexte hydrologique donné.

Le gradex des pluies pendant T_c est transformé en gradex des **débits moyens**, pour en déduire la droite de Gumbel des débits.

Pour les périodes de retour supérieures à 10 ans, la droite des débits étant parallèle à celle des pluies, on calcule leurs débits moyens qu'on transforme en débits de pointes par le rapport de violence des crues.

D'une manière générale, les étapes suivies sont comme suit :

1. Calcul du Gradex des P_{jmax} au poste considéré :
2. Calcul du Gradex des pluies maximales durant T_c .
3. Calcul du Gradex des débits moyens correspondant pendant T_c ;
4. Choix (ou Calcul) du débit décennal de référence : par formule empirique ou autre,
5. Etablissement de l'équation de la droite de Gumbel des débits moyens.
6. Calcul des débits moyens des crues rares : à période de retour plus que décennale.
7. Déduction des débits de pointes correspondants à ces débits moyens rares par le rapport C_p .

On commence donc par l'ajustement des P_{jmax} à loi de Gumbel par le logiciel Hyfranplus, On considère, et toujours vu la disponibilité et de la longueur de l'historique des données, la moyenne des P_{jmax} dans les deux stations voisines : Taroudant et Taliouine comme données d'entrée pour l'ajustement.

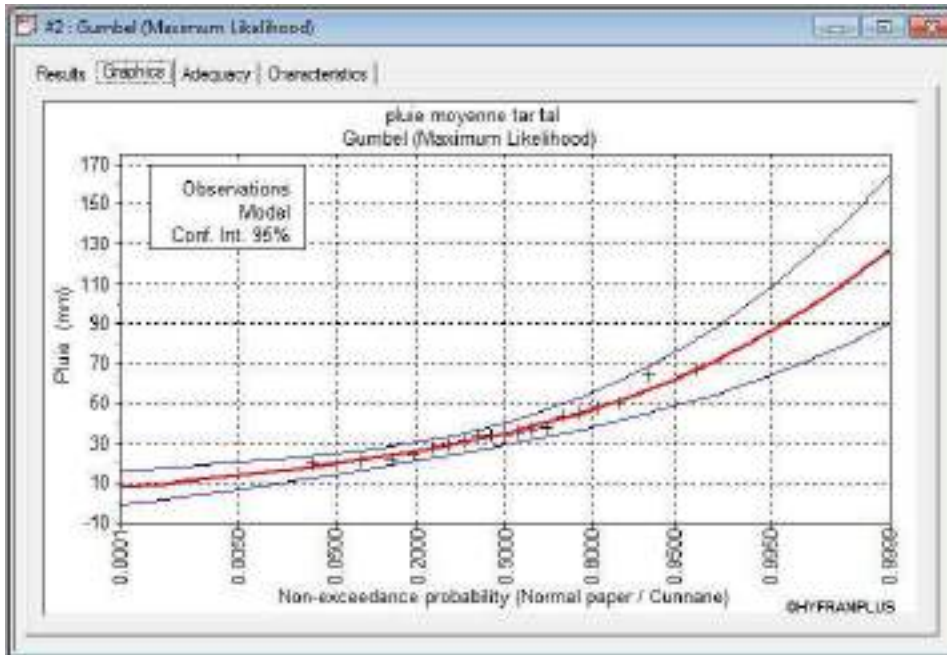


Figure 21: Ajustement de Pjmax par la loi de Gumbel

T	q	XT	Standard	Confidence interval
10000.0	0.9999	137	18.8	99.3 - 164
2000.0	0.9995	119	15.7	79.6 - 141
1000.0	0.9990	103	14.4	74.9 - 131
200.0	0.9950	86.3	11.3	64.2 - 108
100.0	0.9900	79.1	9.98	59.5 - 98.6
50.0	0.9800	71.8	8.67	54.8 - 88.8
20.0	0.9500	62.0	6.94	48.4 - 75.6
10.0	0.9000	54.5	5.64	43.5 - 65.6
5.0	0.8000	46.7	4.36	38.1 - 55.2
3.0	0.6667	40.5	3.45	33.7 - 47.2
2.0	0.5000	34.9	2.79	29.4 - 40.3
1.4286	0.3000	29.1	2.42	24.3 - 33.9

Estimated parameters:
 mu: 31.026
 alpha: 10.4412
 Confidence level: 95%

Figure 22: Paramètres de la loi de Gumbel

On déduit de la figure ci-dessus que le gradex des pluies est égal à : **10.44 mm/24h**.
 On en déduit le gradex des pluies pendant le temps de concentration du bassin par la formule suivante :

$$P(t_c) = P(24h) * \left(\frac{t_c}{24}\right)^{0.33}$$

Par la suite les gradex des débits moyens et son équation et finalement les débits des pointes.

Le débit décennal de référence est celui calculé par la méthode du débit spécifique de crue. En effet la série des débits observés à la station hydrologique de Taliouine est assez longue pour en déduire le débit de période de retour de 10 ans.

On résume le calcul dans les tableaux ci-dessous :

Calcul du débit par la méthode du Gradex

Gradex des Pjmax (mm/24h)	10,44
Gradex des pluies pendant tc	10,89904064
Gradex des débits	112,5221007
Q10 (m3/s)	351,9692791

Période de retour (ans)	20	50	100	500	1000
Probabilité au non dépassement F(x)	0,95	0,98	0,99	0,998	0,999
Variable réduite de gumbel y	2,97019525	3,902	4,6001	6,214	6,907
Débit (m3/s)	433,007882	537,8	616,41	798	876
Débit de pointe (m3/s)	433,007882	537,8	616,41	1197	1314

Pour passer du débit calculé par la méthode du gradex au débit de pointe, on multiplie par un coefficient de sécurité dont la valeur pratique est de 1.5, on l'utilise que pour les débits dont la période de retour dépasse 100 ans.

Discussion :

On privilégiera la méthode du Gradex des pluies qui présente l'avantage de se baser pour le calcul des débits sur les mesures pluviométriques réellement faites sur de longues périodes. D'autre part le débit décennal de référence est calculé à partir du débit spécifique de crue de la station hydrologique de Taliouine, sur une série de données longue.

5. Visite du terrain :

Le but de la visite du terrain effectuée, dont le trajet était la route de Taroudant vers Igherm qui est traversée par l'Oued sur plusieurs reprises, est l'exploration de la vallée d'Arghen pour le recensement des différents sites ayant un rapport avec notre sujet qui est la protection contre les inondations.

5-1 Exemples des sites recensés :

- Sites qu'on a appelé des points noirs : points qui ont subi des dégâts de crue et qui y sont toujours exposés : (32 points)



Figure 23: point noir N°17



Figure 24: point noir N°3



Figure 25: point noir N°16

- Sites des périmètres irrigués le long de l'Oued d'Arghen : (une dizaine)



Figure 26: périmètres irrigués du Douar IMERGHAD

- Sites ayant envisagés des solutions de protection contre les inondations :



Figure 27: Murs de soutènement dans la commune d'Azaghar N'irs

- Sites potentiels pour l'implantation des ouvrages de protection :



Figure 28: Stade du foot situé dans l'oued à l'entrée d'Ouzoun

Le reste des photos des points recensés sont jointes à ce rapport dans l'album des photos.

5-2 Levé topographique des sites recensés :

Le levé topographique a été réalisé à l'aide de l'application **Mobile Topographer**, ci-dessous un tableau récapitulatif de tous les points recensés :

Site	WGS84			Merchich			
	Latitude	Longitude	Altitude	E	N	Z	Height
Point noir 1	30.38649110	-8.36392474	851.35	215105.925	379990.067	796.450	808.26
Point noir 2	30.38731642	-8.35577548	875.29	215890.996	380061.464	820.380	832.46
Point noir 3	30.38672218	-8.35334647	886.47	216122.618	379989.666	831.540	843.54
Point noir 4	30.38537539	-8.34971577	893.97	216467.539	379831.554	839.040	850.97
Périmètres irrigués	30.38536311	-8.34781639	899.90	216649.941	379825.539	844.960	856.95
Point noir 5	30.38723796	-8.33494494	913.95	217891.530	380001.800	858.990	871.40
Point noir 6	30.38265563	-8.33692355	919.33	217688.590	379498.952	864.350	875.76
Point noir 7	30.38181663	-8.33372034	934.92	217993.912	379398.188	879.930	891.56
Point noir 8	30.38098017	-8.32697848	935.99	218639.153	379289.104	880.980	892.93
Point noir 9	30.35121760	-8.27563767	1078.78	223488.741	375867.943	1023.510	1035.30
Point noir 10	30.34070452	-8.27748815	1084.50	223281.949	374707.628	1029.190	1041.33
Murs de soutènement	30.32877361	-8.27774591	1126.21	223224.281	373386.430	1070.840	1083.03
Point noir 11	30.31797077	-8.26899790	1136.75	224035.325	372168.702	1081.320	1093.63
Point noir 12	30.31066202	-8.26848793	1155.61	224064.253	371357.760	1100.140	1112.71
Point noir 13	30.30937139	-8.27046432	1152.36	223870.724	371219.488	1096.890	1109.16
Point noir 14	30.28892848	-8.28001388	1192.97	222896.356	368977.495	1137.420	1149.88
Point noir 15	30.28399461	-8.27946113	1200.95	222935.888	368429.561	1145.370	1157.93
Point noir 16	30.28014832	-8.27772135	1193.37	223092.560	367999.278	1137.780	1150.05
Point noir 17	30.27867690	-8.27691911	1199.71	223165.642	367834.344	1144.100	1156.44
Point noir 18	30.26751467	-8.28034268	1229.46	222805.644	366605.912	1173.810	1186.50
Point noir 19	30.24969277	-8.27472010	1264.29	223297.250	364618.034	1208.550	1221.13
Point noir 20	30.24519153	-8.27407016	1266.11	223347.366	364117.805	1210.350	1223.08
Point noir 21	30.23592976	-8.27507478	1289.88	223225.221	363094.136	1234.070	1246.92
Point noir 22	30.23019996	-8.27442161	1309.61	223272.273	362457.796	1253.780	1266.54
Point noir 23	30.22780806	-8.27449265	1312.07	223258.850	362192.979	1256.220	1269.03
Point noir 24	30.22605804	-8.27586222	1324.78	223122.271	362002.378	1268.930	1281.74
Point noir 25	30.19039840	-8.29409329	1432.63	221269.470	358095.620	1376.650	1389.63
Point noir 26	30.42265201	-8.47256333	631.35070801				
Point noir 27	30.42285555	-8.48070115	628.98693848				
Point noir 28	30.42245874	-8.49728192	598.58245850				
Point noir 29	30.42281955	-8.49657381	600.82891846				
Point noir 30	30.41977273	-8.50217799	591.60095215				
Point noir 31	30.41552478	-8.51984852	573.87725830				
Point noir 32	30.43765142	-8.58087886	502.13943481				

Ci-dessous des cartes précisant les positions des points recensés par rapport aux Douars et communes.



Figure 29: carte indiquant la position du point 1 au point 8



Figure 30: carte indiquant la position du point 9 aux murs de soutènement



Figure 31:carte indiquant la position du point 11 au point 17



Figure 32: carte indiquant la position du point 18 au point 24



Figure 33: carte indiquant la position du point 22 au point 25



Figure 34: carte indiquant la position du point 26 au point 32

Partie 2 : Eléments concernant le suivi piézométrique des nappes.

I. Problématique :

La problématique qui concerne plus largement ce projet est la baisse de la ressource en eau souterraine observée par les locaux dans certains forages. Cette baisse des niveaux piézométriques est préoccupante pour les habitants et l'Agence de Bassin Hydraulique (ABH) du Souss Massa est consciente de l'importance de sécuriser vis-à-vis de l'accès à l'eau et de la durabilité de la ressource. D'où l'importance d'une étude dans la zone pour l'installation d'un réseau piézométrique dans la vallée de l'Arghen afin de connaître les tendances de la ressource et de mettre en place des mesures pour une meilleure gestion ainsi qu'un système d'alerte.

II. Contraintes et objectif de l'étude :

1. Contraintes :

- Les données météorologiques sont peu présentes dans la vallée de l'Arghen, les stations les plus proches sont Taliouine et Taroudant. Les données hydrologiques pour la vallée sont interpolées en conséquence par les hydrologues de l'ABH. Une étude est sur le point d'être lancée par l'ABH pour l'installation d'une nouvelle station météorologique automatique, sur un emplacement représentatif du climat de la Vallée de l'Arghen (commune d'Adar).
- L'absence de données concernant la caractérisation des nappes phréatiques de la Vallée de l'Arghen, et la méconnaissance de l'évolution de la ressource (Les forages d'AEP dans la vallée se font sans la réalisation de coupe de forage, absence des forages de reconnaissance)

2. Objectif de l'étude :

L'ABH est consciente de la nécessité d'identifier rapidement des sites potentiels (sources des oueds incluses) où installer de façon permanente des sondes piézométriques. L'objectif est ainsi d'identifier la tendance de la recharge des aquifères en fonction de la pluviométrie et des prélèvements à usages domestiques des douars rattachés aux réseaux. L'intérêt de la sonde multi-paramètre réside dans la capacité de l'appareil à communiquer des données relatives à la qualité de l'eau (pH, conductivité).

L'objet de l'étude consiste donc à repérer un ensemble de forages et de puits représentatifs des différents contextes hydrogéologiques du territoire.

III. Proposition des étudiants d'AgroParisTech concernant les forages à équiper :

1. Repérage des zones intéressantes pour l'implantation des forages :

Lors de leur travail de terrain, cinq zones intéressantes ont été identifiées pour l'implantation de sondes piézométriques :

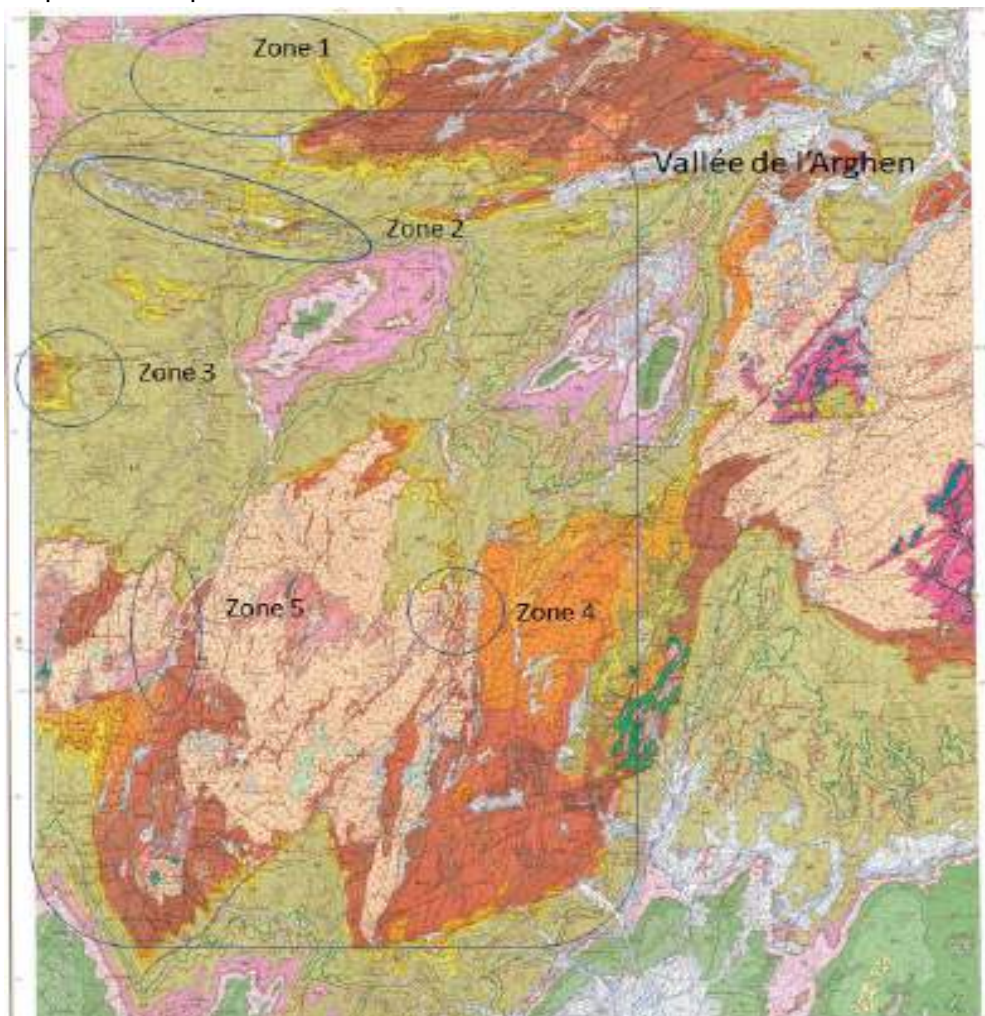


Figure 35: zones pour implantation des forages

Pour le positionnement des sondes piézométriques multi-paramètres, il serait intéressant de se placer le long de l'oued principal (Zone 2), dans les montagnes sur la rive droite (Zone 1), sur un plateau de la vallée rive gauche (Zone 3) et en amont des deux principaux oueds affluents (Zone 4 et 5).

La **zone 1** se situe sur un plateau de l'Adoudounien au milieu de deux bassins versants entre l'Arghen et celui du Souss. Pour cette zone, deux solutions semblent possibles, le forage principal et celui de secours du projet entre Toughmart et Arazane.

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
-------	---------	-----------------	----------	-----------

Forage Ait Hassen principal	Toughmart	Forage	30°26'45.67 N	8°20'50.73 O
Forage Ait Hassen secondaire	Toughmart	Forage	30°26'42,86'' N	8°20'55.56'' O

La **zone 2** se situe dans le lit principal de l'oued Arghen. Une mesure dans cette zone est intéressante pour mesurer le niveau d'une éventuelle nappe alluviale. Comme point intéressant, les points d'eau suivants ont été identifiés :

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
Tigherghert	Toughmart	Forage	30°18.198 N	8°30.794 O
Tilmazdigh	Toughmart	Forage	30°24.685 N	8°26.479 O
Imi N'Tazgui	Toughmart	Forage	30°24.298 N	8°25.898 O
Tidriouine	Toughmart	Forage	30°24.416 N	8°4.608 O
Maganoun	Toughmart	Forage	30°23.620 N	8°22.930 O
Tiferki	Toughmart	Forage	30°23.218 N	8°20.318 O

La **zone 3** est sur un plateau à l'ouest de la vallée, elle s'implante dans la commune de Nihit. La zone est constituée de conglomérat schisto-calcaire datant du précambrien III. Cette zone connaît une tension particulière au niveau de la ressource en eau. Trois douars sont identifiés Tilkist, Ighir N'Ouamane et Aït Ibourk.

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
Tilkist	Nihit	Forage Abandonné	30°18.591 N	8°29.965 O
		Forage	30°18.548 N	8°29.883 O
		Puits 62m	30°18.551 N	8°29.830 O
		Forage Village	30°18.340 N	8°29.273 O
		Forage près de la Madrassa	30°18.823 N	8°30.073 O
		Puits près de la Madrassa (25m)	30°18.875 N	8°30.353 O
Ighir N'Ouaman	Nihit	Puits principal	30°19.481 N	8°29.975 O
		Puits secondaire 1	30°19.351 N	8°29.950 O

		Puits secondaire 2	30°19.260 N	8°29.801 O
Aït Ibourk	Nihit	Puits principal	30°18.770 N	8°30.887 O
		Sondage	30°18.188 N	8°30.871 O
Igr	Nihit	Puits pour 6 douars	30°18.188 N	8°30.794 O

La **zone 4** se situe en amont d'un des deux oueds principaux de l'Arghen. La zone est dans un conglomérat du précambrien II avec des intrusions de roche volcanique venant du Jbel Aklim proche. Deux sites sont proposés:

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
Ouzzoun	Adar	Puits principal	30°11'49.52"N	8°17'21.51"O
Tifarki	Adar	Puits principal	30°12'34.46"N	8°16'54.26"O

La **zone 5** est en amont de l'autre oued principal de l'Arghen proche du douar Tifelsine. Cet endroit est extrêmement riche d'un point de vue géologique avec la présence d'un cône de déjection du quaternaire, des schistes verts et des quartzites lités du précambrien II ainsi que des grès rouges du précambrien III.

Douar	Commune	Caractéristique	Latitude	Longitude
Tifelsine	Adar	Puits principal	30°10'23.34"N	8°25'46.83"O
Tizirt	Imi N'Tayert	Puits principal	30°12'34.46"N	8°16'54.26"O

2. Calendrier stratégique pour l'équipement des forages

Recommandation pour la première phase de l'installation suivie piézométrique :

Pour commencer le suivi piézométrique, l'équipement d'au moins un forage par zone identifiée (Figure 25) semble nécessaire pour avoir une idée globale de l'état des nappes sur la Vallée de l'Arghen.

Concernant les phases d'équipement, nous proposons le calendrier suivant :

Equipement des Forages stratégiques prioritaires - phase 1

Forages en cours de construction

Zone 1	Arazane - Toughmart	Le projet commun de forage entre la commune de Arazane et de Toughmart se situant sur le douar de Aït Hassen doit posséder une sonde à cause de l'importance du projet. Le forage secondaire étant un forage qui n'est pas en exploitation continue, il semble idéal pour accueillir une sonde piézométrique.
Forages déjà existants		
Zone 2	Maganoun	La plupart des forages identifiés lors de la reconnaissance terrain sont des forages récents et en exploitation. Pour cette zone le forage de Maganoun est intéressant (Figure 8). Le douar est situé à la confluence de plusieurs oueds, une valeur ici peut donner une idée de la situation dans la vallée.
Zone 3	Nihit et Igr	Deux forages sont intéressants pour le suivi de la ressource. Le forage qui alimente la madrassa de la commune de Nihit et le forage situé sur le territoire du douar Igr qui alimente 6 douars (Figure 9)
Zone 4	Ouzzoun	Suivre le niveau d'eau dans le puits principal du douar Ouzzoun semble le plus pertinent, il est récent et situé directement dans l'oued il renseigne alors du niveau de la nappe liée à cet oued. (Figure 9)
Zone 5	Tifelsine	Le nouveau puits construit à Tifelsine est idéal pour le suivi dans cette région (Figure 10), les autres puits du douar étant anciens et/ou privés.
Équipement des forages stratégiques secondaires - phase 2		
Forages existants		
Phase 1 :	Équiper les autres forages existants (intérêt stratégique secondaire) au fur et à mesure.	Équipement d'ici 6 mois à 1 an
Automatisation des équipements des forages futurs - phase 3		
Phase 3	Inclure un suivi piézométrique pour tous les forages futurs	-Inclure une sonde dans la réflexion de tous les futurs projets

IV. Consultation sur les prix des systèmes de télémesure du niveau piézométrique :

Pour mener à bien cette consultation, on a constitué une base de données des entreprises travaillant dans le domaine des équipements de mesure.

Nom	Adresse	Numéro de Tel
Best Well	Villa 25, Al Omrane 1 51000 El Hajeb	06 61 59 44 57
Fomak	61 avenue Lalla Yacout , centre Riad - 1° étg. n° 56 20300 Casablanca	06 78 82 88 06
Forac	7 rue de Sebta , rés. Rami - 2° étg. bur. n° 8 20490 Casablanca	0663749670 ou 0661317824
Top Forage	Av. Allal El Fassi, rés. Kaoutar - 1° étg. n° 4 40000 Marrakech	0524308744 ou 0524308730
Y3n Industrie	47 avenue Lalla Yacout , 5° étg. 20100 Casablanca	0661990571
Tracto Technik Afrique	PB 2044, route 4022 - Tamesna 12000 Témara	0667784797 ou 0537401363 ou 0537401364
Forage Express	rte de Taroudant , km 2,5 Aït Melloul	+212 5 28 24 03 35
Tubafor-Maroc	douar oulad Slama , Ain Atiq Témara	+212 5 38 00 33 35
Atlas Copco Maroc	2 rue Ibn Adara El Marrakouchi 20350 Casablanca	+212 522 634 000
Hydraumac	47 zone indust Oulad Salah , secteur i3s - lot. n° 47 27182 Bouskoura	0522320865 ou 0522320042
SEHI	47 rue planquette quartier belvedere CASABLANCA.	0522244659
Vemair	96 rue Ezouhour -ex Saint Laurent 20500 Casablanca	+212 522 810 786 +212 522 813 633 +212 661 177 437 +212 661 146 014
Batiforage	91 zone industrielle Sidi Bouzekri 50070 Meknès	+212 535 536 211 +212 535 455 543
PARATRONIC	Lotissement Al Moustakbal Lot 45 Bis, Sidi Maârouf Ouled Haddou 22190 – CASABLANCA	05 22 97 36 19

BATIFORAGE et PARATRONIC sont les seules sociétés à confirmer d'avoir de tels produits, elles nous ont demandé de les contacter par mail pour avoir les prix des équipements, mais après plusieurs tentatives, on n'a pas reçu de réponse de la part de ces entreprises marocaines (qui ne répondent pas aux mails), ce qui a limité l'avancement de cette étude.