

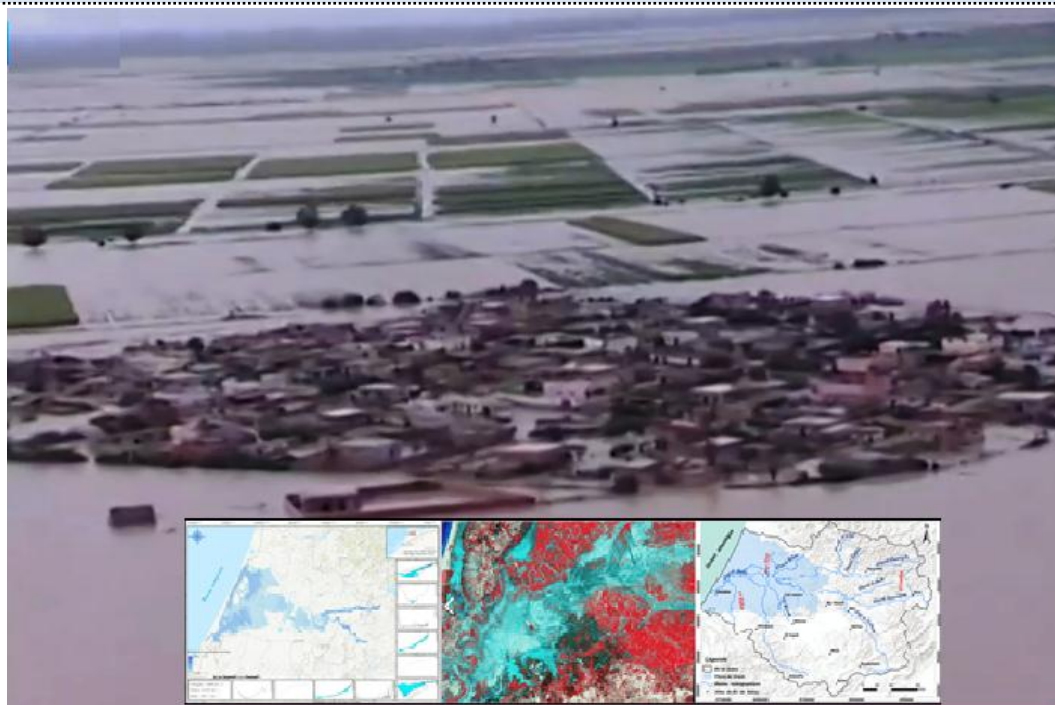
Centre des études doctorales : Langues-Patrimoines et Aménagement Spatial.
Formation doctorale : Ressources, Aménagement Spatial et Développement Local.

Axe : Géographie

Laboratoire : Analyses Géo-environnementales, d'Aménagement et Développement Durable.

*Thèse en vue d'obtention du grade de doctorat en lettres et sciences humaines,
 sous thème:*

**CARACTERISTIQUES HYDROCLIMATIQUES DU BASSIN DE
 SEBOU ET ETUDES DES CRUES INONDABLES:
 (Genèse Atmosphérique, Spatialisation et Impact sur la plaine du Gharb)**



Préparée par : Khalid CHKHAMI

Sous la direction du Dr : A JANATI IDRISSE

Date de soutenance : 26 novembre 2020

Membre du jury :

Dr Abdel Ghani HAOUARI..... Président

Dr Youssef Ben Brahim Examineur

Dr Abdel Aziz BAHOU..... Examineur

Dr Abdel Hamid JANATI IDRISSE..... Encadrant et Rapporteur

Année universitaire : 2019-2020

« ...Source de vie, l'eau est plus que jamais menacée de rareté car, au fil du temps, les besoins ne cessent de s'accroître. De plus, cette ressource est soumise aux bouleversements de l'écosystème qui provoquent des inondations dévastatrices, engendrent des sécheresses et aggravent la désertification.... »

Extrait du Discours de SA MAJESTE LE ROI MOHAMMED VI au 22^{ème} Sommet des Chefs d'Etat d'Afrique et de France (Le 20 février 2003 à Paris).

Remerciements:

Je ne peux échapper à diriger mes pensées à mes parents dont l'amour et les prières m'ont soutenu au cours de mes études. Merci à mes parents, mes sœurs, mes frères et leurs épouses. Qu'ils acceptent ma plus grande reconnaissance de leurs encouragements.

La plus grande difficulté avec les remerciements, c'est d'essayer de penser à tout le monde. Mais durant toute cette période de thèse, il y a tellement de personnes que j'ai croisé qui m'ont aidé, que je ne peux pas tous les citer. Et je m'excuse donc par avance pour les noms qui ne sont pas cités.

Tout d'abord merci à mon directeur de thèse, **Abdelhamid JANATI IDRISSE**, professeur de l'enseignement supérieur à l'université Sidi Mohammed Ben Abdallah, Faculté Des Lettres et Sciences Humaines Sais-Fès, pour la qualité de son encadrement tant sur le plan scientifique qu'humain. Ses encouragements, son enthousiasme et sa grande disponibilité au cours des années de préparation de cette thèse m'ont permis finaliser cette recherche. Je suis chanceux et heureux de vous avoir comme directeur de thèse. Vos compétences scientifiques en matière d'hydroclimatologie, votre sérieux, votre gentillesse et vos implications dans ce travail m'ont beaucoup apporté, et je tiens à vous exprimer ma grande reconnaissance. Merci cher professeur **Abdelhamid JANATI IDRISSE**, qui a mis sa confiance en mes capacités, en acceptant de diriger cette thèse. Et qui a su me motiver afin de mener à bien ce projet.

Il est également de mon devoir de remercier tous les professeurs du département de géographie de la faculté, et particulièrement à ceux du Laboratoire d'Analyses Géoenvironnementales, d'Aménagement et de Développement Durable (LAGEA-DD), où j'ai approfondi mes connaissances et méthodes de recherche en géographie physique, principalement dans le domaine des risques hydroclimatiques. J'insiste à les remercier chacun par son nom: **TRIBAK. A, JANATI IDRISSE, BEN BRAHIM. Y, HOUARI. A, LAOUANE.M, AKDIM.B, OBDA. K, DAID. H, CHAOUKI.M, TAOUS. A, AMYAY.M, EL BOUAICHI. A.** etc...).

Mes remerciements s'adressent profondément aux membres de jury, pour avoir accepté de lire et d'évaluer ce travail. Qu'ils soient salués pour la tâche qu'ils ont pris afin d'enrichir cette recherche avec leurs pertinentes observations.

INTRODUCTION GENERALE:

A. Problématique générale de l'étude

Au cours des deux dernières décennies les risques hydroclimatiques semblent s'intensifier d'une manière croissante en raison de l'augmentation de l'évaporation suite au réchauffement global de la planète. Les échanges des masses d'air très contrastés du point de vue thermique et hygrométrique sont responsables des pluies intenses avec des concentrations spatiales et temporelles importantes. Ainsi le réchauffement climatique actuel dû à la concentration des gaz à effet de serre influence d'une manière croissante les équilibres énergétiques de la terre et produit des conséquences qui peuvent être irréversibles sur les équilibres naturels et entre autres des retombés néfastes sur les sociétés humaines et leurs activités économiques. Depuis le début du XX^e siècle, la planète se serait réchauffée d'environ 1°C.

Le Maroc, pays méditerranéen subit notablement les effets du changement climatique actuel d'origine anthropique. Celui-ci est observé après l'essor de la révolution industrielle depuis la fin du 18^{ème} siècle. L'utilisation des énergies fossiles –charbon, pétrole, et gaz naturel-, ne cesse d'accompagner le développement économique de la planète. Ainsi l'emploi massif de ces combustibles fossiles a provoqué une concentration de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. Aujourd'hui, cette concentration serait de 35% supérieure aux niveaux atteints avant la révolution industrielle (GIEC, 2017).

En ce qui concerne les ressources en eau terrestre les changements des modes de circulation atmosphérique, l'augmentation de l'évaporation et la modification des régimes de pluies marqués par la fréquence accrue des phénomènes climatiques extrêmes (sécheresses et inondations), sont autant de facteurs qui ont intensifié les modes d'écoulement sur la planète. Ainsi le cycle de l'eau se trouve impulsé par des mécanismes plus vigoureux d'évaporation de précipitation et de ruissellement, ce qui a entraîné des variations des régimes hydrologiques à grande échelle. Les simulations effectuées grâce aux modèles globaux vont plutôt dans un sens d'accentuation de ces effets déjà observés (GIEC, 2001; IPCC, 2007; IPCC, 2008 et GIEC, 2017).

Aujourd'hui, les études hydroclimatiques des bassins versants sont parmi les sujets qui retiennent l'attention au Maroc, en raison notamment des dommages dramatiques et coûteux qui affectent la société, les biens et l'environnement. En effet, les extrêmes hydroclimatiques liés aux crues ont toujours engendré des inondations dans de nombreuses régions du Maroc. C'est le cas par exemple des inondations qui ont dévasté la ville de Séfrou le 25-09-1950, ou celles qui ont ravagé la vallée de Ziz le 05-11-1965, ou encore celles de la Moulouya survenue le 23-05-1963, Ourika en 1995, Taza et Mohammedia en 2002.... Ou les plus

récentes de Tanger, Nador, Er-Rachidia, Driwich, Missour et Fès ... Finalement celles survenues en novembre 2014 à Guelmim et Sidi Ifni.

En effet, la croissance démographique et le développement socio-économique dans les diverses régions du Maroc, durant les cinq dernières décennies ont certainement favorisé une occupation croissante de la population aux fonds des vallées, souvent menacées par les risques liés aux inondations. En plus des conditions météorologiques particulières, l'occupation d'espaces fluviaux à risque explique, en effet, grandement et dans plusieurs régions du Maroc, l'accroissement des dégâts associés aux inondations générées par les crues des cours d'eau.

Les caractéristiques hydroclimatiques du bassin versant de Sebou et la genèse des crues inondables dans la plaine du Gharb sont un sujet de grand intérêt dans les problématiques de développement et les politiques d'aménagement du territoire aux niveaux national et local. Car ils constituent de ce fait l'un des principaux risques qui menacent les agglomérations, ce qui impose la nécessité d'élaborer des stratégies à long terme basé sur une vision prévisionniste et plus complète d'aménagement, afin d'assurer une protection acceptable des populations des zones menacées à risques des inondations.

B. Problématique particulière de la région d'étude

Le bassin de Sebou est l'un des systèmes hydrologiques les plus importants au Maroc et occupe une superficie d'environ 40.503 km². Il détient actuellement une population totale de près de 11 163 338 d'habitants et 191 376 de ménages (2014), soit 32,99% du total de la population marocaine dont à peu près 49% en milieu urbain et 51% en milieu rural et dispose d'une économie agricole et industrielle qui contribue de façon importante à l'économie nationale (AHBS, 2010). C'est l'un des bassins les plus riches en ressources d'eau puisqu'il contribue à raison de 29% des ressources hydriques nationales.

Son potentiel agricole cultivé s'élève à 1.750.000 ha, dont 375.000 ha, sont susceptibles d'être irrigués et 269.600 ha sont actuellement irrigués. En outre le bassin de Sebou connaît une activité industrielle très développée; les unités importantes à l'échelle du bassin sont: les sucreries, les papeteries, les huileries, les tanneries, les cimenteries, l'industrie du textile. Par ailleurs, le bassin de Sebou couvre en totalité ou en partie :

- **4 régions économiques:** Fés-Meknès, Rabat-Salé-Kenitra, Tanger-Tétouan-Al-Hoceima et Beni Mellal-Khenifra;

- **17 provinces et préfectures** dont 9 en totalité (Meknès, El Hajjeb, Fès, My Yacoub, Séfrou, Taounate, Kenitra, Sidi Slimane, Sidi Kacem) et 8 partiellement (Ifrane, Boulemane, Taza, Chefchaouene, Ouazzane, Khemisset, Khenifra et Al Hoceima).

De par sa situation au Nord-Ouest du Maroc, le bassin de Sebou appartient au climat méditerranéen, mais vue son étendue spatiale (40503 km²) et l'importance de son relief et son ouverture vers l'Atlantique, il connaît une influence océanique notable pendant la saison

fraîche de l'année. Ainsi, on peut détecter plusieurs types de climat allant du semi-sec au sein des vallées à l'humide sur le sommet des montagnes. Mais ce climat est plus vulnérable aux effets du changement climatique, car c'est un climat transitoire entre la bande anticyclonique tropicale de l'hémisphère Nord et la zone d'influence de la circulation polaire. L'alternance de types temps secs et humides offre une importante variabilité pluviométrique au sein de l'année. Cette irrégularité associée à l'intensité pluviométrique et sa concentration spatiale et temporelle aura inéluctablement des conséquences notables sur les événements hydroclimatiques à risques.

Le bassin de Sebou se caractérise par des reliefs qui diffèrent du Nord au Sud par leur hypsométrie, leur étendue et leur composition lithologique qui est imperméable dans le Rif et perméable dans le Moyen Atlas. Ce contraste morpho-lithologique influence fortement la répartition des pluies et le régime d'écoulement de l'oued et de ses affluents. La montagne du Rif au Nord avec des versants abrupts et un important réseau hydrographique, fournit des apports en eau du type torrentiel (phénomène colmatage). En revanche la chaîne du Moyen Atlas, marquée par un certain étagement du relief où les altitudes sont moindres par rapport au Rif et la présence des formations karstiques, font que l'écoulement a un caractère régulier et permettent la constitution d'un important réservoir souterrain (phénomène chiffonnage), qui joue un rôle de rétention d'eau, et apporte une régularité importante aux débits.

Vu son potentiel en ressources en eau le bassin du Sebou est la zone la plus touchée par les inondations au Maroc. Son relief diversifié offre un imposant encadrement montagneux entourant des plateaux, collines et plaines, soumises à un taux élevé d'occupation des sols et une urbanisation croissante. La connaissance des régimes pluvio-hydrologiques de ce bassin, l'étude de la genèse des crues inondables et leurs fréquences ainsi que la cartographie des zones inondables dans la plaine du Gharb, sont autant d'éléments qui ont primé pour aborder la question des risques hydroclimatiques dans cette région.

Le choix de ce bassin comme une zone d'étude a été guidé par l'intérêt porté à une région, dont l'encadrement montagneux connaît des pluies abondantes pendant les années les plus humides, qui produisent des crues à l'origine d'inondations déferlantes, causant des dégâts matériels et humains très néfastes. De ce fait, la plaine du Gharb en aval du bassin constitue l'une des régions les plus menacées par les inondations. Les conséquences de celles-ci ont resté graver dans les mémoires des habitants, suite à l'ampleur des dégâts qu'ont subi les populations sinistrées ayant perdu leurs biens, économiques et matériels, sources de leurs existences, et parfois leurs vies, sans parler des dommages laissés sur l'infrastructure dans certains endroits.

Les eaux des crues inondables issues de l'amont vers l'aval de bassin, ont un impact évident sur les terrains agricoles, les infrastructures, et les installations humaines, ainsi que sur les centres urbains. Plusieurs endroits dans le bassin versant sont classés des zones menacées par les risques d'inondation, mais à des degrés divers, où un grand nombre des

vallées connaissaient une menace réelle pour les zones urbanisées. Dans ce qui suit, nous relatons l'historique des événements d'inondations catastrophiques qui sont survenues dans le bassin depuis les années soixante:

Tableau. n°1: Les sites menacés par les crues inondables dans le Bv du Sebou. (ABHS, 2007).

Sites	Année de l'évènement	Dommages encourus
Plaine du Gharb	1963,1973, 1989, 1996, 2002, 2008, 2009, et 2010	Inondation de plus de 140 000 ha (terrain agricole, infrastructures, enclavement des agglomérations ...
Plaine et centre du Guigou	1963, 1970, 2001, 2002, 2005 et 2008	Inondation d'environ 1500 ha de terres agricoles, la coupure de plusieurs routes et pistes rurales, inondation des locaux administratifs et des habitations du centre de Guigou, douars se trouvant dans la plaine.
Ville de Taza	1995et 2000	Inondation des maisons (quartier El Malha, douar Chlouh et dépôts de munitions) et terrains agricoles, coupures de certaines routes.
Centre de Timahdit	1995, 2002	Inondation des logements du centre qui longent l'Oued Guigou.
Ville d'El Hajjeb	1997, 2002	Inondation de la ville, pertes humaines,
Ville de Séfrou	1959, 1992, 1994, 2009	Inondation de la ville par les crues des chaâbas (chaâbats de la route de Boulemane, El makhzen et Dokkarat)
Ville de Fès	1950 et 1989	Inondation des quartiers de la ville qui se trouve le long des Oueds El Himmer, El Mehrez et Boufkrane,

Devant l'ampleur croissante des risques liés au climat, l'étude de la variabilité hydro-pluviométrique et des crues inondables dans le bassin de Sebou sont très intéressantes. En effet elle permet de faire la connaissance du potentiel hydrique du bassin et de faire un diagnostic sur les extrêmes hydrologiques comme les crues inondables qui sont générées par des averses intenses. Leurs impacts sont en relation avec les facteurs géophysiques responsables d'écoulements extrêmes sur l'oued Sebou et ses principaux affluents, et le type de genèse météorologiques relatif à chaque événement pluvieux. La plaine du Gharb en aval du bassin est de ce fait la plus menacée par les inondations comme il a été évoqué plus haut. Ce risque climatique aura certainement des effets notables sur les populations exposées, et leurs modes d'occupation des sols.

Partant de l'importance des ressources hydriques sur l'économe agricole de la région d'étude hydroclimatique du bassin et la connaissance de son bilan d'écoulement est une étape très importante dans la gestion des eaux et des risques d'inondation. En effet sa population est très sensible aux états climatiques extrêmes qui engendrent grâce à leurs alternances des inondations et des sécheresses. Cependant, dans cette recherche notre thématique d'étude de

la variabilité hydroclimatique, sera orientée dans le domaine des crues et des inondations et leurs impacts dans le bassin du Sebou.

C. Les objectifs de l'étude

L'objectif de la thèse consistera alors à étudier l'influence du contexte physique, anthropique et atmosphérique dans le fonctionnement pluviométrique et hydrologique du bassin et puis de connaître le régime et la genèse des crues et leurs impacts sur les inondations dans le bassin versant de Sebou. Deux objectifs sont clairement distincts; tout d'abord établir une étude statistique et cartographique des événements hydro-climatiques et d'autre part améliorer les connaissances sur les phénomènes hydrologiques à risque tel que les crues et les inondations dans le bassin de Sebou.

D'autres objectifs spécifiques sont fixés par cette étude, on cite comme suit:

- ✓ Identifier les facteurs de déclenchement (conditions climatiques) et les facteurs de prédisposition (conditions topographiques, géologiques et occupations des sols) qui contrôlent l'hydrologie du bassin et la dynamique des risques hydroclimatiques liés aux crues et aux inondations.

- ✓ Comprendre la variabilité et le fonctionnement du régime hydro-pluviométrique du bassin à travers l'étude de plusieurs échelles temporelles; annuelles, mensuelles et journalières. Ainsi d'établir un nouveau bilan hydrologique calculé à partir de la période 1981-82/2013-14.

- ✓ Établir une étude statistique des pluies et des débits qui peuvent contribuer à la propagation des crues et des inondations, en intégrant au fur et à mesure les variables du système (atmosphérique, physique, et anthropique).

- ✓ Contribuer à une cartographie des espaces vulnérables aux crues dans le Gharb en démontrant l'historique des inondations et leurs limites pendant les années 1963, 1996, 2009 et 2010, où la dynamique induite par la structure interne de cette plaine affaissée, apporte des éléments de réponse sur le fonctionnement hydrologique. L'organisation morphologique de la plaine sera poursuivie en intégrant peu à peu d'autres variables (les terrains cultivés, réseaux des voiries, zones bâties...) qui peuvent modifier l'étendue des inondations dans le Gharb.

- ✓ Déterminer l'impact des crues et des inondations sur la plaine du Gharb, en évaluant les dommages matériels et humains dans les zones à risques, et montrer la perception, le mode de gestion et le comportement de la population vis-à-vis de ces menaces.

- ✓ Discuter, poser des questions, donner des observations, et proposer des solutions qui peuvent être utiles dans les programmes d'aménagement orientés vers la gestion des risques hydro-climatiques au niveau du bassin versant de Sebou et précisément dans la plaine du Gharb.

✓ Contribuer aux études universitaires traitant le sujet des risques hydroclimatiques dans les bassins versants du Maroc, en intégrant une nouvelle piste telle que la recherche dans le domaine de la genèse climatique des phénomènes hydrologiques extrêmes liés aux crues, sans négliger l'adoption d'une approche participative qui prend en considération la perception et le mode de gestion de ces phénomènes par la population locale.

✓ Enrichir les études géotechniques capables d'identifier les zones à risques, qui peuvent être adoptées lors de la planification urbaine dans le bassin versant de Sebou, de façon à protéger les domaines inondables, en particulier, au sein des vallées et des plaines qui sont des espaces à risques en particulier pour les agglomérations urbaines et rurales.

D. Les axes de recherche traités dans cette thèse

Notre travail s'est basé sur les parties suivantes :

❖ **La 1^{ère} partie :** se divise en trois chapitres:

✓ Le 1^{er} chapitre comporte la méthode du travail et l'étude de comblement des données manquantes dans les séries pluviométriques (1980-81/2013-14) et hydrologiques (1980-81/2011-12) fournies par l'agence hydraulique de Sebou à travers des méthodes d'ajustement comme le double cumul et la corrélation entre les stations de mêmes caractéristiques.

✓ Le 2^{ème} chapitre tente de définir le comportement du bassin et de préciser comment les différents facteurs naturels interfèrent dans la genèse des crues et des inondations et leurs impacts. De ce fait nous avons présenté le contexte physiographique, hydrographique, géomorphologique et géologique du bassin de Sebou qui joue un rôle important dans le comportement hydrologique de l'oued Sebou et ses affluents et d'autre part dans la genèse des crues et des inondations.

✓ Le 3^{ème} chapitre est consacré à l'étude des facteurs biogéographiques, bioclimatiques et anthropiques conditionnant l'écoulement de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.

❖ **La 2^{ième} partie,** est réservée à l'étude de la variabilité hydroclimatique du bassin de Sebou.

Elle contient aussi trois chapitres répartis comme suit :

✓ Au 1^{er} chapitre nous avons traité le climat du bassin dans son contexte régional marqué par les effets de la circulation atmosphérique générale aux latitudes méditerranéennes du Maroc. À ce sujet nous avons essayé de faire une étude générale des différents types de temps de temps secs et pluvieux alternant sur le bassin.

✓ Dans le 2^{ème} chapitre nous avons mis l'accent sur la variabilité et du régime spatio-temporel des pluies. Cette étude est soutenue par une approche fréquentielle et atmosphérique afin d'expliquer le régime des pluies par le régime d'efficacité des flux perturbés.

✓ Au 3^{ème} chapitre on a examiné le comportement hydrologique de l'oued Sebou et de ses principaux affluents sur le plan annuel, mensuel et journalier avec comme finalité la connaissance du bilan hydrologique du bassin.

❖ **La 3^{ième} partie** se compose de trois chapitres:

✓ Le 1^{er} chapitre concerne l'étude des données pluviométriques et hydrologiques extrêmes dans laquelle on examine les pluies maximales journalières et les débits élevés (crues), en indiquant leurs variabilités, leurs répartitions dans le temps et dans l'espace, et leurs genèses météorologiques.

✓ Pour le 2^{ième} chapitre, nous avons identifié les zones vulnérables exposées aux risques hydroclimatiques (crues et inondations) à différentes zones urbaines et rurales dans le Gharb. À ce sujet, nous avons élaboré des cartes thématiques de la zone à risques à partir de la modélisation des inondations historiques concernant les années 1963, 1996, 2009 et 2010.

✓ Au 3^{ième} chapitre, nous avons mis l'accent sur les impacts des inondations dans la plaine du Gharb et les aménagements de protection réalisés par l'Etat. En outre nous avons essayé de monter le degré de perception du risque d'inondation par la population tout en indiquant leurs modes de gestion par les riverains des oueds et leurs comportements afin de minimiser les dommages produits par ce risque hydroclimatique.

PREMIERE PARTIE:
CONTEXTE METHODOLOGIQUE, FACTEURS
PHYSIQUES ET ANTHROPIQUES
DU BASSIN DE SEBOU

Introduction:

L'écoulement d'un cours d'eau dans un bassin versant résulte de la combinaison entre les facteurs climatiques, orographiques, lithologiques géologiques et anthropiques. La quantité d'eau écoulée peut être torrentielle lorsque la pente est forte, ce qui accélère la vitesse de ruissellement et engendre des crues violentes. Les principaux objectifs analysés dans cette partie; pour étudier la variabilité hydroclimatique associée aux crues provoquant des inondations sont les suivants :

- **Au Premier chapitre** nous avons élaboré notre méthodologie de travail. Ensuite, nous avons examiné les études précédentes qui ont traité le sujet des risques liés à la variabilité hydroclimatique dans le monde et au Maroc. Enfin, nous avons effectué des ajustements au niveau des données pluviométriques (1980-81/2013-14) et hydrologiques (1980-81/2011-12) fournis par l'agence hydraulique du bassin de Sebou.

- **Le Deuxième chapitre** fait une description générale du bassin de Sebou. Dans ce contexte nous nous sommes basés sur l'analyse des caractéristiques physiographiques du bassin versant, ainsi que sur celles de ses sous bassins versants. À partir de ces analyses, nous aurons la possibilité d'interpréter l'impact de ses caractéristiques sur la réponse hydrologique de chaque bassin versant, car les caractéristiques morphométriques, hypsométriques, hydrographiques, ainsi que géologiques sont tous des facteurs qui influencent directement sur la réponse hydrologique de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.

- **Au Troisième chapitre** il sera question de savoir le rôle des facteurs biogéographiques, bioclimatiques et anthropiques conditionnant l'écoulement et la réponse hydrologique du bassin.

PREMIER CHAPITRE:

Méthodologie, études précédentes et qualité des données pluvio-hydrométriques

Introduction:

Le présent chapitre a pour objectif de rappeler la méthodologie adoptée pour réaliser notre travail, de souligner les études précédentes en hydroclimatologie ou des sciences connexes. Par ailleurs, ce chapitre est également consacré au traitement des données pluviométriques et hydrométriques du bassin.

1.1. Méthodes et Approches

Les grands systèmes fluviaux du bassin versant de Sebou subissent des variabilités hydroclimatiques associées aux risques des crues et des inondations, comme celles de l'oued Sebou, Inaouene, Ouergha, et Beht... Leurs genèses en amont sont à l'origine des crues inondables déferentes en aval, ce qui a eu un impact néfaste sur le Gharb. Chose qui a imposé une étude profonde pour connaître le fonctionnement hydroclimatique du bassin. La démarche suivante peut être recomposée en 4 étapes :

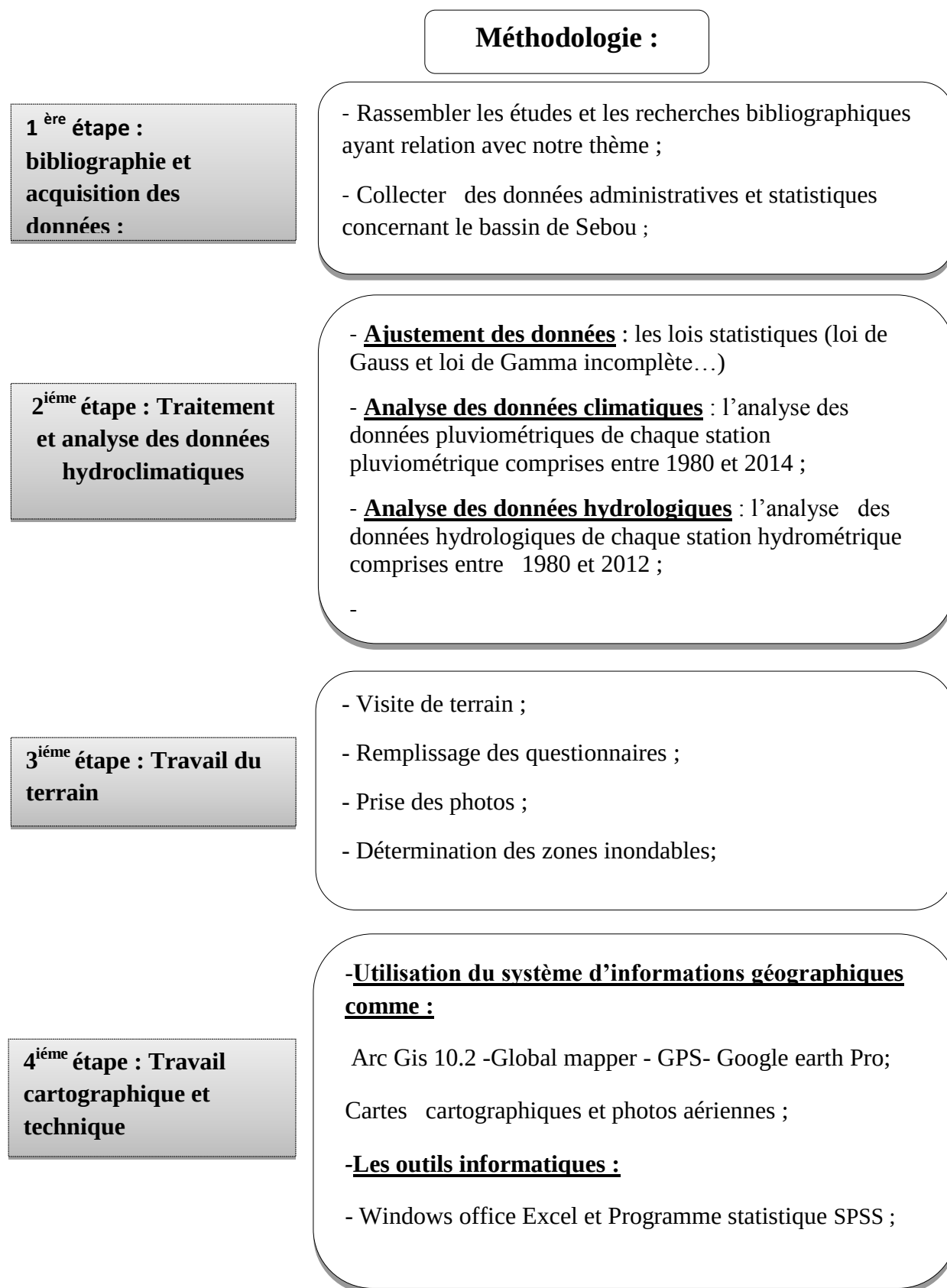


Figure. n°1 : Schéma général de la démarche adoptée pour traiter la variabilité hydroclimatique associée aux risques des crues et des inondations dans le Bv de Sebou.

a. La collecte des informations existantes: bibliographies et données

La première étape de notre recherche est consacrée à la recherche bibliographique poursuivie tout au long de la thèse, durant laquelle nous avons collecté deux types d'information: le premier concerne la consultation des travaux universitaires (thèses, mémoires et articles scientifiques). Le deuxième s'intéresse aux rapports administratifs des acteurs de la gestion des ressources en eau telle que l'Agence Hydraulique du bassin de Sebou (AHBS), le Haut-Commissariat des eaux et Forêts et de Lutte contre la Désertification et l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Gharb à Kenitra ...

b. Traitement et analyse des données hydroclimatiques

La première étape s'intéresse à augmenter le degré de fiabilité des données avant de faire un ajustement des données hydroclimatiques. De ce fait, on a eu recours aux méthodes d'homogénéisation des données et de comblement des lacunes des mesures de par la corrélation statistique entre les séries des stations étudiées.

La deuxième étape consiste à étudier la variabilité spatiotemporelle des séries pluviométriques et hydrologiques dans le bassin versant du Sebou au cours des 34 dernières années à partir de l'approche multicritère qui se base tout d'abord sur une étude climatologique, ensuite sur des travaux statistiques fréquentiels (lois de Gauss et lois de Gamma ...) et hydrologiques pour déterminer les valeurs extrêmes des averses et des débits.

c. Travail de terrain

Le travail de terrain est considéré comme la base de la recherche géographique qui nous permet d'exploiter les informations émanant des populations locales (questionnaires, photos et entretiens) et des administrations. Les enquêtes sont très utiles car ils nous renseignent sur les dégâts provoqués par les inondations, sur la perception du risque des inondations exceptionnelles par la population du Gharb et leurs impacts matériels et sociaux.

d. Travail cartographique et technique

Cette démarche débouche sur une cartographie des zones inondables et les éléments qui interviennent sur la plaine du Gharb pour aggraver les effets des crues inondables. (Extension des surfaces submergées). Cette étude est de nature multidisciplinaire et fait appel à plusieurs outils parmi eux: le Système d'Information Géographiques (Arc Gis 10.2, Global mapper, Google earth pro et HEC-Ras 5.0.3) et les outils informatiques (Windows Office, Excel et Programme statistique SPSS).

1.2. Aperçu des Travaux bibliographiques traitant le sujet des risques hydroclimatiques

La problématique des variabilités hydroclimatiques associées aux risques des crues et des inondations a été traitée par de nombreux chercheurs internationaux que marocains.

D'abord les risques hydroclimatiques sont présents dans tous les rapports établis par le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2007, 2008, 2017 et 2019), qui ont étudié l'impact du changement climatique à long terme et font référence à une modification des paramètres climatiques dans le temps et dans l'espace au niveau local, régional et mondial. Ainsi le réchauffement climatique issu de ce changement (élévation croissante de la température mondiale de 1°C) et à l'origine de l'élévation du niveau de la mer et de la désertification (SEGUIN, 2010, PUIGDEF-ABREGAS et MENDIZABAL, 1997), et l'accentuation des phénomènes hydrologiques extrêmes tels que les inondations et les sécheresses (SALAMA ET TAHIRI, 2010). La variabilité globale du climat à court terme est généralement associée à des phases de phénomènes océaniques et atmosphériques couplés dont El Niño (ENSO) et l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) (PAN et al. 2004; MILLER et al. 2006 et LABAT, 2010).

Par ailleurs, on peut noter grâce à certaines études que les côtes méditerranéennes reçoivent plus de précipitations en hiver lorsque des perturbations synoptiques extratropicales traversent la région. KNIPPERTZ et al. (2003) expliquent que les pluies d'hiver frontales qui affectent régulièrement les parties Nord et Ouest du Maroc et la côte algérienne, ne parviennent généralement pas du côté Sud des montagnes de l'Atlas. En Algérie, plusieurs chercheurs ont entamé le sujet des extrêmes hydroclimatiques notamment les risques de crue et de ruissellement superficiel en métropole méditerranéenne: cas de la partie Ouest du grand Alger (WAHIBA.M ,2012). Ainsi la problématique de risque d'inondation se pose d'une manière importante dans le milieu urbain: cas de l'agglomération de Sidi ben Abbes (BACHI. M, 2011), et la ville d'Annaba (Nord-Est d' Algérie) (BELOULOUI.I, 2008)

Au Maroc plusieurs études de thèse ont été effectuées sur le bassin de Sebou avec un groupe des chercheurs. On cite tout d'abord la thèse de JANATI IDRISSE. A, 1993 qui a étudié l'insuffisance pluviométrique et les aspects hydrologiques du Souss (Maroc) où il a mis l'accent sur les caractéristiques du climat du bassin de Souss marqué par la sécheresse et ses répercussions sur l'écoulement qui est fortement dépendant de la variabilité climatique. Le même auteur a mené une autre étude sur le bassin de Sebou qui concerne la quantification du déficit hydro-pluviométrique, ce qui a permis de détecter l'impact du changement climatique sur la baisse des ressources en eau dans le bassin. Le même auteur revient en 2017 pour publier un livre sur la même question avec comme titre l'insuffisance pluviométrique et les ressources en eau dans le bassin de Sebou.

Une autre contribution dans ce domaine émanant de N'GADI. M 1995 qui a étudié le régime d'écoulement du bassin de la Moulouya. Ce dernier se trouvant dans la partie orientale du Maroc, malgré sa grande superficie, son climat est influencé par un abri topographique effectué par les deux chaînes rifaines et Moyen-atlasiques et d'autre part à travers l'abri aérologique de l'anticyclone Nord-africain. Sans oublier l'impact des fortes averses journalières qui caractérise ses côtes méditerranéennes.

Durant les dernières années, plusieurs thèses ont traité le sujet des risques hydro-climatiques. Au Maroc oriental la thèse de (El HAFIDI. D, 2006), s'est intéressé aux extrêmes climatiques associés aux crues et aux inondations et leurs impacts sur les villes orientales: Cas de la ville d'Oujda, Berkane et Saidia. Au niveau spatial plus réduit des travaux de thèses ont touché le domaine des risques hydroclimatiques et leurs impacts sur l'agglomération de Fès. En premier lieu il faut mentionner la thèse de GARTET (HAOUARI) A. en 2007 sur les effets des risques géomorphologiques dans la ville de Fès, une recherche fondamentale pour tout chercheur travaillant dans le domaine du risque au niveau de ce pôle urbain. Un autre travail a été effectué par ERRAFIK. M en 2011 sur l'étude des risques naturels et leurs incidences sur les habitats menacés ruinés dans la ville de Fès. Une étude qui a mis l'accent sur l'impact des crues urbaines aux quartiers riverains des oueds traversants l'agglomération. En revanche le bassin de Sebou constitue des sous-bassins versants qui renferment des systèmes environnementaux plus sensibles aux extrêmes hydrologiques. Il s'agit à titre d'exemple l'étude de LASRI. M en 2015 sur l'hydrologie de l'oued Fès et la cartographie des inondations menaçant la ville de Fès.

Dans le Haut Sebou les fluctuations climatiques ont non seulement affecté le régime des précipitations, mais elles ont également engendré des conséquences sur les ressources hydrologiques et végétales. Dans ce sens, nous citons la thèse de MAZOZ. L, en 2015 qui s'est intéressé au régime pluvio-hydrologique du Haut Sebou et les incidences des situations climatiques à risques dans le bassin. Cette étude nous a permis de faire une connaissance approfondie sur le climat du Haut Sebou et les caractéristiques hydrologiques de ce système dominé par les formations karstiques. On évoque également la thèse réalisée par QADEM. A en 2015 également qui a abordé la thématique de gestion et de quantification des ressources en eau dans le Haut Sebou. Étude intéressante qui a essayé de faire un bilan des ressources en eau de ce bassin. En 2018, on cite la thèse de CHANYOUR.Y qui a travaillé sur l'hydrologie des milieux arides présahariens du Sud-Est marocain: cas du bassin versant de l'oued Daoura, où il évoque le caractère violent des crues de Haut-atlasiques et les conséquences de l'aridité dans le bassin.

En ce qui concerne les articles on cite dans ce sens, les études menées sur les risques hydrologiques dans la région de Taza: genèses, conséquences et problèmes d'aménagement (AKDIM. B, LAAOUANE. M, TAOUS. A et OBDA. K. 2003). On évoque également les études menées par TRIBAK.A, depuis 2006 sur les impacts des phénomènes pluviométriques exceptionnels sur les milieux montagnards marocains: cas du Prérif Oriental. Les risques hydrologiques sont étudiés aussi dans la région de Beni Mellal au niveau de l'oued Khandak affluent de l'oued Oum Er-Rabia (EL KHALKI.Y, 2005 et 1991). En 2011, JANATI IDRISSE. A montrer le rôle des situations pluviométriques extrêmes et leurs impacts au Maroc en étudiant le cas de l'année 2008-2009. Le même auteur publie un autre article en 2015 qui concerne l'impact du changement climatique sur la spatialisation pluviométrique les régimes d'efficacité des flux perturbés dans le bassin de Sebou.

D'après notre étude bibliographique sur la variabilité hydroclimatique et l'impact des changements climatiques sur les bassins versants, on peut noter les observations suivantes:

- ✓ Les études montrent clairement la tendance vers l'augmentation des températures, notamment depuis le début de 1980, ainsi que la baisse significative des précipitations et des débits des écoulements superficiels dans les bassins.
- ✓ Une augmentation probable des fréquences de sécheresse et de l'intensité des pluies causant des inondations.
- ✓ Un dérèglement du régime des précipitations avec probablement des précipitations d'hiver qui auraient tendance à être moins persistantes et un nombre moyen de jours pluvieux qui aurait tendance à diminuer.
- ✓ Une fréquence accrue des phénomènes orageux en particulier sur les régions montagneuses ceci est en relation avec probablement un changement de mode de la circulation atmosphérique
- ✓ La diminution des apports d'enneigement en corrélation avec la diminution des apports pluviométriques et les effets du réchauffement climatique en général.

Ainsi le thème de la variabilité hydroclimatique est déjà étudié dans différents bassins du monde: en France, en Algérie, au Tunisie, et au Maroc... Ces études ont adopté plusieurs approches pour élaborer ce sujet, notamment l'approche hydrologique, climatologique, statistique, et cartographique. Notre contribution dans ce contexte, est d'analyser la question de la variabilité hydroclimatique dans le bassin de Sebou et d'étudier l'impact des crues inondables sur la plaine du Gharb. Nous allons de ce fait nous baser sur les inondations historiques catastrophiques de 1963, 1996, 2009 et 2010.

L'étude s'appuie sur une approche multicritère qui rassemble les différentes expériences dans le domaine du climat et de l'hydrologie que nous appliquerons dans le bassin versant de Sebou. Cela nous a incitées à ouvrir un champ de recherche qui concerne les études hydrologiques liées à la variabilité climatique exceptionnelle et sa relation avec l'aménagement de territoire, la croissance démographique, et l'urbanisation accentuée aux fonds des vallées. Cela nous a motivé à adopter une approche climatologique, hydrologique, statistique, soutenue par une étude de terrain (questionnaire et entretien) et cartographique pour étudier les crues inondables dans le Sebou et évaluer l'impact de ces phénomènes dans le Gharb.

1.3. Examen de la qualité des données pluvio-hydrométriques

Pour décrire le climat du bassin versant de Sebou, nous allons examiner les données pluviométriques et hydrométriques existant dans le secteur étudié, d'abord en précisant les conditions de leur collecte et leur origine. Ensuite nous allons essayer de détecter leur homogénéité et leur degré de fiabilité.

1.3.1. Acquisition et répartition des données pluviométriques

Pour disposer des données fiables et homogènes, trois problèmes se posent :

- ✓ Le premier est celui de la disponibilité des mesures d'observation,
- ✓ Le deuxième est celui de la distribution des stations pour l'ensemble du Bv de Sebou,
- ✓ Le troisième concerne la longueur des séries d'informations disponibles et leur pérennité,

1.3.1.1. Insuffisance de l'archive climatique

Les relevés d'observations utilisées dans l'étude proviennent de l'Agence Hydraulique de Sebou. Malheureusement, ce service ne possède pas, toutes les données pour le secteur d'étude, les données de différents éléments du climat (température, évapotranspiration réelle, vent...) par manque des stations de mesures. De même ce service ne préfère pas divulguer certaines observations, même pluviométriques et hydrométriques, pour lesquelles, il est difficile d'assurer une qualité minimale de collecte et de critique. En ce qui concerne la longévité des données, nous constatons que la plupart des stations débutent après l'indépendance et que certaines séries d'observations sont récentes, mais représentent des lacunes importantes à l'échelle journalière et mensuelle.

1.3.1.2. Le réseau pluviométrique avec des durées d'observations variables

Pour mieux cerner les variations spatiales des pluies dans notre bassin, nous avons utilisé les données de **28** stations et postes pluviométriques. La répartition géographique de ces stations est indiquée sur la carte n°1 et leurs caractéristiques dans le tableau ci-dessous. Ces pluies ont été étudiées à l'échelle annuelle, saisonnière, mensuelle et journalière.

Le réseau pluviométrique du bassin étudié est moins dense et déséquilibré spatialement, Ce déséquilibre apparaît dans l'espace et dans le temps. Selon les données disponibles, nous avons pour chaque zone une à trois stations de référence. Ceci permettra comme même de mieux d'approcher des spécificités climatiques de chaque zone et d'essayer de faire des comparaisons entre les secteurs géographiques du bassin au niveau de leurs régimes pluviométriques.

Au niveau chronologique, le réseau de mesure étudié n'est pas homogène sur le plan temporel (Tab. n°2), Sept stations ont une longue série qui débute aux années soixante, cinq débutent aux années soixante-dix et sept aux années quatre-vingt. Ainsi la carte n°1 représente la répartition spatiale des stations étudiées qui semblent assez suffisantes pour élaborer le thème de l'hydrologie du bassin versant de Sebou, dans un contexte de la variabilité hydroclimatique associée aux crues, leurs genèses météorologiques et les effets des inondations dans la plaine du Gharb.

Tableau. n°2: Les stations pluviométriques étudiées dans le Bv du Sebou.

Les régions géographiques	Les stations pluviométriques	N° de station	Séries statistiques	Les coordonnées géographiques		
				Lat. X(m)	Long Y(m)	Alt Z(m)
LE MOYEN ATLAS	Ait khabache	748	1980-2010	557,0	314,80	1478
	Azzaba	1496	1980-2014	559,95	359,57	478
	Séfrou	6562	1980-81/2011-12	551	359	930
	Ain Chegag	***	1980-81/2011-12	533,3	366 ,1	690
	Dar El Hamra	***	2000-01/2009-10	591,5	352,25	830
	Ifrane	***	1955-56/2012-13	323	224,7	1640
LE RIF ET PRERIF	Ain Aicha	236	1982-83/2012-13	565,2	428,8	230
	Tainest	***	1973-74/2006-07	617,1	439,5	1716
	Bouhouda	***	1998-99/2011-12	575 ,90	444,50	400
	Bab Ouender	1568	1956-57/2011-12	579,50	440,10	312
	Galaz	3924	1982-83 /2000-01	555,32	439,85	214
	Jbel Ouedka	4626	1978-79/2014-15	553	459	1115
	Boured	4200	1966-67/1983-84	619,5	458,3	1350
	Tabouda	7283	1980-81/2010-11	524,25	461,6	180
	Hajria	***	1997-97/2014-15	533,21	442,19	***
COULOIR DE TAZA	Bab Marzouka	1564	1970-71/2013-14	615,85	400,85	368
	Taza	***	1931-32/2012-13	623,9	403,8	458
	El Kouchet	***	1975-76/2001-02	583,75	394 ,65	230
	Bab Echehoub	****	1970-71/2013-14	623,03	407,06	402
MOYEN SEBOU, Beht, SAIS ET GHARB	Fès sais	3817	1915/2011	535,4	384,8	415
	Al Hajra	5844	1970-71/1997-98	508,86	382,76	215
	Kenitra	***	1974-75/1999-00	390	411,3	5
	Pont de Sebou	6272	1958-59/1999-00	523,25	412,2	85
	Dar Al Arsa	2764	1974-75/2012-13	543,3	399,7	138
	Azib Soltane	1424	1962-63/1999-00	492	413,9	45
	Had Kourt	4104	1936-37/2000-01	470,35	439,9	30
	M Belksiri	5255	1936-37/2013-14	448,25	441	16
	O Soltane	***	1981-82/2014-15	456,25	338,06	305

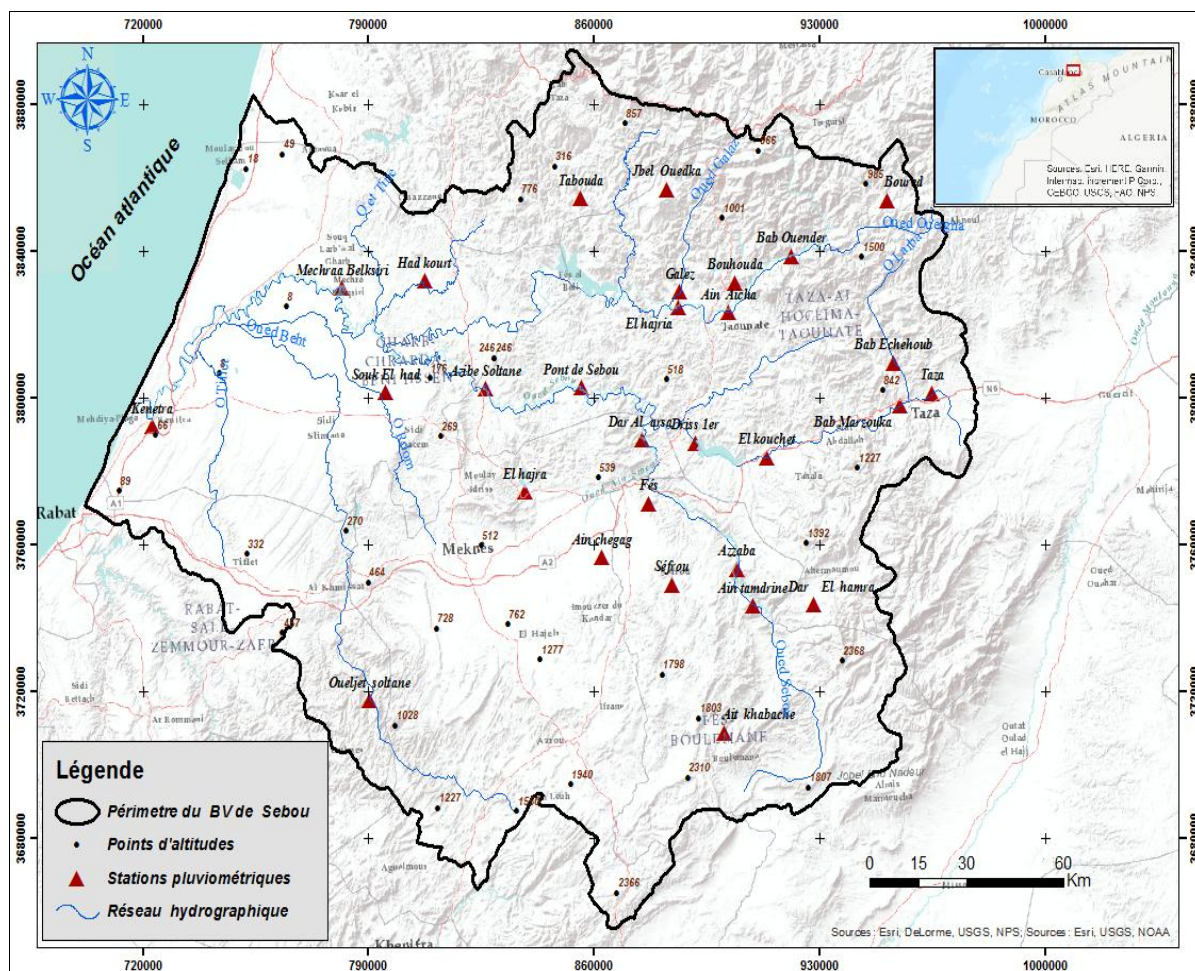
1.3.1.3. Un réseau des stations déséquilibré spatialement

Nous avons adopté à cet égard pour un nombre important des stations qui sont gérées par l'Agence Hydraulique de Sebou. Cependant, le nombre que nous avons pu obtenir après un grand effort, est d'environ **28** stations (Tab.n°2), couvrant un espace très important ce qui nous a aidé à établir cette recherche. La carte n°1 montre également selon les données disponibles, une mauvaise répartition des stations dans l'espace.



Photo. n°1: Station météorologique de Taza (X : 623,9- Y : 403,8) (G) et Bab Marzouka(X : 615,8- Y: 400,8)(D) au Bv de l'oued Inaouene.

À partir du tableau n°2, nous pouvons constituer une idée sur les données pluviométriques disponibles dans le domaine du Moyen Atlas. Ceci, nous permettra d'obtenir un certain nombre de différentes mesures des pluies journalières, mensuelles, parmi elles: la station de Séfrou, Azzaba, et Dar El Hamra. Pour le domaine rifain et pré-rifain, nous avons obtenu aussi des mesures journalières et mensuelles de certaines stations différentes, parmi elles: la station de Bab Ouender, Jbel Ouedka, Ain Aicha, Tabouda.... ainsi, le couloir de Taza, on a des stations comme Bab Marzouka, Taza (pho. n°1) et El Kouchet Et dernièrement les domaines de Sais, Moyen Sebou, Beht et le Gharb, sont représentés par la station de Fès Sais, Dar Al Arsa, et Mechrâa Belksiri.



Carte. n°1: Localisation géographique des stations pluviométriques dans le Bv du Sebou.

1.3.1.4. Données pluviométriques variables dans le temps

À partir de la figure n°2, nous pouvons examiner la longévité des séries de mesures. La périodicité inégale des mesures constitue une entrave à une étude spatiale de la pluviométrie. Cela nécessite un comblement des données annuelles pour homogénéiser un plus grand nombre de périodes d'observations.

La variabilité de la longueur des séries tient d'abord à la date du début de fonctionnement des stations appartenant pour l'essentiel à l'Agence Hydraulique de Sebou.

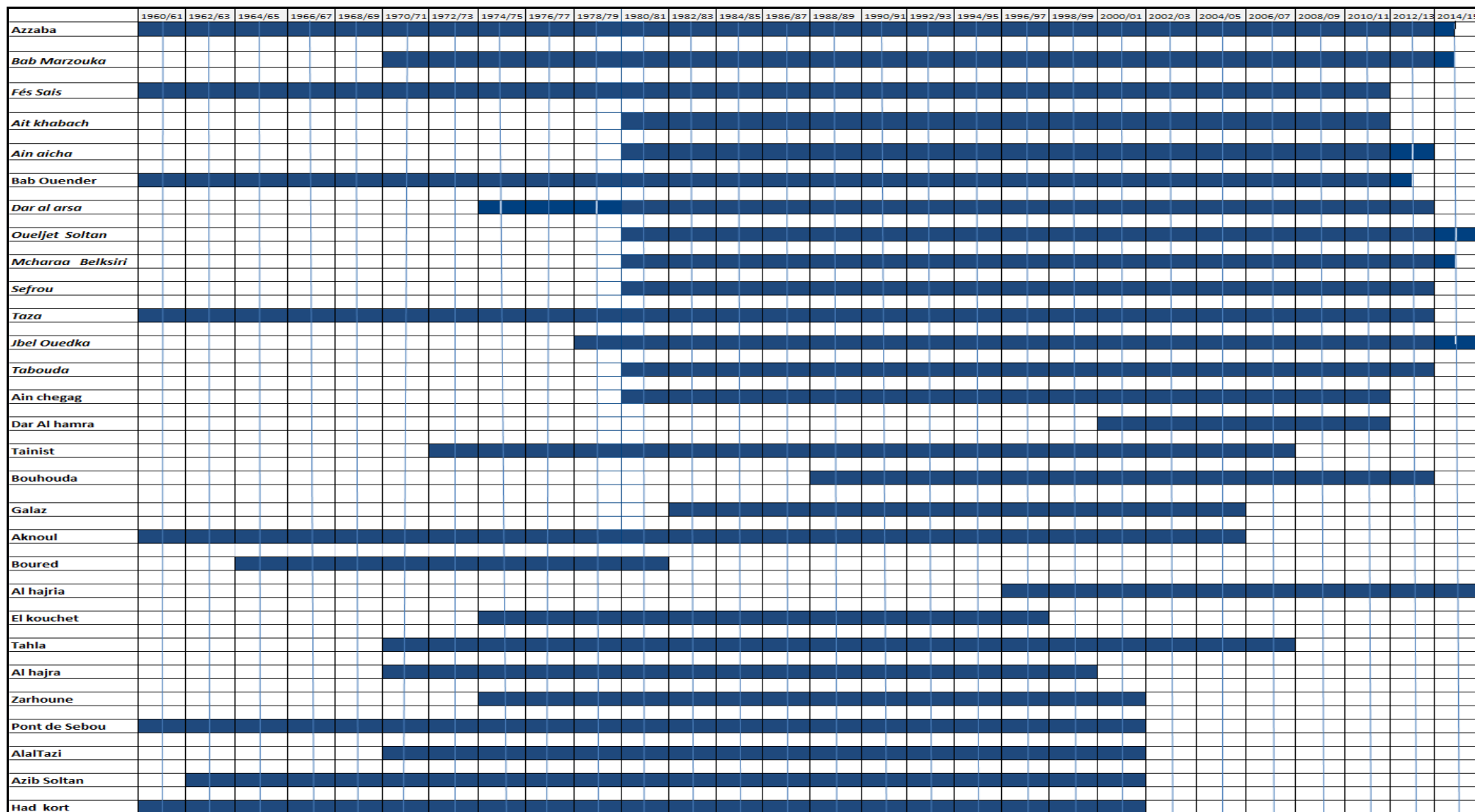


Figure. n°2: Chronogramme des données pluviométriques observées (AHBS, 2015).

1.3.1.5. Critique des données et méthodes d'estimation des lacunes utilisée

Lorsque nous envisageons une étude de la répartition spatiale des pluies sur un espace donné, il est nécessaire de se baser sur des séries de longueur fiable et homogène. Comme les valeurs annuelles et mensuelles présentent des lacunes d'observation, nous avons avant toute chose, procédé à leur comblement grâce à des stations de référence, afin de corriger les erreurs qui peuvent survenir lors de leur étude statistique. Les postes à comparer doivent appartenir à une même région climatique pour qu'il existe entre eux une liaison satisfaisante. Pour cela, nous avons cherché dans les environs, une station fiable, ayant un comportement semblable pour établir une relation qui nous permette, de connaître la pluie à la station de référence, d'en déduire la pluie à la station à combler.

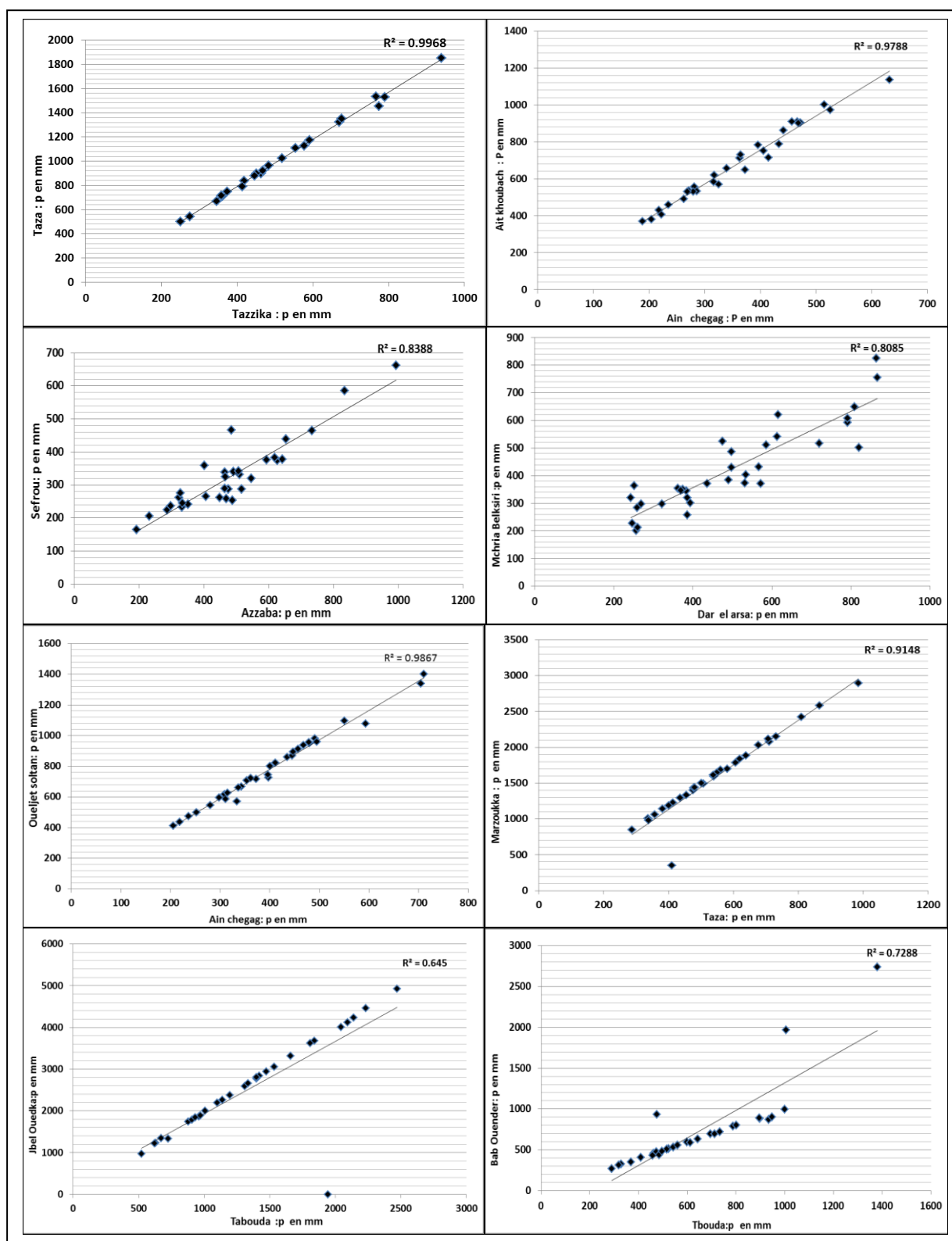
Pour vérifier l'homogénéité des données pluviométriques, nous avons utilisé la méthode des doubles cumuls et la corrélation poste à poste pour corriger les lacunes d'observation des données pluviométriques utilisées.

1.3.1.5.1. Examens de l'homogénéité des données pluviométriques

D'après CHERRAD. B (1997), cette méthode permet une vérification de la fiabilité et de l'homogénéité des totaux annuels des pluies. Elle est souvent utilisée pour vérifier le déplacement d'un poste ou les changements dans les conditions d'enregistrement (états aux alentours, observateur...).

L'application systématique de la méthode aux différentes stations pluviométriques n'a aucune hétérogénéité (pas de changement de pente des droites du double cumul). À l'échelle du bassin versant de Sebou, plusieurs stations de référence peuvent être utilisées, chacune d'entre elles sert de base de comparaison aux stations voisines. À titre d'exemple, nous avons sélectionné la figure n°3.

En ce qui concerne les stations de référence correspondant aux parties amont (Azzaba, Ait khabache, Séfrou, Bab Ouender et Jbel Ouedka) et la zone transitoire entre le Moyen Atlas et le Rif (Bab Marzouka et Taza), dans la plaine du Gharb (Mechrâa Belksiri ...) et dans la région de Beht (Oueljet Soltane) ce sont les stations du bassin versant de Sebou, qui ont fonctionné durant une longue période et sans lacune. L'analyse graphique a montré quelques ruptures dans les alignements des points qui correspondent soit à des années exceptionnelles (2008-09 et 2012-13) soit à des années sèches au début de la série statistique (1980-81) et à la médiane de la série (1994-95).



Figures. n°3: Examen de l'homogénéité des séries pluviométriques par la méthode de double cumul pour la période (1980-81/2013-14).

1.3.1.5.2. Estimation des lacunes d'observation

Selon DUBREUIL. B (1974), cette méthode permet de regrouper les stations, dans la mesure où le coefficient de corrélation (**r**) reflète la cohérence des données d'une station par rapport à une autre. Nous avons testé cette méthode pour toutes les stations pluviométriques

importantes sur leurs chroniques communes de **34** années (1980-81/2013-14). Nous démontrons que celles-ci passe par le centre de gravité du nuage de coordonnées **X** et **Y**, et son équation est la forme : **Y= ax+ b**, alors que **A** et **B**¹ sont calculés à l'aide de la formule suivante:

$$B = \frac{N \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{N \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \text{et} \quad A = \frac{\sum y - B \cdot \sum x}{n}$$

La validité de l'opération est donnée par le coefficient de corrélation (**r**), obtenu en appliquant la formule suivante²:

$$r = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{|n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2| |n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2|}}$$

Dans le tableau. n°3, nous indiquons à l'échelle annuelle les stations à combler, les stations de référence et les valeurs des coefficients de corrélation pour essayer de donner une image de la qualité de l'estimation. L'établissement des corrélations entre les stations nous a permis de connaître le degré de liaison existant entre elles et procéder à la bonne estimation possible.

Dans les zones de Haut Sebou, le Rif et Prérif, couloir de Taza et Bas Sebou, nous avons constaté une excellente corrélation entre les séries pluviométriques (**r > 90**). C'est le cas d'Ait Khabache, Azzaba, Tabouda, Bab Marzouka, Taza et Oueljet Soltane. Cependant, les séries de la corrélation (**85 > r > 70**), sont relativement bonnes comme à Ain Aicha, Fès, Bab Ouender et Mechrâa Belksiri. L'estimation des données lacunaires due à la longueur variable des séries statistiques nous a permis de combler des années lacunaires qui sont non observables dans les stations les plus proches. Pour leurs majorités, les valeurs estimées peuvent être considérées comme fiables.

Tableau. n°3: Comblement des données pluviométriques.

Stations lacunaires	Station de référence	Nombre d'années	Coefficient de corrélation
Ait khabache	Ain Chegag	30	0,98
Azzaba	Séfrou	34	0,92
Bab Ouender	Tabouda	33	0,85
Jbel Ouedka	Tabouda	34	0,8
Tabouda	Taza	30	0,99
Ain Aicha	Bab Ouender	34	0,88
Bab marzouka	Taza	34	0,95
Taza	Tazekka	30	0,99
Fès	Dar Al Arsa	30	0,88
Oueljet Soltane	Ain Chegag	34	0,99
Mechrâa Belksiri	Dar Al Arsa	34	0,89

1 - **A** : Terme constant ;

B : Coefficient de régression ;

2 : Si **r > 90%** la corrélation est excellente ;

Si **r > 85 %** la corrélation est bonne ;

Si **85 > r > 70 %** la corrélation est relativement médiocre ;

1.3.2. Acquisition et répartition des données hydrométriques

1.3.2.1. Les données hydrométriques de l'oued Sebou et de ses principaux affluents

Nous commençons par la présentation du réseau hydrométrique qui comprend neuf stations dont la période s'étend de 1980-81 à 2011-12. Les données hydrométriques utilisées dans l'étude hydrologique proviennent des mesures réalisées par l'Agence Hydraulique de Sebou. Elles sont enregistrées le long de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (carte. n°2); chaque station contrôle une aire de drainage.

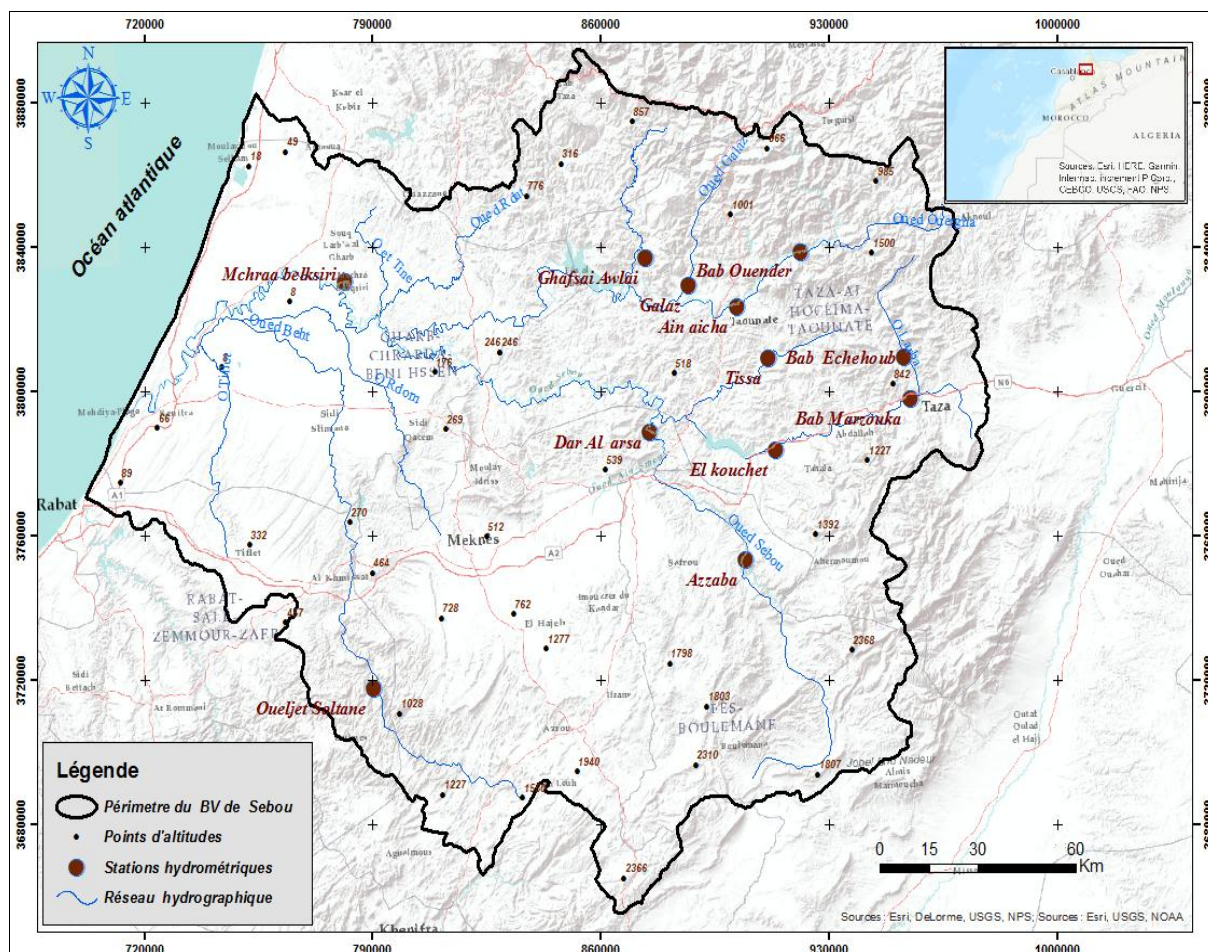
Dans le Haut Ouergha au Rif se situe la station de Bab Ouender à une altitude de 312 m où elle contrôle un bassin de 1756 km². Plus en aval à Ain Aicha sur 230 m d'altitude, la superficie de drainage mesurée atteint 2460 km². Pour le Moyen Atlas, la station d'Azzaba mesure le début du Haut Sebou sur une superficie de 4460 km² (pho. n°2).



Photos. n°2 : Station hydrométrique d'Azzaba(X: 559,95 -Y: 359,57)(G) et Ait Khabache (X: 557 - Y: 314,8) (D) dans le Haut Sebou.

Dans le domaine intermédiaire entre le massif du Moyen Atlas et le Rif se situent l'oued Inaouene, où la station de Bab Marzouka sur 368 m d'altitude draine 1500 km². Plus en aval, la station d'El Kouchet sur 230 m à l'entrée du barrage Idriss I, mesure un espace global de 2570 km².

Au Moyen de Sebou, la station de Dar Al Arsa à une altitude de 183 m contrôle un vaste domaine englobant le bassin d'Inaouene et le Haut Sebou. La station de Mechrâa Belksiri sur 16 m située au bas Sebou mesure le drainage de l'oued Sebou et de ses affluents sur une aire cette fois de 25486 km². Finalement, la station de l'Oueljet Soltane située sur l'oued Beht, à une altitude de 305 m, contrôle une grande partie du bassin de l'oued Beht.



Carte. n°2: Localisation géographique des stations hydrométriques dans le Bv du Sebou.

Dans le tableau n°4 nous indiquons les stations hydrométriques étudiées dans cette recherche sur les variabilités hydroclimatiques associées aux crues et aux inondations dans le bassin du Sebou:

Tableau. n°4: Les stations hydrométriques étudiées dans le Bv du Sebou.

Les Bv de Sebou	Stations	Période statistique	Surface en km ²	Altitude (m)
Haut Sebou	Azzaba	1980-81/2011-12	4460	478
Inaouene	Bab Marzouka	1980-81/2011-12	1500	368
	El Kouchet	1980-81/2002-03	2570	230
	Bab Echehoub	1987-88/2001-12	1570	402
Ouergha	Ain Aicha	1980-81/2010-11	2460	230
	Bab Ouender	1980-81/2010-11	1756	312
Moyen Sebou	Dar Al Arsa	1980-81/2011-12	508,8	138
Beht	O Soltane	1980-81/2011-12	2311,3	305
Bas Sebou	M Belksiri	1980-81/2011-12	1446,2	16

À partir de la figure n°4, nous pouvons détecter la longévité différente des séries de mesures au niveau des stations hydrométriques étudiées sur l'oued Sebou et ses principaux

affluents. La périodicité inégale des mesures constitue une entrave à une étude spatio-temporelle des débits. La variabilité de la longueur des séries tient d'abord à la date du début de fonctionnement des stations dans le bassin.

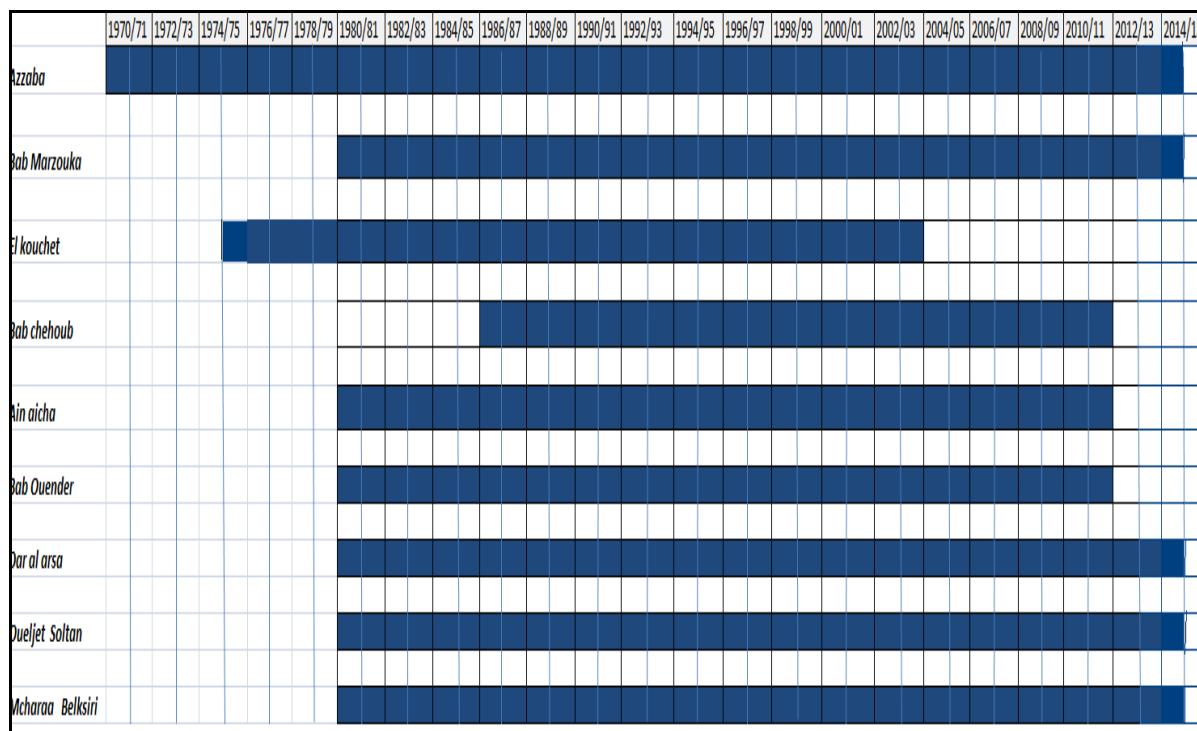


Figure. n°4: Chronogramme des données hydrométriques (AHBS, 2015).

Conclusion du 1^{er} chapitre:

À travers ce chapitre introductif, nous avons mis l'accent sur les travaux bibliographiques étrangers et nationaux qui ont traité la variabilité hydroclimatique des bassins versants et les risques hydrologiques extrêmes (crues inondables). Du point de vue méthodologique, l'étude hydroclimatique du bassin versant de Sebou nécessite une démarche multicritère à savoir l'approche statistique, climatique, hydrologique, cartographique, soutenue par une étude de terrain basée sur les questionnaires et les entretiens.

Finalement, nous avons achevé ce chapitre par l'ajustement des données climatiques par des méthodes (double cumul et régression linéaire ...). Les résultats de comblement des lacunes d'observations, donnent des corrélations très satisfaisantes entre les stations à combler et les stations de références ayant les mêmes conditions climatiques et topographiques. Elles peuvent dépasser 0,80, ce qui nous a permis d'exploiter ces données dans l'analyse de la variabilité hydroclimatique dans le bassin de Sebou.

DEUXIÈME CHAPITRE:

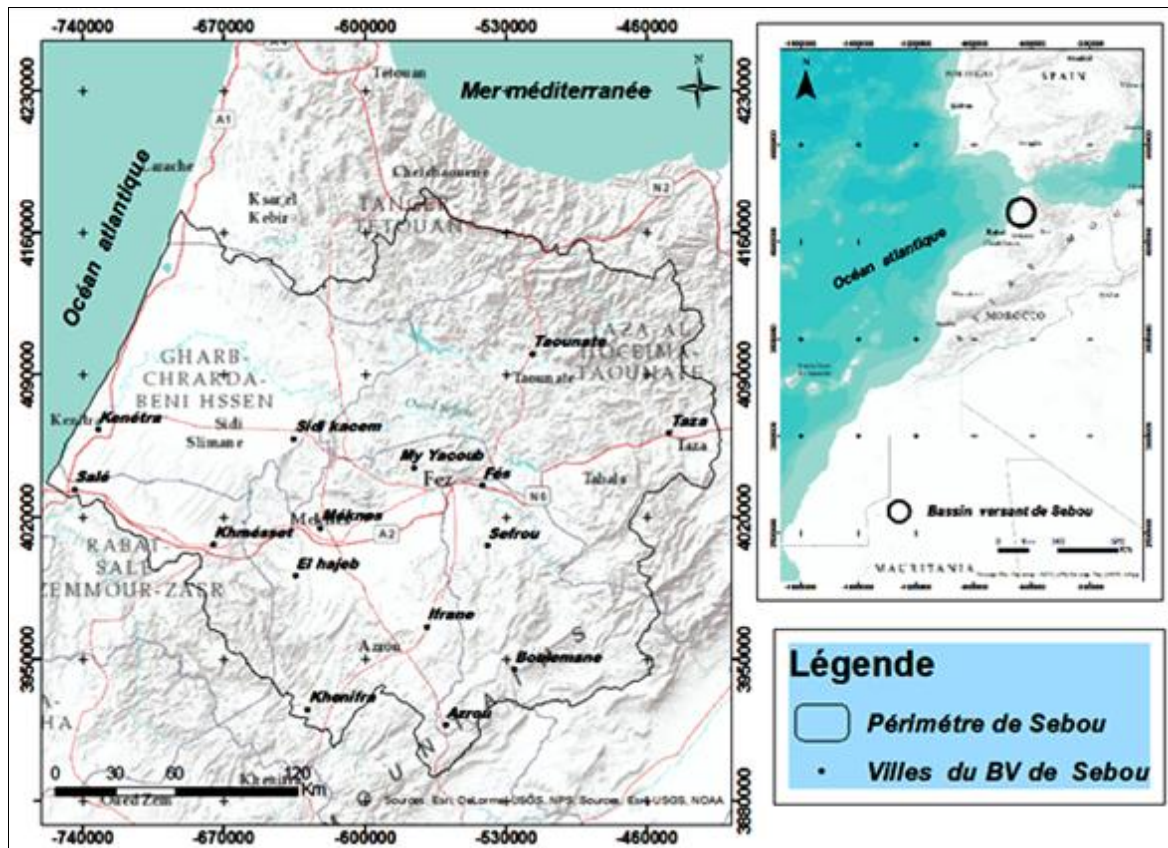
Cadre géophysique de l'hydrosystème du bassin versant de Sebou

Introduction:

Le cadre géographique et physique joue un rôle primordial dans l'hydrologie des bassins versants. En effet les caractéristiques physiques déterminent le type du climat et donc le régime pluviométrique et la nature du substrat grâce à ces degrés de rétentions qui interviennent pour accélérer ou retarder la vitesse de l'écoulement dans le système hydrologique. Car en modifiant l'apport pluviométrique les facteurs morpho-physiques des bassins influencent sur les régimes hydrologiques qui lui sont propres. Dans le bassin versant du Sebou, nous allons insister sur l'importance des caractéristiques géophysiques et leurs rôles de précurseur des crues et des inondations. Tout en décrivant les éléments géographiques, morphométriques et géologiques qui déterminent une grande partie des aspects hydrologiques.

2.1. Les données géographiques et administratives du bassin de Sebou

Le bassin versant du Sebou occupe, au Nord-Ouest du Maroc, une superficie de 40503 km² soit environ 5,5% du territoire national. Ses limites s'inscrivent entre le méridien 3° et 6° ouest, et 33^{ième} et 35^{ième} parallèle au Nord.

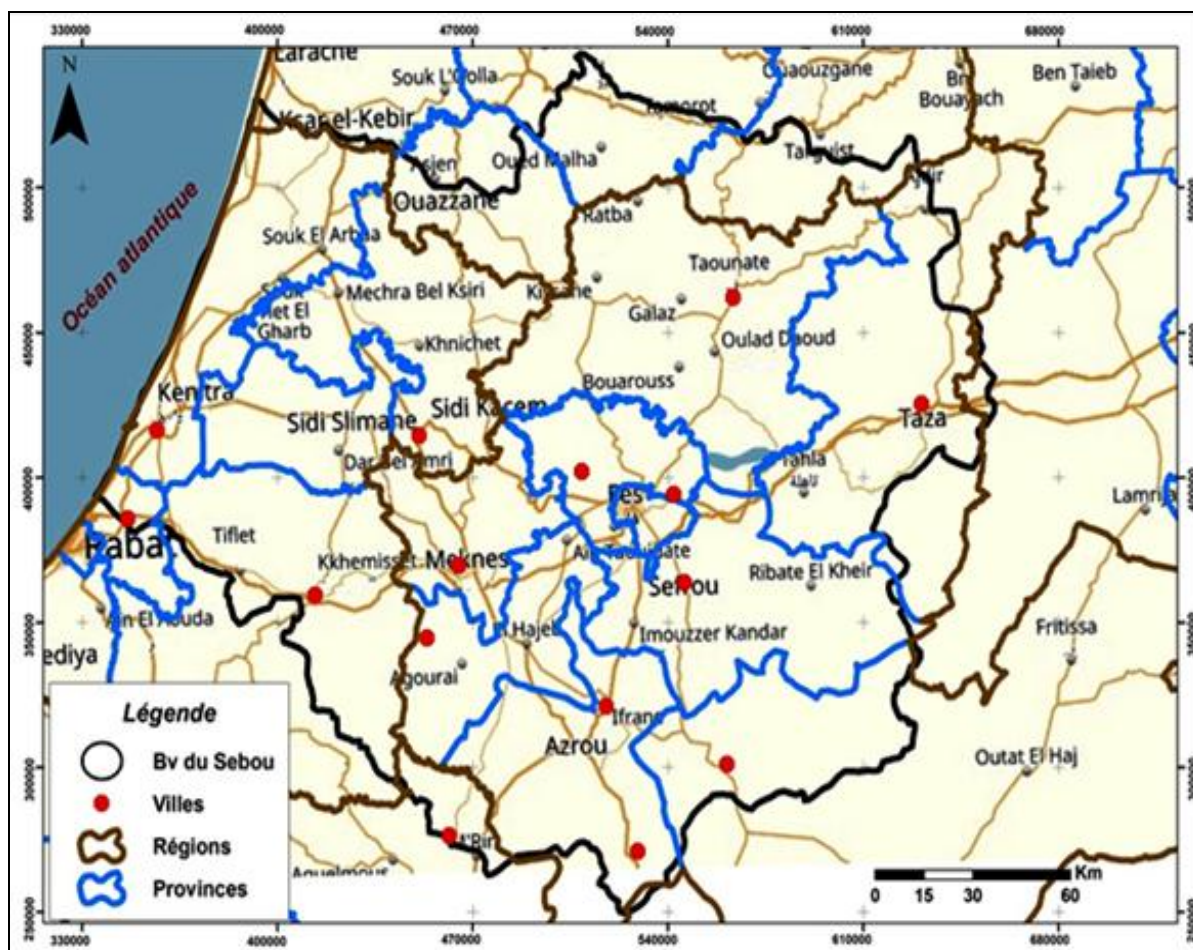


rte. n°3: Situation géographique du bassin versant de Sebou.

Il est limité au Nord par les bassins versants de Loukkos et des bassins côtiers méditerranéens, à l'Est par le bassin de la Moulouya, et au Sud par le bassin de Bou Regueret et d'Oum Er-rabia.

L'oued Sebou prend naissance à **600** km en amont du bassin. Son cours d'eau est subdivisé en trois tronçons: le Haut Sebou qui prend sa source dans le Moyen Atlas et collecte ensuite les eaux des oueds Inaouene et Beht, le Moyen Sebou rejoint par l'Ouergha qui est le plus important affluent du bassin et le bas Sebou qui débouche dans l'Océan Atlantique (Gharb).

Sur le plan administratif, le bassin de Sebou est découpé en plusieurs Wilaya et préfectures: la Wilaya de Fés-Meknès: la province de Taza (en partie); la province de Boulemane (en partie) la province de Taounate et Ifrane. La wilaya de Rabat-Kenitra: la province de Khemisset (en partie), la province de Sidi Slimane, et Sidi Kacem. La wilaya de Tanger-Tétouane: la province de Chafchaouene (en partie) et la province d'El Hoceima et la wilaya de Beni Mellal-Khouribga: la province de Khenifra (en partie). De plus, certains cercles de ces provinces sont entièrement ou partiellement inclus dans le bassin. Le découpage administratif au niveau du bassin de Sebou est illustré sur la carte n°4:



Carte. n°4: Découpage administratif du bassin de Sebou.

2.2. Les paramètres morphométriques

D'après CHERRAD. B(1997), BANAABIDATE, L(2000), BOUGUERRA, S (2004), EL MIZANIF (2006), BOUMESSENEGHA (2007) et ZEKOUA. N (2009), l'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydroclimatiques varient avec l'altitude (précipitations, et températures, ...), et la morphologie du bassin. En outre, la pente la plus forte induit une faible durée de concentration des eaux de ruissellement dans les canaux de drainage et des affluents.

Dans ce chapitre, nous allons traiter le bassin versant du Sebou dans son ensemble, ainsi que certains sous bassins caractérisés par leurs réseaux hydrographiques importants. Ce système hydrologique du bassin est caractérisé par une morphologie et une structure complexe. Ce que nous allons calculer par les indices morphométriques suivants :

2.2.1. Surface et Périmètre

Les limites du bassin versant de Sebou sont très nettes en zones montagneuses où les reliefs sont très apparents, ils ne sont pas de même pour les plaines à topographie plane et aux formations superficielles perméables. C'est le cas de la partie ouest du bassin (plaine du

Gharb), elle est localement imprécise, car les petits affluents qui ne coulent que lors des fortes averses peuvent changer de direction à chaque obstacle alluvionnaire formé entre deux épisodes pluvieux.

De ce fait, le calcul de la superficie du bassin est effectué par le système d'informations géographiques (Arc-Gis 10.2). Ce programme nous a permis de calculer les paramètres du bassin qui s'étale sur **40503km²**.

Pour le périmètre qui représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant, il est exprimé en **km**. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. Le périmètre du bassin versant de Sebou est de **1076 km**.

2.2.2. Paramètres de forme

La forme d'un bassin versant a une influence sur l'écoulement et surtout sur l'allure de l'hydrogramme de crue. Ainsi un bassin très allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassée, si les autres conditions sont par ailleurs égales. Nous exprimons cette caractéristique par les différents indices, dont l'indice de compacité de « **Gravelius** » qui est défini comme le rapport du périmètre stylisé du bassin au périmètre d'un cercle ayant la même surface, plus cet indice se rapproche de l'unité plus le bassin aura une surface ramassée et plus le temps de concentration de l'eau sera court. Il est obtenu en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. La forme d'un bassin versant est généralement traduite par les indices classiques suivants :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \neq 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

• **L'indice de compacité de Gravelius (KG)**, qui permet de comparer le périmètre stylisé du bassin (**P, en Km**) à celui d'un cercle qui aurait la même surface que le bassin (**A, en Km²**), donc, **KG**³ est de **1,49**.

Cet indice est déterminé à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de **1** pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieure à **1** lorsque le bassin est de forme allongée. Un bassin versant circulaire est mieux drainé qu'un bassin allongé. Alors que le bassin versant du Sebou a **une forme plus moins allongé**.

• **L'indice d'allongement d'HORTON, IH** qui est le rapport entre la plus grande longueur interne du bassin (**Lh, en Km**), déterminée à partir de l'exutoire, et la plus grande largeur du bassin (**lh, en Km**) perpendiculaire à **Lh**:

$$IH = Lh / lh$$

3 : **KG** est l'indice de compacité de Gravelius ;

donc l'indice d'allongement **d'HORTON** est de **4,88**.

Le bassin versant du Sebou a une forme assez complexe dû à son tracé au sien de la vallée qui recoupe les différents ensembles morpho-structuraux étudiés.

Concernant le rectangle équivalent ou rectangle de **Gravelius** correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux côtés du rectangle équivalent. Le climat, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangés entre les courbes de niveau. Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes :

$$L = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.12} \times \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \text{ et } l = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.12} \times \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right]$$

Soit **L** et **l** respectivement la longueur et la largeur du rectangle⁴ et **P** le périmètre et **A** l'aire du bassin versant⁵ :

Tableau. n°5: Longueur et largeur du bassin versant de Sebou.

Bassin versant	Longueur de rectangle (km)	Largeur de rectangle (km)
Sebou	444,43	91,02

Et pour tracer les droites de niveau, nous suivons la méthode de calcul:

$$\text{Droite de niveau} = L \times Si / A$$

La distance de chaque droite de niveau au petit côté représentant le Haut du bassin s'obtient en multipliant par **L** les fractions de la surface cumulée. La figure n°5 illustre le rectangle équivalent de bassin versant du Sebou.

⁴ : **P** est le périmètre du bassin en km ;

A est la surface du bassin en km² ;

S : Superficie du bassin versant en km ;

L : Longueur du rectangle équivalent en km ;

l : Largeur du rectangle équivalent en km ;

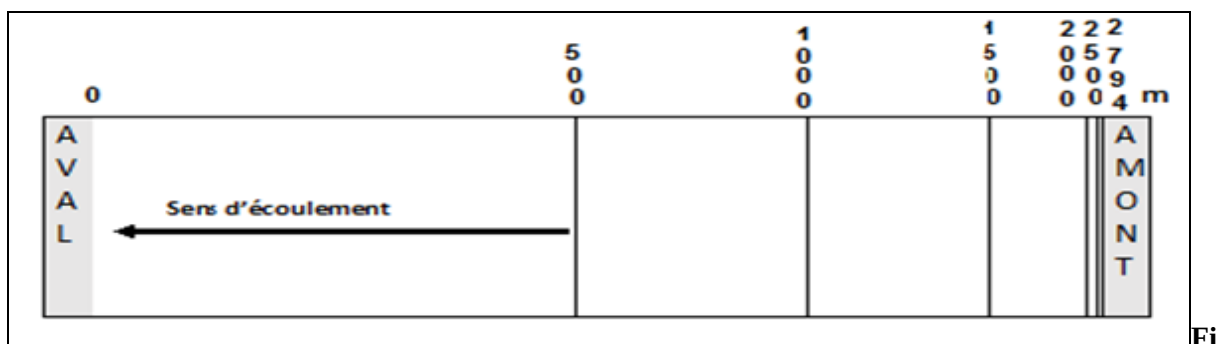


Figure n°5: Rectangle équivalent du bassin versant de Sebou.

2.2.3. Le courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin et l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude. La répartition du bassin versant du Sebou (en **km²** et en % de la superficie totale) par tranche d'altitude est consignée dans le tableau n°7:

Tableau. n°6: Répartition de la surface totale par tranches d'altitudes.

Tranches d'altitudes	Superficie (km2)	% de la surface	% superficie cumulée
0-500	20043	49,5	100
500-1000	9637	23,8	50,5
1000-1500	5989	14,7	26,7
1500-2000	3957	9,8	12
2000-2500	864	2,1	2,2
2500-2794	13	0,1	0,1
Total	40503	100	

Les reliefs sont souvent caractérisés par une carte ou par une courbe hypsométrique. La carte hypsométrique n°5 est obtenue en délimitant des tranches du bassin par des courbes de niveau équidistances de **50m**. Elle présente une sorte de mosaïque dans laquelle se succèdent des zones de haute altitude (dépassant 2794 m) figurant dans le Sud-Est et le Nord-Est du bassin et des étendues planes peu élevées jusqu'à l'Atlantique. Pour la courbe hypsométrique (Fig. n°6), elle a été obtenue en portant une altitude donnée en abscisse et en ordonne la distance du bassin pour laquelle chaque point a une côte au moins égale à cette altitude.

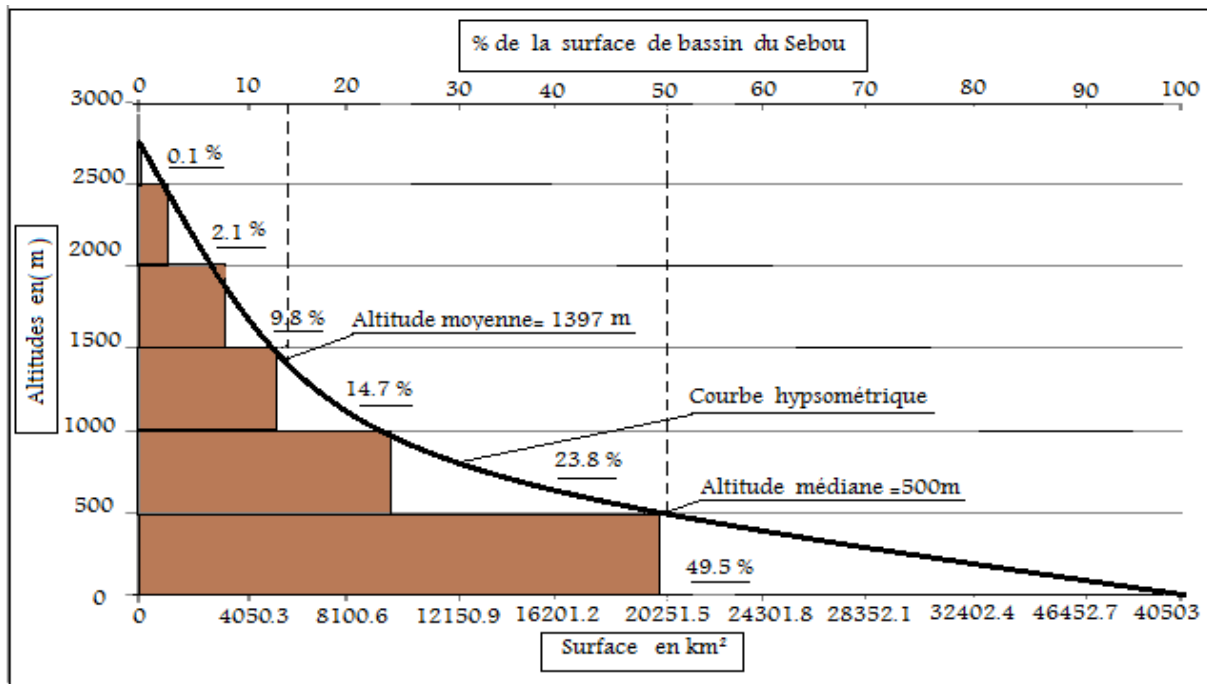
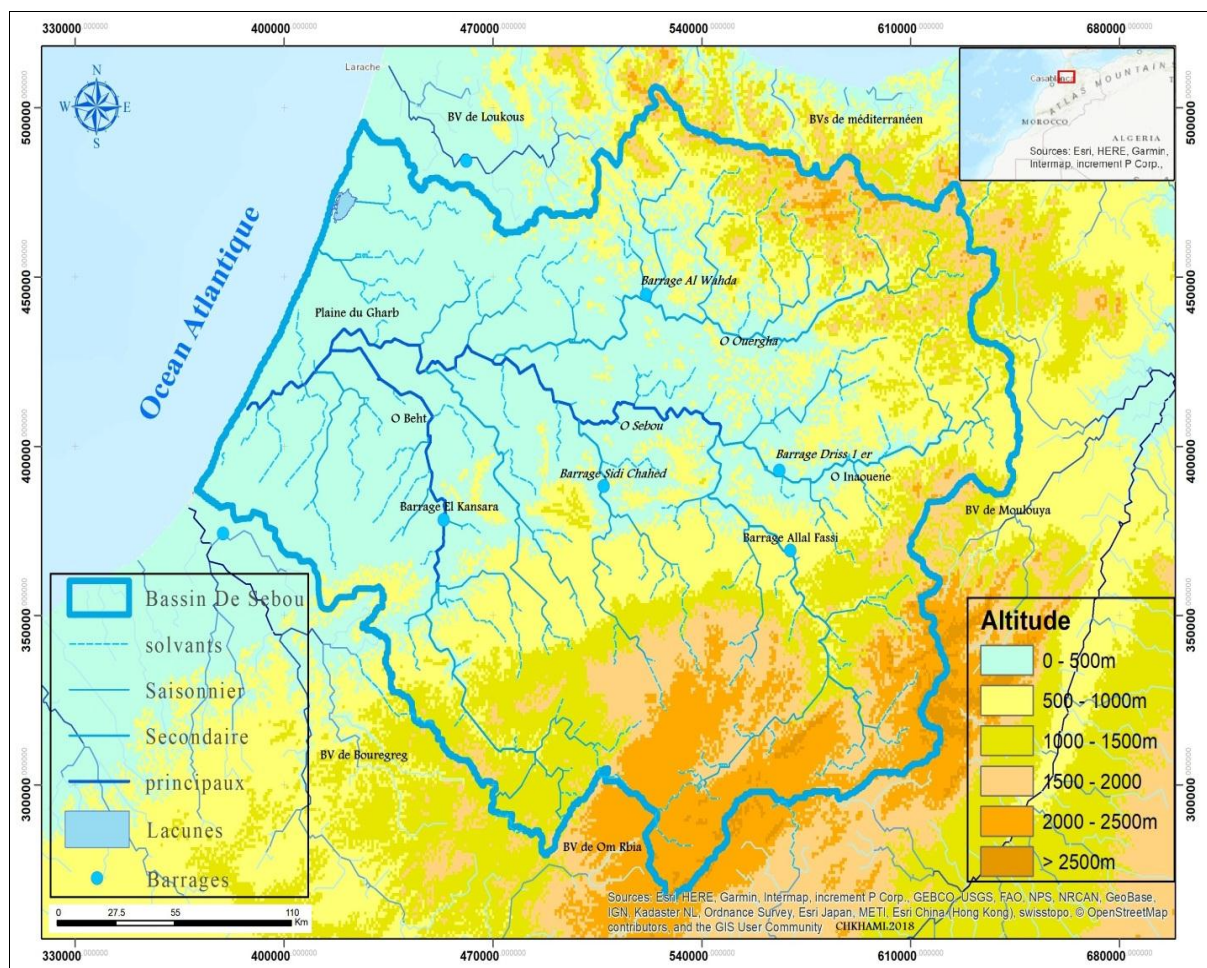


Figure. n°6: Courbe hypsométrique et répartition de la surface du bassin versant de Sebou.



Carte. n°5: Hypsométrie du bassin versant de Sebou.

En général, l'utilité de cette courbe c'est qu'elle fournit des renseignements qualitatifs sur l'allure du relief. En effet, on retrouve une pente plus forte en amont mais plus adoucie en aval où prédominent des baisses altitudes altimétriques, souvent des plaines ou des

pénéplaines qui peuvent constituer de vastes zones d'inondation. En effet, les plus basses altitudes, correspondent à une zone de plaine; c'est la plaine du Gharb. Cette zone à caractère affaissé comporte des altitudes oscillant entre 0m et 500m et occupe la surface la plus importante du bassin avec 49,5%. La zone de moyenne altitude (500-1000m), occupe 23,8% et la zone de haute altitude (2000-2500m), dans la Moyen Atlas et le Rif, occupe 2,1% (Tab. n°7). Ainsi on constate que les basses altitudes occupent presque la moitié de la superficie totale du bassin versant de Sebou.

2.2.4. Les altitudes caractéristiques

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin, tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

➤ **Les altitudes extrêmes**, les altitudes maximales et minimales déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

- La côte la plus basse est **0 m** ;
- La côte la plus haute est **2794 m** ;

➤ **L'altitude moyenne**, elle est définie comme étant la moyenne entre l'altitude la plus haute et la plus basse⁶ :

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i h_i}{A}, \text{ dans le bassin, elle est de } \mathbf{1397 \text{ m.}}$$

➤ **L'altitude médiane**, l'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière. Elle est de l'ordre de $H \text{ } 50\% = \mathbf{500 \text{ m.}}$

➤ **L'altitude la plus fréquente**, cette altitude correspond à la tranche qui représente le maximum de l'histogramme des fréquences altimétriques, soit **0 à 500 m**. Le bassin versant du Sebou est, donc, un bassin de basse altitude puisque plus de 49,5% de la superficie totale du bassin à une altitude inférieure à **500 m**.

2.2.5. Les indices des pentes de relief

MOUMEN, Z et QMICHOU, M (2014) indiquent que les indices de pentes ont des caractéristiques importantes et renseignent sur la topographie du bassin. La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin, donc le

⁶ : **H_{moy}** : altitude moyenne du bassin [m] ;

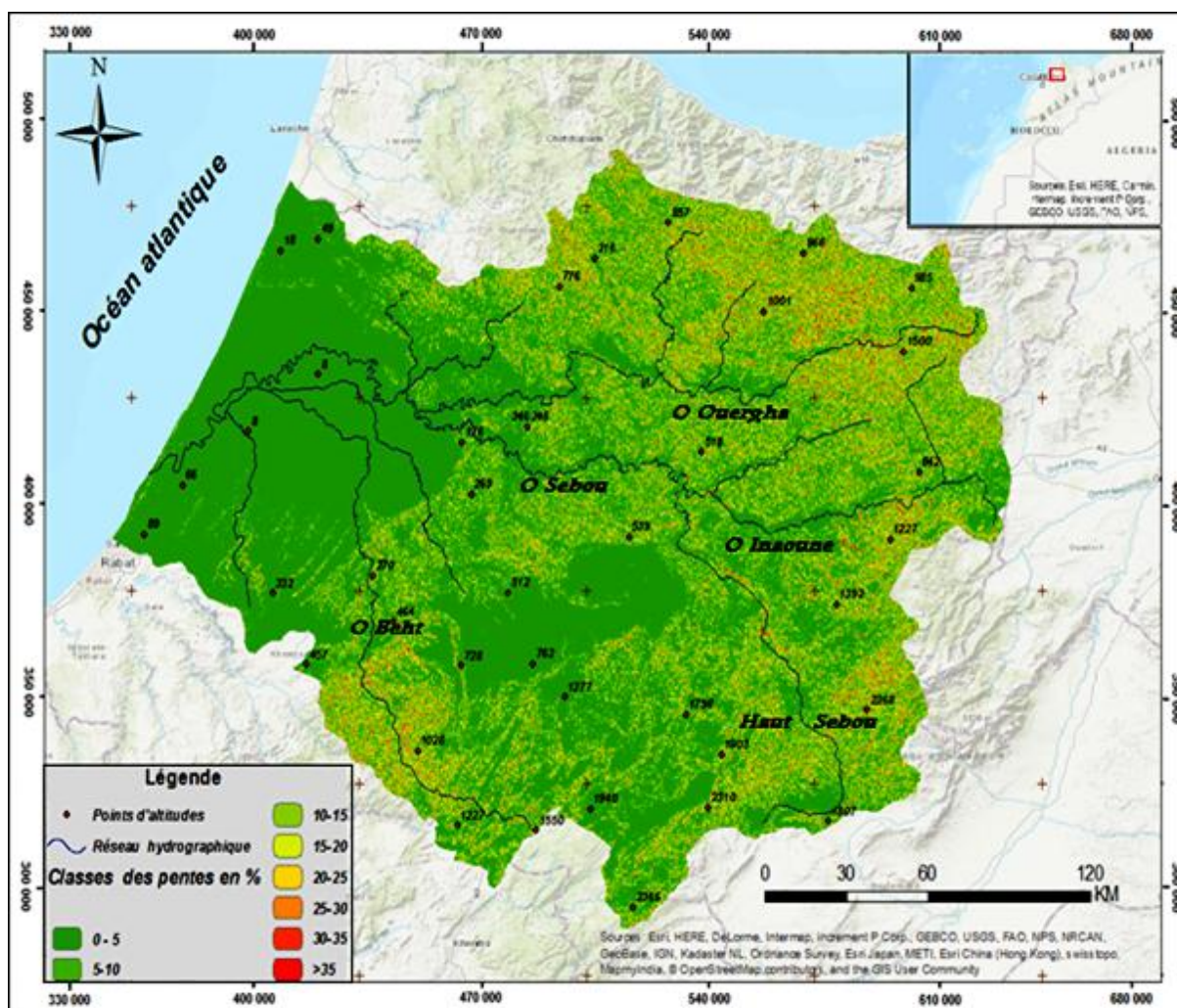
A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²] ;

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : superficie totale du bassin versant [km²] ;

temps de concentration. Elle influence ainsi sur l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. En effet, plus la pente est forte, plus la durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents et le cours principal est faible, par conséquent le bassin réagira d'une façon rapide aux averses. Les pentes fortes à très fortes peuvent produire des écoulements de nature torrentiels qui sont à l'origine des crues dévastatrices.

La pente moyenne du bassin versant est donnée par ROCHE (1963) comme étant la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires pour lesquelles nous pouvons considérer que la ligne de plus grandes pentes est constante. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la carte n°6, le tableau n°7 et les relations suivantes.



Carte. n°6: Les pentes du bassin versant de Sebou.

Dans cette carte, les tranches d'altitudes sont équidistantes de 30m. Cependant les zones de hautes altitudes figurent dans le nord du bassin, qui constituent des versants abrupts dépassants 30% des pentes dans le Rif et le Moyen Atlas et dans quelques affleurements rocheux dans le bassin, alors que les zones de basses altitudes se trouvent dans les plaines (Gharb; moins de 5% et plaine de Sais; plus de 10%) et les zones alluviales de l'oued Sebou et de ses affluents.

Tableau. n°7: Répartition des pentes dans le bassin du Sebou.

Classe des pentes en %	surface	% de la surface
0-5	21432	52
5-10	8280	20
10-15	5182	14
15-20	2901	7
20-25	1531	3
25-30	719	2
30-35	302	1
>35	156	1

Ces indices permettent de rendre compte de l'influence du facteur de pente sur le régime hydrologique du bassin versant. Nous pouvons distinguer:

➤ **La dénivelée théorique (Dt)** qui est la différence entre l'altitude maximale et altitude minimale du bassin, celle-ci correspondant généralement à l'altitude de la rivière à l'exutoire du bassin versant :

$$\mathbf{Dt = H.max - H.min \text{ (en m)}, \text{ et donc Dt est de } 2794 \text{ m.}}$$

➤ **La dénivelée utile (Du)** qui ne tient pas compte des altitudes extrêmes, souvent peu significatives de la répartition des altitudes, comme c'est le cas pour le bassin du Sebou. Nous utilisons ainsi les altitudes à 95% et à 5% déterminées à partir de la courbe hypsométrique :

$$\mathbf{Du = H. 95\% - H.5\% \text{ (en m)}, \text{ et donc, Du est de } 1900 \text{ m.}}$$

➤ **La pente moyenne** qui est égale au quotient de la différence entre les hauteurs maximums et minimums par la longueur du rectangle équivalent⁷ :

$$\mathbf{S = 1/A \sum Di}, \text{ et donc Pm est de } 6,28.$$

• **Indice de pente global (Ig)** qui est donné par la formule⁸ suivante :

$$\mathbf{Ig = D / L} \quad \text{ou} \quad \mathbf{Ig = (H5 \% - H95 \%) / L}$$

- **H5 %** est l'altitude au-dessus de laquelle il reste 5% de la surface du bassin versant.

- **H95%** est l'altitude au-dessous de laquelle, il reste 5% de la surface du bassin versant.

La dénivelée (**D**) est égal à **H5-H95**, où (H5) et (H95) sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin sur la courbe hypsométrique (Fig. n°7) :

⁷ : **S** : Pente moyenne du bassin versant en % ;

L : Largeur du rectangle équivalent en km ;

Di : Différence de niveau entre deux courbes de niveau consécutives ;

A : Surface élémentaire en km² ;

⁸ : **Ig** : Indice globale de Roche ;

D : Dénivelée (m) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (km) ;

(H5% = 1950 m) ; (H95% = 50 m), et donc **Ig** est de **4,27 m/km**.

Tableau. n°8: Classification du relief selon Ig par l'O.R.S.T.O.M.en m/km.

Type de relief	Indice de pente globale
Relief très faible	$Ig < 0,002 \text{ m/km}$
Relief faible	$0,002 < Ig < 0,005$
Relief assez faible	$0,005 < Ig < 0,01$
Relief modéré	$0,01 < Ig < 0,02$
Relief assez fort	$0,02 < Ig < 0,05$
Relief fort	$0,05 < Ig < 0,5$
Relief très fort	$0,5 \text{ m/km} < Ig$

La valeur calculée de (**Ig**) dans le cas de notre bassin est de **4,27 m/km**. Suivant le tableau n°8. Le bassin est caractérisé par un relief très fort, d'où l'influence bien prononcée des massifs montagneux à l'amont du bassin versant de Sebou. Ceci joue un rôle important dans la genèse des crues et leur vitesse de propagation vers l'aval.

• **La dénivelée spécifique (Ds)** qui est un indice de relief qui permet de s'affranchir de l'effet de surface **A** du bassin :

$$Ds = Ig \times \sqrt{A}, \text{ et donc } Ds \text{ est de : } \mathbf{859,33 \text{ m.}}$$

Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M, indépendante de surface de bassin.

La valeur calculée de (**Ds**) dans le cas de notre bassin est de **859,33 m**. Suivant le tableau n°10. Le bassin est caractérisé par un relief très fort, d'où l'influence bien prononcée des massifs montagneux : Moyen Atlas et Rif dans notre bassin. Dans le tableau n°10, nous avons récapitulé tous les principes caractéristiques des sous-bassins versants de Sebou.

Tableau. n°9: Classification du relief selon Ds donné par l'O.R.S.T.O.M. en m.

Valeur de Ds	Relief
$Ds < 10 \text{ m}$	Relief très faible
$10 \text{ m} < Ds < 25 \text{ m}$	Relief faible
$25 \text{ m} < Ds < 50 \text{ m}$	Relief assez faible
$50 \text{ m} < Ds < 100 \text{ m}$	Relief modéré
$100 \text{ m} < Ds < 250 \text{ m}$	Relief assez fort
$250 \text{ m} < Ds < 500 \text{ m}$	Relief fort
$Ds > 500 \text{ m}$	Relief très fort

2.2.6. Les caractéristiques des principaux sous bassins versants de Sebou

De par sa grande superficie, le bassin versant du Sebou renferme plusieurs sous-bassins versants de dimensions variables. La carte n°7 montre la répartition des bassins. Ces bassins ont été délimités par les lignes de partage des eaux. Ils sont de ce fait des bassins versants

[illegible]

Ils présentent des reliefs très contrastés lesquels sont visualisés par les données morphométriques respectives. Il faut donc noter que les formes morphométriques apparaissent très différentes en raison de la variation de leurs superficies (4911-11760 km²), de leurs formes longitudinales (113,78-261,71km) et de leurs indices de la compacité (1,24 -1,77) (Tab.n°10).

{ 67 }

Tableau. n°10: Les principales caractéristiques des sous-bassins versants du Sebou.

Sous bassins versants	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Longueur du rectangle (km)	Largeur du rectangle (km)	Indice compacité
Bv de l'oued Sebou	11760	616	261,71	44,93	1,59
Bv de l'oued Beht	10900	528	210,28	52,57	1,41
Bv de l'oued Inaouene	5239	321	113,78	46,47	1,24
Bv de l'oued Ouergha	7693	488	205,11	37,62	1,55
Plaine du Gharb	4911	443	195,99	25,46	1,77

2.3. Réseau hydrographique du bassin versant

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement (BOUGUERRA, S 2004). La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux: la structure géologique qui prédomine dans le bassin; le climat qui règne sur la région; la pente des terrains et l'influence de l'action humaine sur le tracé du réseau par l'implantation des différents aménagements hydrauliques. La disposition du réseau hydrographique dans notre bassin est née suite à des mouvements tectoniques qui ont affecté les formations sédimentaires et karstiques durant les ères géologiques passées (pliocène et quaternaire) (BENABIDATE. L, 2000).

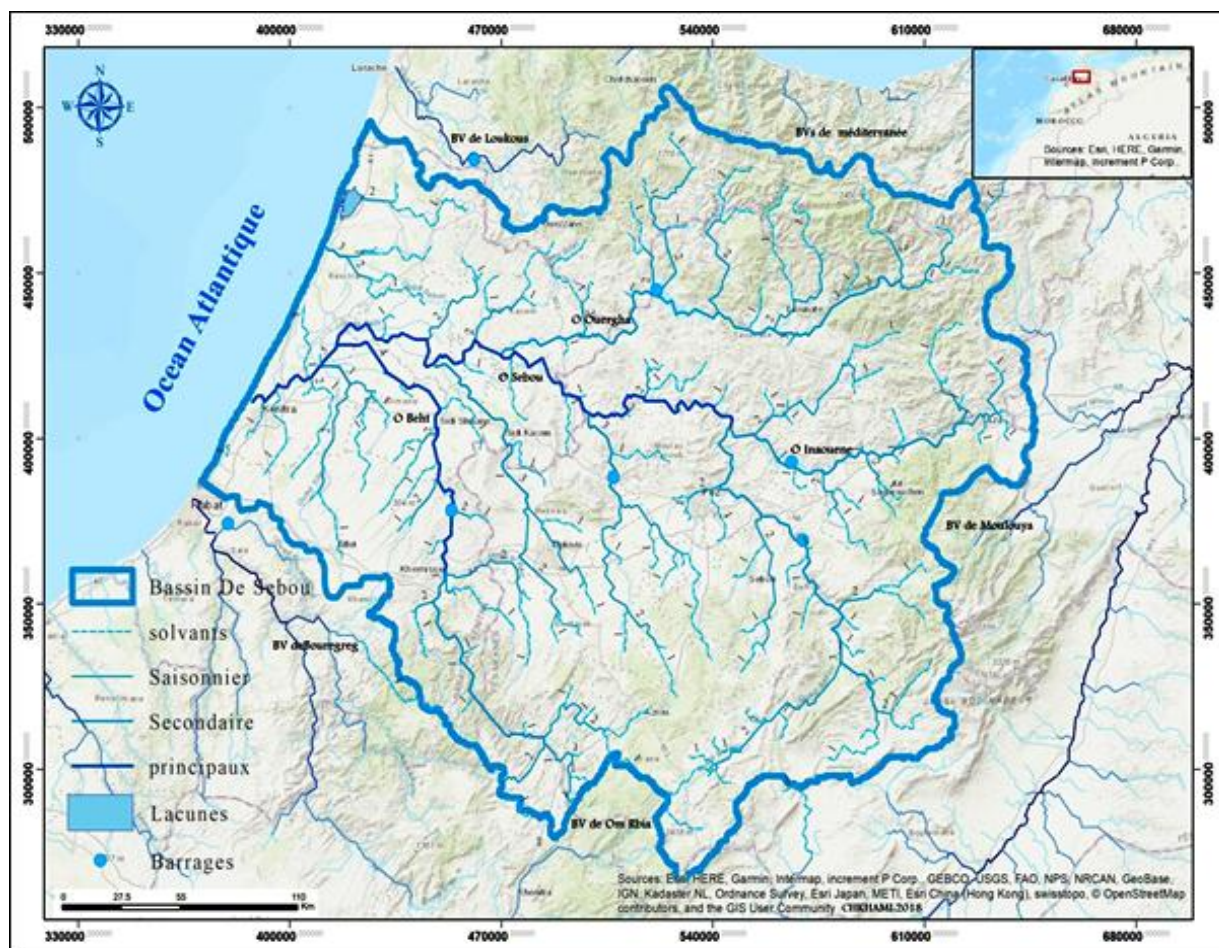
Le bassin de Sebou (carte.n°8) est drainé par plusieurs principaux oueds : l'oued Ouergha, oued Inaouene, oued Beht, et oued Lebene ... qui confluent aux niveaux moyen et bas de l'oued Sebou. En outre divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique parmi eux les plus importants sont: la densité de drainage (**Dd**), coefficient de torrentialité, temps de concentration dans le bassin.

2.3.1. La hiérarchisation du réseau hydrographique

L'étude de la structure du réseau hydrographique, nécessite la hiérarchisation des différents cours d'eau, composant l'arborescence de la rivière. Celle-ci mène donc à attribuer un numéro (ordre ou magnitude) à chaque tronçon selon une codification. Plusieurs auteurs ont présenté un intérêt plus ou moins important suivant l'objectif fixé.

D'après PLAYFAIR. J (1805), initiateur des études sur le réseau hydrographique, de nombreux auteurs comme: HORTON (1945) ou TRAHLER (1952) ont hiérarchisé les réseaux hydrographiques. Les différents segments d'un système fluvial présentent entre eux des rapports de hiérarchies et ont des caractères morphométriques et hydrologiques particuliers qui ont amené les spécialistes à tenter d'établir un classement en fonction des niveaux d'importance relative.

Ces classements, permettent en particulier de comparer les différents réseaux de drainage et de les mettre en relation avec les processus hydrologiques. Ainsi le cours d'eau principal constitué par l'oued Sebou, présente une longueur moyenne d'environ **600 km**. Il est alimenté par un nombre important d'affluents de premier ordre (Affluents primaires) (carte. n°8) qui attribue au réseau hydrographique du bassin versant de Sebou une longueur totale d'environ **6373,5 km**.



Carte. n°8: Hiérarchisation de réseau hydrographique du Bv de Sebou.

2.3.2. La fréquence de drainage

La fréquence de drainage est étroitement liée à deux facteurs principaux : la lithologie et l'abondance des précipitations, elle nous permet d'apprécier le réseau hydrographique dans le bassin versant. D'après BOUMESSENEGHE, A (2007) la fréquence est exprimée par le rapport de la longueur totale des cours d'eau contenus dans un bassin versant (**Ni**) à la surface de ce dernier (**A**). La mesure de ce paramètre suppose la reproduction de tous les affluents du bassin quel que soit leur ordre (carte. n°8). Nous avons effectué des calculs de la densité de drainage totale, permanente et temporaire sur le bassin du Sebou. En divisant le nombre total des cours d'eau sur la surface du bassin, selon la formule⁹ suivante:

⁹: **F** : est la fréquence des cours d'eau en km² ;
Ni : est le nombre des cours d'eau ;

$$F = \sum N_i / A, \text{ et donc } F \text{ est de } 0,15 \text{ Km}^2.$$

2.3.3. La pente moyenne du cours d'eau

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin, donc le temps de concentration, il est donné par la formule¹⁰ suivante:

$$P_{moy} = H_{max} - H_{min} / L, \text{ et donc, le } P_{moy} \text{ de cours d'eau est de } 4,65 \text{ m /km}.$$

2.3.4. Le profil en long du réseau hydrographique

Le profil en long du cours d'eau de l'oued Sebou et de ses affluents permet d'approcher des éléments d'explication pour l'analyse hydrologique et notamment, pour les vitesses d'écoulement et le temps de transfert des masses d'eau (Fig. n°8).

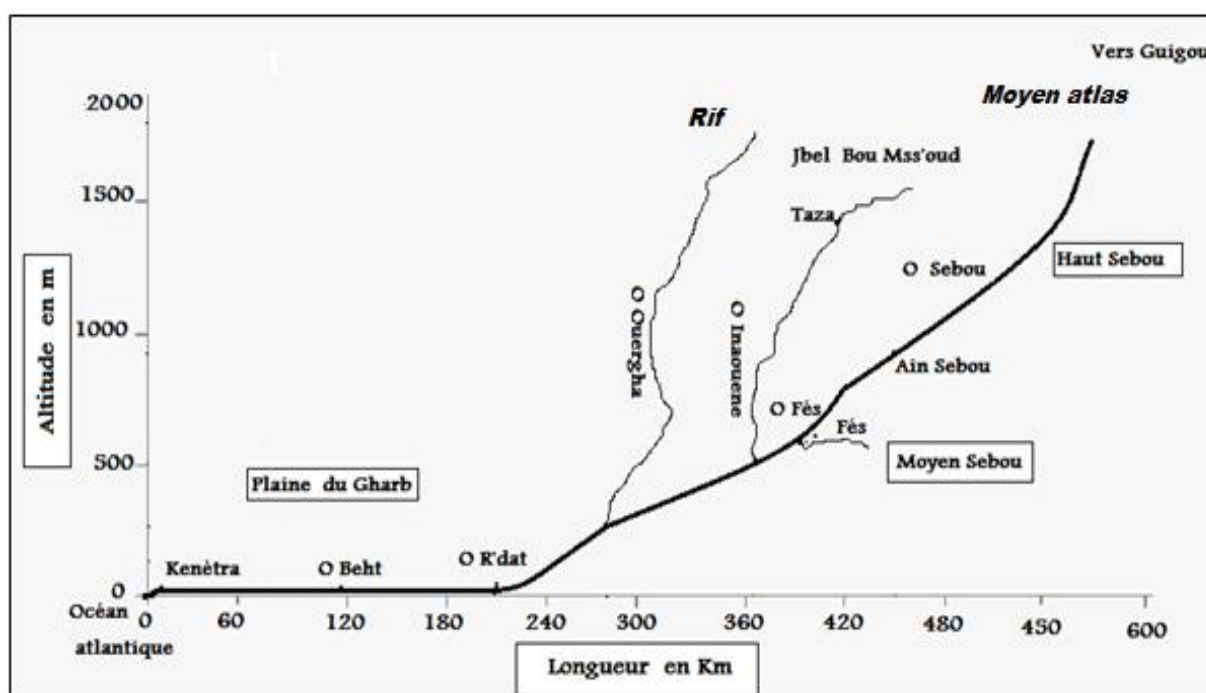


Figure. n°8: Le profil en long du réseau hydrographique.

Dans le bassin versant du Sebou, et d'après JANATI IDRISSE, A(1993), la structure du substrat, sa lithologie et les mouvements orogéniques ont modulé diversement la pente de profil en long des cours d'eau. Celle-ci, conditionne la circulation des eaux dans les chenaux, donc le temps de réponse du réseau de drainage à l'activité des averses, et en conséquence la vitesse de translation des crues vers l'aval. Dans notre cas, l'étude du profil longitudinal, va nous aider à interpréter la réponse hydrologique du bassin versant via la pente moyenne des principaux oueds qui prennent naissance à des domaines différents. Ainsi, l'oued Sebou,

¹⁰ **A** : est la surface de bassin versant en km² ;
P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau [m/km] ;
L : longueur du cours d'eau principal [km] ;
H_{max} et **H_{min}** : sont respectivement les altitudes extrêmes relevées sur le cours d'eau ;

Inaouene et Beht au Moyen Atlas et oued Ouergha au Rif possèdent un système de pente différent, ce qui nous permet de diviser le bassin de Sebou en trois tronçons différents:

➤ **Le Haut Sebou** naît à plus de 1500m d'altitude, dans le massif du Moyen Atlas. Il collecte les eaux du bassin amont (Oued Guigou, Zloul et Maâser). Et coule essentiellement vers le Dir de Séfrou (NAJJARI 2002 et QADIM. A 2016). Puis garde des pentes raides de 35 à 61% dans le secteur des massifs granitiques favorables à l'évacuation rapide des eaux vers l'aval du bassin.

➤ **Le Haut de l'oued Ouergha**, prend naissance à plus de 2390 m d'altitude dans le massif rifain et draine vers l'aval des pentes très fortes de plus de 35%. Cela évidemment va accélérer l'écoulement des eaux vers la plaine du Gharb.

➤ **Le Moyen Sebou** débute de confluence de l'oued Inaouène et l'oued Lébène avec l'oued Sebou. Ce tronçon se distingue par des pentes moyennement faibles et ne favorise pas un ruissellement rapide des eaux.

➤ **Dans la plaine du Gharb**, les pentes sont douces; moins de 5%, qui se développent dans une surface alluvionnaire à faible écoulement. Cela favorise la stagnation et l'affaissement des eaux de crues.

2.3.5. La densité de drainage

Pour les deux chercheurs RIAD.S(2003) et BANAABIDATE.L(2000), la densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant, correspond pour un bassin versant donné de superficie, **A** comme étant la longueur totale des cours d'eau d'ordre quelconque sur la superficie totale **A** du bassin versant. La densité de drainage est exprimée en **km/km²** ou en **km-1**. Elle est donc¹¹ :

$$Dd = \sum Li / A, \text{ et pour le bassin cette densité est de l'ordre de } 0,15 \text{ km /km}^2.$$

Généralement la densité de drainage et la fréquence des cours d'eau, sont extrêmement importantes pour chaque bassin hydrographique, elles contribuent à la connaissance du comportement hydrologique dominant dans la région. Ainsi nous pouvons donner une idée sur la nature et la force d'écoulement, et l'impact de la variabilité hydroclimatique associée aux risques hydrologiques (crues et inondations) qui pourraient menacer la zone d'étude.

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant, et dans une certaine mesure, des conditions climatiques et anthropiques. En effet, les secteurs situés en zones de roches perméables ont en

¹¹ : **Li** est la longueur d'un affluent d'ordre *i* (km) ;
A est la surface du bassin versant (km²) ;

général des densités de drainage faibles (Moyen Atlas karstique), alors que les secteurs de roches imperméables (domaine rifain) ont des densités de drainage plus élevées.

Les conditions climatiques jouent également un rôle important: les climats ayant des pluies réparties également tout au long de l'année auront des densités de drainage plus faibles que les régions à climat très contrasté comme les zones semi-arides. Les activités humaines ont parfois un rôle non négligeable sur l'évolution hydrologique. Cette influence peut avoir un effet régulateur mais aussi un effet accélérateur du ravinement.

2.3.6. Le coefficient de torrentialité

C'est le produit de la densité de drainage (**Dd**) par la fréquence du nombre des rivières du premier ordre (**Ni**) par unité de surface du bassin (**A**):

$$C_t = [Dd * Ni/A], \text{ et donc coefficient de torrentialité est de } 0,02 \text{ km/km}^2.$$

2.3.7. Temps de concentration

C'est le temps mis par une particule d'eau tombée sur le point le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire. Bien que, ce paramètre intervînt pour l'étude des crues, le temps de concentration déterminé par la formule de **Giandotti** est largement utilisé, comme paramètre hydrologique de grande importance qui sert aussi à la comparaison des bassins différents. Pour calcul **Tc**, nous faisons appel à la formule¹² suivante:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H \text{ moy}}}, \text{ et donc le temps de concentration est de } 6,62 \text{ h.}$$

L'examen des indices ci-dessus montre d'une part la faible valeur du coefficient de torrentialité (**Ct = 0,02**) pour notre bassin d'étude. D'autre part le temps de concentration (**Tc = 6,62 h**) s'avère très réduit en raison du relief assez fort qui caractérise le bassin du Sebou.

En somme, l'étude des paramètres physiographiques du bassin versant de Sebou a permis de dégager les principales caractéristiques de ce bassin. Ces paramètres morphologiques ont été obtenus à partir de la courbe hypsométrique. Le tableau n°11 résume les paramètres obtenus d'après l'étude morphométrique du bassin.

¹² : **tc** : Temps de concentration par heure ;
A : Superficie du bassin (Km²) ;
L : Longueur du thalweg (Km) ;

Tableau. n°11: Les indices relatifs au relief et réseau hydrographique du Bv de Sebou.

Paramètres d'indices de reliefs	Bassin de Sebou
Surface (km²)	40503
P. stylisé (km)	1076
H. max(m)	2794
H. min(m)	0
Indice de compacité	1,49
H.95%(m)	50
H.5%(m)	1950
H.50%(m)	500
H. Moyenne (m)	1379
Longueur du rectangle équivalent (km)	444,43
Largeur du rectangle équivalent (km)	91,02
Dénivelée théorique	2794
Dénivelée utile	1900
Pente Moyenne	6,28
Indice de pente globale	4,27
Dénivelée spécifique	859,33
Densité de drainage (km-1)	0,15
Pente Moyenne de cours d'eau (m /km)	4,65
Coefficient de torrentialité	0,02
Temps de concentration (h)	6,62

La courbe hypsométrique de l'ensemble du bassin versant à son embouchure a montré que la moitié de la surface du bassin à une altitude inférieure à 500m. Bien que les reliefs dépassant les 2000m, ils ne constituent que 12% de la superficie totale. La carte hypsométrique n°5 montre aussi que l'altitude décroît progressivement du Nord-Est et du Sud-Est vers la partie occidentale du bassin.

Le bassin versant de Sebou englobe, par l'importance de son réseau hydrographique, des sous-bassins qui diffèrent aussi bien par leurs superficies que par l'importance de leurs réseaux hydrographiques. Nous pouvons conclure qu'il y a une dissymétrie dans la répartition altimétrique et hydrographique, qui entraîne des conséquences sur la stabilité du régime d'écoulement, ce qui explique les nuances spatiales des potentialités des eaux de surface, et pose un réel risque de crue et d'inondation.

Nous distinguons que les secteurs montagneux (Moyen Atlas et Rif) présentent des caractéristiques morphométriques favorables à la genèse et à la propagation des crues, alors que les secteurs de piémonts et plateaux (Séfrou, El Hajjeb...) ont un degré moins. Cependant les secteurs de plaines (Gharb, Guigou...) sont le siège d'accumulation des dépôts détritiques où les conditions d'écoulement sont défavorables au ruissellement superficiel et également adoucissent la propagation des écoulements torrentiels.

2.4. Les différentes unités géomorphologiques, lithologiques et géologiques du Bv de Sebou

La géologie des terrains influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine, mais également sur le ruissellement des surfaces. L'étude géologique d'un bassin versant dans le cadre d'une étude hydrologique a surtout pour objet de déterminer la perméabilité des formations lithologiques. Celle-ci intervient sur la capacité de rétention de la pluie et la vitesse d'écoulement, ainsi détermine avec l'intensité pluviométrique le degré d'aggravation du phénomène hydrologique extrême.

2.4.1. Cadre géomorphologique et structure lithologique

D'après les études de (AHBS, 2011), presque la totalité du bassin versant de Sebou s'intègre dans le domaine morphogénétique d'âge alpin et englobe au Nord, le versant Sud du Rif central (Prérif et partie de Rif occidental) et au Sud le Moyen Atlas plissé et tabulaire. La partie occidentale du bassin se forme d'une vaste plaine alluviale qui est la plaine du Gharb. Cette dernière est bordée à l'ouest par les anciennes dunes côtières. Au niveau central du bassin de Sebou, se situent les domaines suivants:

- La plaine du bassin Fès –Meknès;
- Les régions du Beht moyen et supérieur incisées dans le plateau central;

La répartition altitudinale et morphologique des domaines structuraux constituant le bassin versant du Sebou, a une influence bien marquée sur la répartition du réseau hydrographique et le comportement des ressources en eau dans chaque sous bassin.

L'influence de la structure lithologique sur le comportement hydrologique du bassin versant se manifeste essentiellement à travers la nature des roches et leur degré de perméabilité qui donne au bassin de Sebou ses caractéristiques propres de drainage. Celui-ci étant plus régulier au Moyen Atlas à cause de la présence des substrats calcaires plus perméables (pho. n°3).



Photos. n°3: Développement de réseau hydrographique et la structure lithologique dans le Moyen Atlas (2019).

Cependant, il est plus irrégulier au Rif avec ces formations lithologiques moins perméables (marnes et schistes). Au Nord du bassin de Sebou d'après l'ABHS (2011) et HAIDA et al (1999), le Rif s'élève jusqu'à 2450 m d'altitude entre les versants atlantiques et méditerranéens. Les terrains sont constitués essentiellement des argiles marneuses imperméables, mais les hauts sommets de l'Ouergha, sont portés par des formations gréseuses.

Cependant les zones du Gharb, du Sais et le couloir de Fès-Taza sont des bas terrains à remplissage essentiellement tertiaire et quaternaire perméable. Les deux dernières unités renferment également des formations calcaires du lias. En revanche le bassin de Beht est constitué par des formations permo-triasiques et primaires imperméables. Dans le Haut Sebou qui fait partie du domaine atlasique, celui-ci est constitué essentiellement des formations calcaires jurassiques perméables (AHBS, 2011) et (carte. n°9).

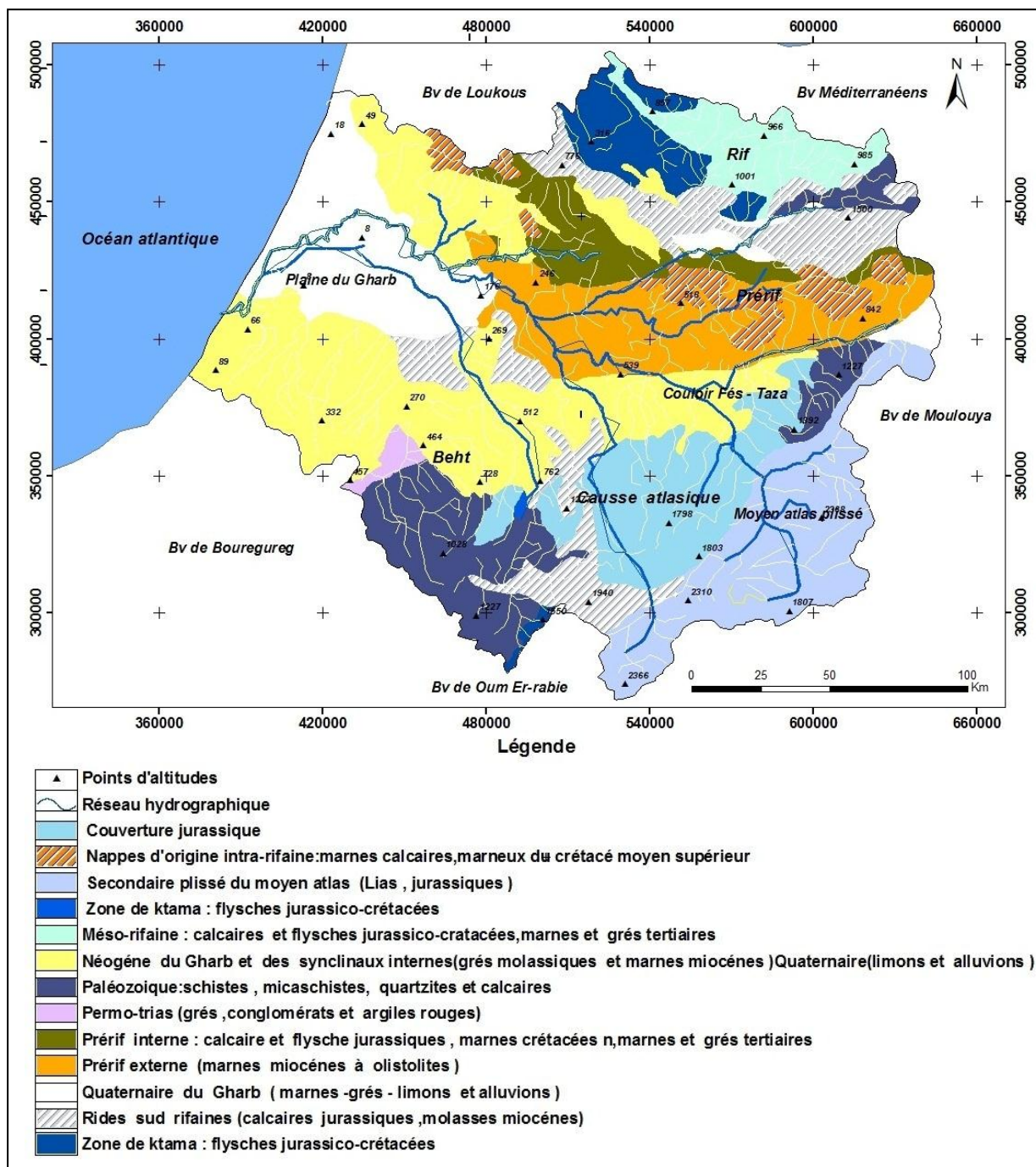
En général, les roches qui occupent le domaine rifain, sont des roches imperméables comme les marnes miocènes (29%), le Grés (8%), et les schistes (13%). Mais certaines roches sont fortement perméabilisées comme les alluvions et les formations récentes. Cependant la chaîne du Moyen Atlas est marquée par la dominance des roches perméables karstiques (24%) qui a un rôle moins important dans la genèse des crues à cause de la présence d'un substrat qui retient une bonne partie de la pluie tombée pendant la période pluvieuse. Ainsi le bassin du Haut Sebou se caractérise par une activité hydrologique importante durant la saison printanière soutenue par les sources karstiques.

2.4.2. Structure géologique

Du point de vue géologique (carte.n°9), (AHBS, 2011) (HAIDA et al, 1999) et (SNOUSSI, 1988), le bassin du Sebou contient un soubassement primaire très érodé (chaîne hercynienne) qui affleure dans la Meseta centrale, ainsi que dans certaines parties du Haut Atlas. Entre ces massifs, le substratum disparaît sous une couverture sédimentaire parfois très épaisse d'âges secondaires, tertiaire ou quaternaire.

Il est également formé d'une mosaïque des terrains aux structures géologiques complexes et aux faciès multiples et variables. De ce fait, il est intégré dans le domaine géologique «Alpin» du Nord de l'Afrique et se trouve à cheval sur le domaine rifain, le domaine Moyen atlasique (pho.n°4) et le domaine messénien.

Au niveau stratigraphique, les formations du bassin de Sebou remontent jusqu'à des époques extrêmement reculées, les formations récentes à leur tour remontent au quaternaire. Le paléozoïque et le Mésozoïque sont très diversifiés. Beaucoup d'études stratigraphiques ont été faites dans le bassin du Sebou et parmi elles les travaux de synthèse d'ensemble ont été établis par COLO. G. (1961), MICHARD. A. (1976), WILDI.W. (1983), MARGAT.J. (1961) et BENAABIDATE, L. (2000).



Carte. n°9: La géologie du Bv de Sebou.

La présentation des caractéristiques lithologiques et géologiques du bassin de Sebou, permettra dans un premier temps à dégager certains aspects des conditions de l'écoulement dans les différents sous bassins. Ces derniers se caractérisent par une très grande diversité lithologique et géologique (Pho. n°4) qui influent manifestement sur le régime des eaux superficielles.



Photos. n°4: Affleurements rocheux dans le Rif (commune d'Ouertzagh ; 2016(G) et les affleurements rocheux au Moyen Atlas (Aguelmane Sidi Ali; 2008) (D).

À l'issue de cette étude litho-géologique, il paraît nécessaire de dégager quelques remarques essentielles:

La majorité des formations litho-géologiques du bassin ont de par leur structure physique, une perméabilité différente. Les réserves en eaux souterraines sont liées essentiellement aux nappes superficielles des formations plio-quaternaires, (formations marneuses) au Rif et aux phénomènes karstiques des massifs calcaires au Moyen Atlas.

La formation géologique karstique du bassin de Sebou au niveau du Moyen Atlas favorise l'infiltration des eaux (phénomène de chiffonnage), ce qui retarde la réponse hydrologique du bassin. Par contre dans le domaine rifain, la formation argileuse empêche l'infiltration des eaux (phénomène de colmatage), ce qui accélère l'écoulement et la réponse hydrologique du bassin. Tout cela joue un rôle dans les caractéristiques des crues et leurs genèses, ce qui augmente le degré d'intensité du risque d'inondation.

Conclusion du 2^{ème} chapitre:

La situation géographique du bassin versant de Sebou au Nord-Ouest du Maroc est une donnée importante du point de vue hydroclimatique. D'une part le rôle orographique (chaîne du Rif et du Moyen Atlas) favorise l'écoulement et la formation des réservoirs d'eaux naturels du bassin, représentées par des oueds atlasiques et rifains, où les affluents sont des zones d'acheminement des eaux vers l'oued Sebou qui débouche vers l'Océan Atlantique. D'autre part, les formations imperméables occupent une grande partie du bassin, ce qui veut dire que le phénomène des crues et des inondations représente un risque majeur pour la zone aval du bassin au niveau de la plaine du Gharb, en particulier en provenance du secteur rifain, dont la raideur des pentes et le substrat imperméable aggravent la vitesse et l'intensité du drainage du réseau hydrographique. Dans le chapitre suivant, nous allons voir comment les facteurs bioclimatiques et anthropiques conditionnent de leur part l'hydrologie du bassin de Sebou.

TROISIÈME CHAPITRE:

Facteurs biogéographiques, bioclimatiques et anthropiques conditionnant l'écoulement du bassin de Sebou

Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons aborder les facteurs biogéographiques qui jouent un rôle déterminant dans le bilan infiltration-ruissellement. Ensuite, nous mettons l'accent sur le facteur anthropique à travers l'occupation des fonds des vallées, comme les carrières, et les zones urbanisées qui s'étendent de façon chaotique et sans censure. Conduisant à un changement continu de cours des vallées du bassin versant de Sebou, et ainsi contribuer au changement du régime hydrologique et l'accentuation des risques d'inondation.

3.1. Les facteurs biogéographiques

Le sol et le couvert végétal joue un rôle primordial sur l'écoulement. Car les plantes à travers leurs feuillages interceptent les gouttes des pluies et peuvent amortir la vitesse de chute. Les types du sol déterminent le degré de percolation des eaux vers la profondeur et de ce fait les caractéristiques du drainage superficiel. La répartition de ces deux facteurs influe d'une manière non négligeable sur l'irrégularité hydrologique dans un bassin versant.

3.1.1. Les caractéristiques édaphiques

Parmi les facteurs qui influencent la rapidité des crues et leurs volumes, il faut prendre en compte la nature du sol. Il s'agit d'un facteur qui contrôle le taux de l'infiltration et la répartition de la couverture végétale (TAOUS. A, (2005). En effet, le taux d'humidité, la capacité de rétention et les pertes initiales, sont tous en fonction du type de sol et de son épaisseur dans le bassin versant. Les formations végétales sont presque toujours une conséquence des types du climat, et les sols du Moyen Atlas paraissent moins épais, mais ils dépendent essentiellement de la roche-mère dont ils sont issus (DELEPOUTRE (1963).

Le bassin versant de Sebou se compose des caractéristiques édaphiques suivantes:

➤ **Les sols rouges**, bruns forestiers, ou rendziniformes se rencontrent dans tout le Moyen Atlas quelle que soit l'altitude ou l'exposition, que l'on soit proche de l'étage bioclimatique semi-aride, ou dans l'étage humide ou subhumide. Le facteur essentiel de la pédogenèse semble donc être la roche-mère dont la nature correspond de façon générale aux types des sols suivants :

- **Des rendzines dolomitiques** sur la dolomie sableuse du Lias inférieur ou du Lias moyen.

- **Des sols rouges** sur la dolomie compacte du Pliensbachien, sur les calcaires dolomitiques ou sur les calcaires compacts jurassiques.
- **Des sols bruns** forestiers sous forêts, ou des sols rouges dans les secteurs silvatiques, sur les basaltes.
- **Des rendzines calcaires** sur les marnes ou calcaires marneux de l'Aalénien et du Toarcien.
- **Des sols rouges** sur les dépôts colluviaux constitués généralement des éléments fins.

D'après MAYCHOU.S (2009), la plaine du Gharb est une cuvette qui s'est affaissée au quaternaire et dans laquelle se sont accumulés des sédiments continentaux très argileux. Plusieurs ensembles se dégagent dans la zone du Gharb, les plus importants sont :

➤ **Les Merjas**, vastes dépressions souvent inondées dont les sols sont très hydromorphes. Ces zones basses posent souvent des problèmes de drainage, mais sont aptes à la riziculture et aux cultures fourragères. La plaine proprement dite avec des sols plus ou moins argileux, principalement des tirs (Vertisols). Ces sols peu évolués sont favorables à la céréaliculture et au maraîchage. Dans la zone côtière, les sols devenant plus sableux permettent des cultures sous abris (Bananiers, Fraisiers,...) et la culture de la cacahouète.

➤ **Les zones de levées alluviales**, avec des sols moins argileux, constituent essentiellement des Dehs (Ce sont des alluvions assez bien drainées), situés surtout le long des principaux oueds, ils sont assez facilement drainés et se prêtent à une vaste gamme de culture (Cannes à sucres, Betteraves, Céréales, Tournesol, etc...)(Kili et al. 2007). Ce vaste ensemble, aux caractéristiques pédologiques variées et au fort potentiel agricole, fait de la plaine du Gharb l'une des grandes régions agricoles du Maroc.

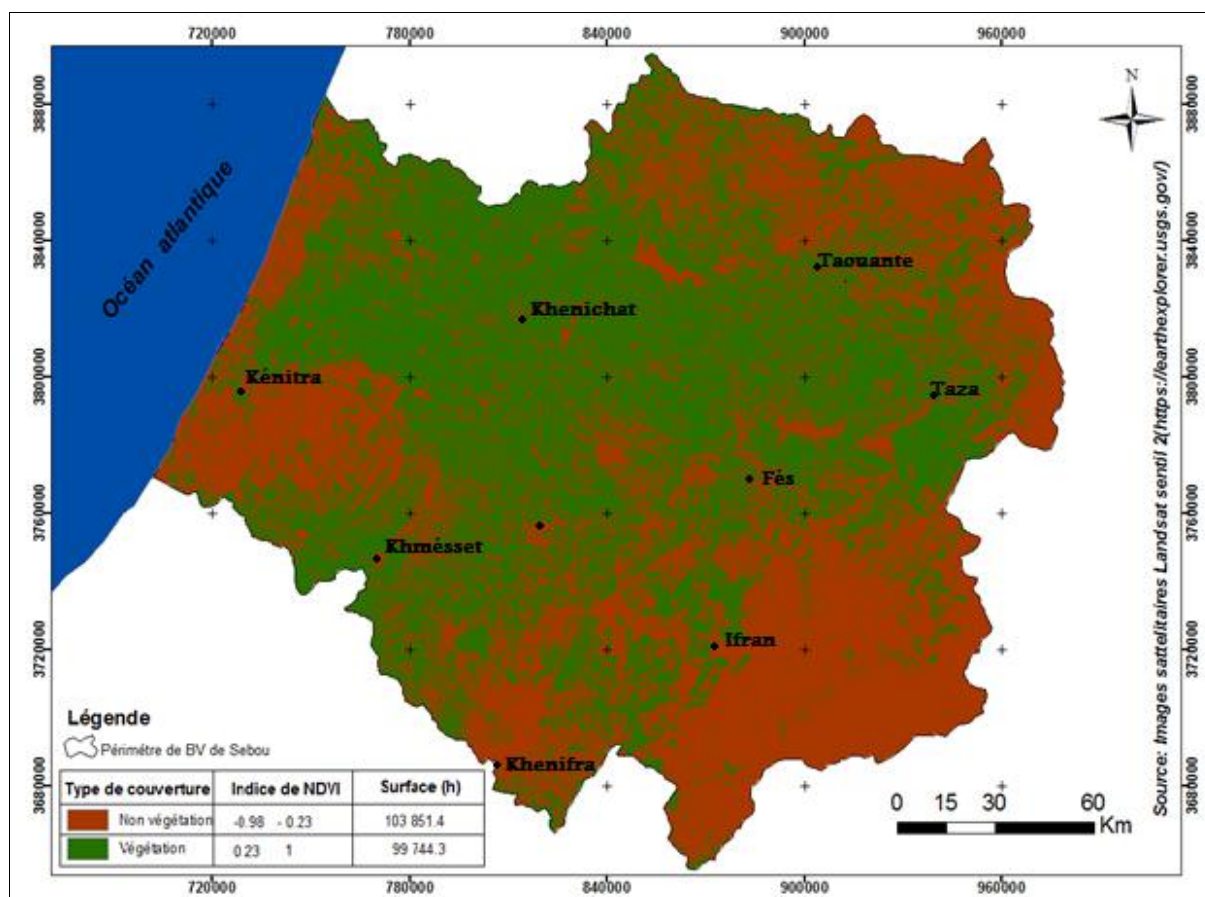
3.1.2. Indice de végétation (NDVI) et répartition des formations végétales

L'indice de végétation par différence normalisé, appelé aussi NDVI est construit à partir des canaux rouges (R) et proches infrarouges (PIR). L'indice de végétation normalisé met en valeur la différence entre la bande visible du rouge et celle du proche infrarouge :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R})$$

Cet indice est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation. Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles ont des valeurs de NDVI positives, généralement dans le bassin de Sebou comprises entre 0,23 et 1. Les valeurs les plus élevées correspondantes aux couverts les plus denses.

La carte n°10 présente les surfaces de la végétation dans le bassin qui atteint 99 744,3 hectares selon l'indice NDVI calculé sur une période de 9ans. On remarque que les fortes valeurs de cet indice sont enregistrées pour les massifs forestiers de Maâmora à l'ouest et dans les versants Nord-Ouest de Moyen Atlas et le Rif, particulièrement les valeurs concentrées dans les sommets de ces montagnes, alors que les faibles valeurs sont concentrées dans les versants Sud et notamment au Sud de la forêt de Jbel Tichoukt, Jbel Saghla, Jbel Bou Iblane, et dans la forêt de Jbel Michlifén. Ces zones sont nues (Sans-végétation) à cause du défrichement et aux effets de la sécheresse climatique.



Carte. n°10: Indice de la végétation (NDVI) dans le Bv de Sebou.

Au Nord du bassin, les zones forestières (Forêt de Jbel Ouedka) sont entachées par des endroits dénudés (pho.n°5) à cause de la succession des années sèches, ou à partir des opérations de défrichement et de surpâturage.

Au niveau hydrologique, le couvert végétal intervient à deux niveaux, d'une part dans le bilan, infiltration et ruissellement, d'autre part le bilan infiltration-évapotranspiration. Ainsi il est nécessaire d'étudier les types de végétations pour apprécier l'impact sur les écoulements de l'oued Sebou et de ses affluents. D'après TRICART J (1963), nous reprendrons les trois grandes catégories de type de couvertures végétales dans le bassin :

➤ **Les surfaces bien protégées**, ce sont les surfaces qui bénéficient d'une couverture végétale plus ou moins dense, permanente et plus spécialement les forêts, ces dernières

protègent le sol contre l'érosion et la concentration rapide des eaux. Le long du bassin versant de Sebou se dispersent les principales forêts suivantes (carte. n°11):

• **Forêt du Rif**, localisée aux versants Nord du bassin de Sebou dans le massif rifain, cette forêt est composée de cèdres, chênes verts, chênes lièges, chênes zen, et conifères. La forêt du Rif a subi une régression de l'ordre de 25% de son couvert végétal durant les dix dernières années, entraînant des risques accrus de glissement de terrain et menaçant les moyens de subsistance des habitants selon le programme des nations unies pour le développement.



Photos. n°5: La dégradation de la forêt du Rif (Beni Ouled 2017).

La forêt du Rif a connu une forte dégradation à cause des effets du changement climatique qui a rendu vulnérable une région pourtant forte et riche avec un massif forestier de plus de 2000 espèces. En outre, le Rif doit faire face à une forte pression démographique, impliquant d'importants besoins en bois de chauffe pour l'alimentation en énergie des foyers domestiques traditionnels (jusqu'à 12kg/jour par famille) ou encore des hammams (jusqu'à 4000 tonnes/jour). À cela viennent s'ajouter les pratiques agricoles inadaptées aux zones pentues du Rif (culture de cannabis), qui contribuent à la perte de la fertilité des sols, renforçant la vulnérabilité au changement climatique (PNUD, 2015).

• **Forêt du Moyen Atlas** (pho.n°6) et (carte. n°11): située aux versants Sud-Est du bassin de Sebou, elle est composée des formations végétales denses de chênes lièges, chênes zen, conifères et cèdres (Sous influences humides) situées, en majeure partie, sur les causses occidentaux avec une orientation de versants humides et dans une moindre importance, sur les hautes altitudes du bassin, qui rassemble les arbustes clairs (Effets anthropiques et surpâturages). Cependant les formations sèches sont réparties sur les causses abrités du Moyen Atlas plissé et ses bordures (JENNAN. L, 2004 et MAZOZ .L 2015). Sur le plan altitudinal, le Moyen Atlas est caractérisé par la présence des formations végétales suivantes:

✓ Cédraie-chênaie verte en haute altitude. Elle est observée au niveau de Jbel Tichoukt, Jbel Msioujène, Jbel Saghla, Jbel Bou Iblane (Tafferte), Ain Kahla, Jbel Habri, Jbel Michlifen et dans la forêt d'Aghbalo Larbi.

✓ Tetraclinaie-Juniperaie en basse altitude (1000-2000m), le thuya qui se mélange avec le genévrier rouge forme la haute strate alors que le romarin (*Rosmarinus officinalis*) forme le plus souvent la basse strate dominante presque la totalité de la Tetraclinaie.

✓ Le Pin d'Alep apparaît sous forme d'îlots sur des étendues limitées le long des vallées et sur des falaises dans le canton de Tichoukt.

✓ Le genévrier s'étend sur les zones de haute altitude, très dégradées. Il est particulièrement localisé dans la forêt d'Ain Nokra, Jbel Tichoukte, Jbel Bou Iblane, il est marqué, généralement, par un état de dégradation très avancé.

✓ La forêt du Moyen Atlas a connu une forte dégradation à cause de la surexploitation des ressources forestières, des pratiques agro-pastorales intensives et suite à la fréquence accrue des années sèches lors des deux décennies quatre-vingt et quatre-vingt-dix qui ont aggravé sa vulnérabilité devant le manque des précipitations pluvieuses et neigeuses.



Photos. n°6: Défrichement de la forêt du Moyen Atlas et sa diversité végétale (2019).

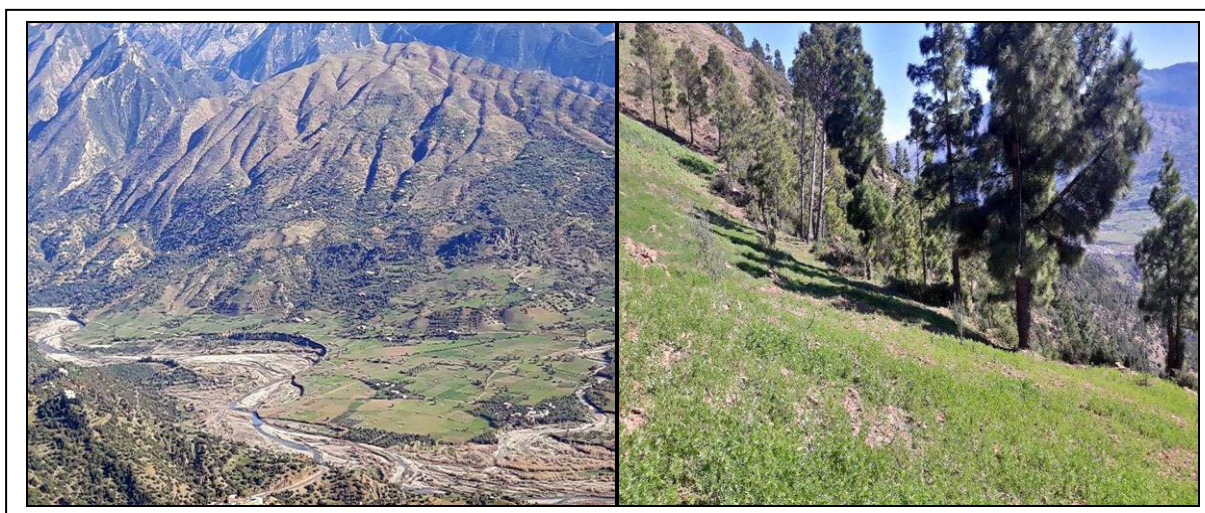
- **Forêt de Maâmora** est située à l'ouest du bassin de Sebou dans la plaine du Gharb. C'est une forêt artificielle composée des chênes lièges et d'eucalyptus (pho. n°7).



Photos. n°7: La subéraie de la Maâmora (2019).

➤ **Les surfaces incomplètement protégées**, ce sont les surfaces partiellement nues en permanence et les surfaces saisonnièrement protégées, dont les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives. Il s'agit généralement des terres de culture destinées soit pour la céréaliculture qui occupe densément le sol pendant une période de l'année, soit de l'arboriculture qui laisse le sol nu en permanence entre les arbres. Ainsi la pratique de la jachère nue est dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection.

L'irrigation permet la culture du maraichage sur les terrasses et les cônes de déjections, les pentes étant cultivées en céréales. Les basses montagnes rifaines et les collines pré-rifaines, et la plaine de Sais sont caractérisées par les grandes populations d'oliviers et l'extension des céréales (pho.8).



Photos. n°8: Un substrat rifain plus dénudé de végétation (2017).

➤ **Les surfaces mal protégées ou nues**, elles englobent les terrains dénudés, les terrains de parcours taillis et broussailles à faible densité de recouvrement, où le ruissellement

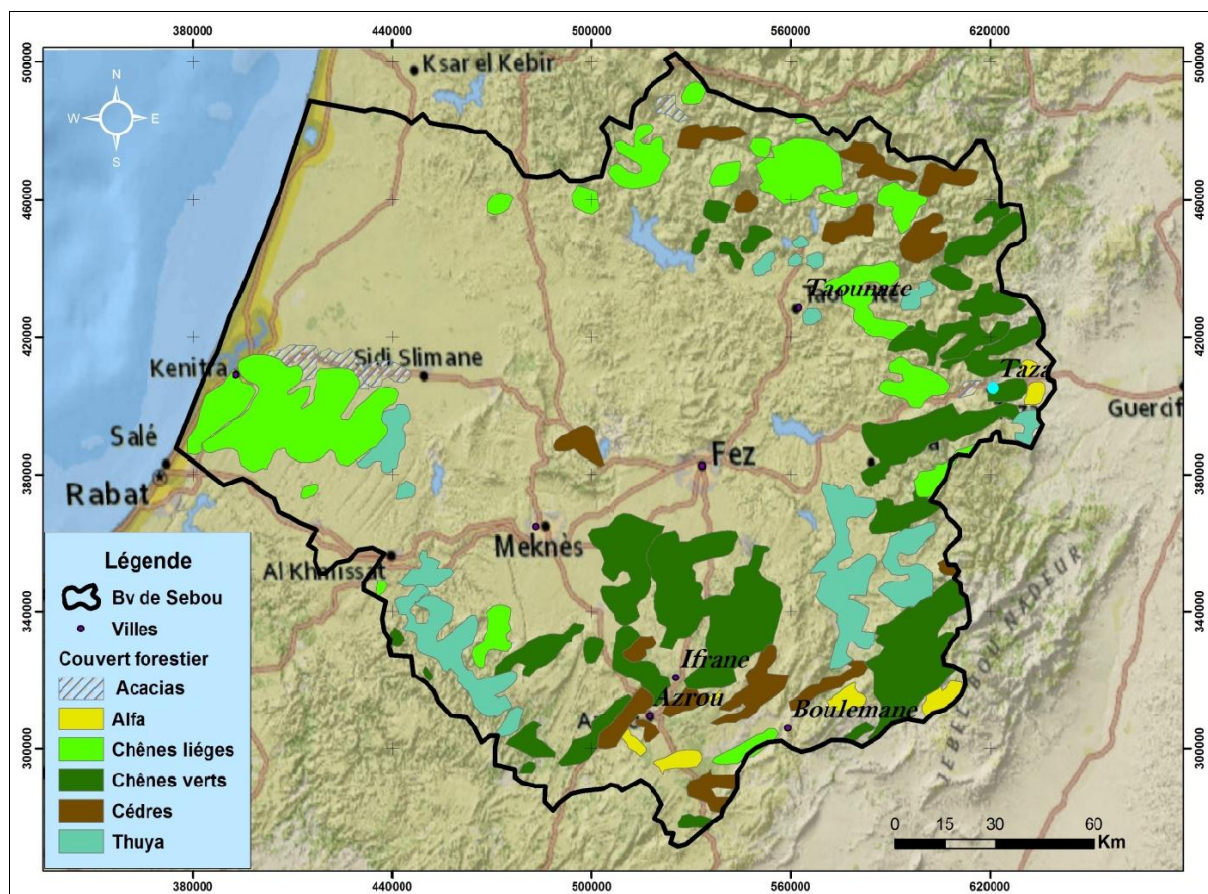
et l'érosion hydrique sont largement favorisés, surtout dans les terrains dénudés imperméables et sur les terrains de parcours fortement pâturés.

Les surfaces occupées par des plantes pendant seulement une période de l'année (couverture végétale saisonnière), assure une protection faible du sol contre la remontée rapide des crues, la céréaliculture occupe les versants de pré-rif et le domaine de Meseta au Sud-Ouest. Les terrains dénudés occupent les piedmonts, les vallons et les massifs montagneux, où on trouve aussi des formations rocheuses occupées par des buissons dans le domaine du Moyen Atlas et le Rif.

La végétation dominante dans la plaine du Gharb est constituée de plusieurs typologies différentes de couvert végétal, l'oléastre, doum et lentisque ... La disparition des forêts a laissé place aux terrains nus relativement importants, qui n'assurent aucune protection du sol bien au contraire; c'est un terrain favorable aux inondations.

Du fait que les terres destinées aux cultures sont généralement sans végétations où les pluies de la saison froide agressent par leur intensité le sol, le ruissellement se constituant rapidement, n'est freiné par aucun obstacle végétal, ce qui augmente les actions érosives. Ces types des surfaces sont les plus dominantes dans le bassin versant de Sebou, toutefois dans les secteurs karstiques du bassin (Moyen Atlas) elles ont un pouvoir de rétention souterrain important, comme en témoignent les débits des résurgences se trouvant aux pieds des montagnes du Moyen Atlas.

La discontinuité ou l'absence totale de la couverture végétale favorise l'écoulement superficiel donc la genèse des crues, sous l'effet de la forte intensité de pluie. En revanche la présence du couvert végétal est profitable à l'équilibre hydrologique du bassin. En outre, sa discontinuité, ou son absence totale constitue un facteur favorable à l'irrégularité des débits et à la genèse de fortes crues, surtout sur les terrains à fortes pentes dans les versants du pré-rif et là où les sols sont très sensibles au ruissellement direct.



Carte. n°11: Le couvert forestier du bassin versant de Sebou.

3.2. Les caractéristiques climatiques du bassin

Le type du climat joue un rôle de premier ordre sur l'hydrologie d'un bassin versant. En effet celui-ci agit par ces divers paramètres (pluies, température, humidité, insolation...) qui donne à l'écoulement les conditions qui lui sont propres à côté des autres paramètres physiographiques et géologiques. En véhiculant la ressource en eau entrante et le degré d'évapo-ration, elles sont un élément essentiel dans le bilan hydrologique. Selon les données dont on dispose nous allons essayer de faire une analyse qui montre certaines caractéristiques climatiques du bassin.

3.2.1. Le contraste spatio-temporel des températures

Dans cet axe nous allons traiter le régime thermique mensuel pour quelques stations du bassin versant de Sebou. Cependant en raison du manque des données, nous nous référons à certaines stations, dont nous disposons des informations sur ce facteur principal du climat.

La répartition des températures à l'échelle globale est conditionnée par la latitude et l'attitude de la zone d'étude, la distance à la mer et les changements atmosphériques engendrés par l'alternance de types de temps apportant des masses d'air variables thermiquement. Dans le bassin versant de Sebou, le grand dénivelé des terrains (2794 m) crée un grand contraste thermique entre l'amont et l'aval. Pour étudier les températures, nous

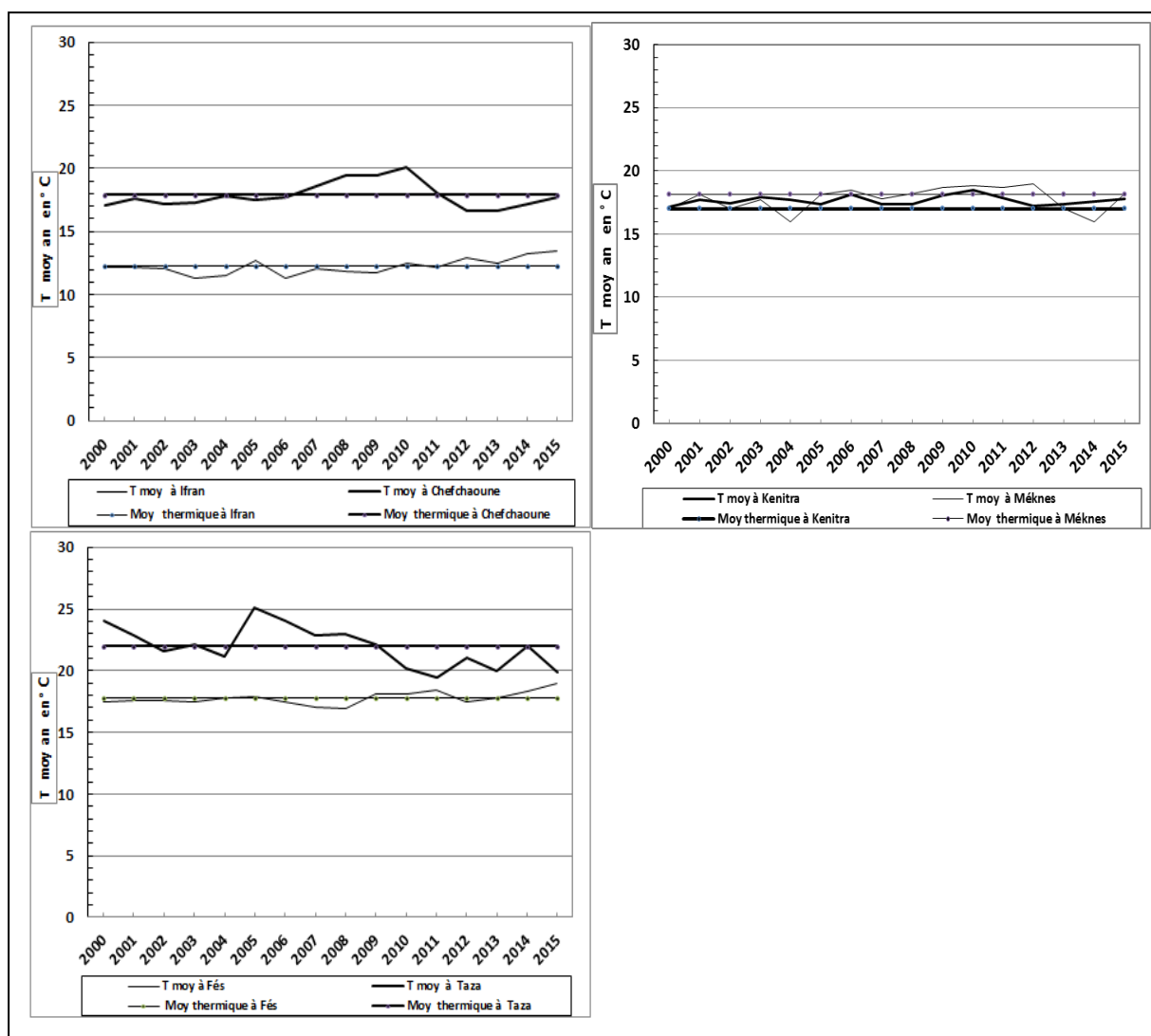
avons essayé de comparer les données thermométriques des stations de Fès (579m), Ifrane (1664m), Chefchaouene (300 m), Taza (509m), Meknès (576 m) et Kenitra (5 m).

3.2.1.1. Variation des températures moyennes annuelles

Les températures moyennes annuelles fluctuent d'une année à une autre selon les caractéristiques climatiques de chacune d'elles. En effet ce paramètre dépend des différents types de circulation alternant sur le bassin pendant la saison fraîche de l'année. Ainsi une importance accrue de masses d'air septentrionales maritimes ou continentales se répercutera sur la baisse de la moyenne thermique annuelle. En revanche une influence importante des masses d'air méridionales va permettre aux températures annuelles de grimper un peu plus. Ainsi dans la figure n°9 on peut prendre une idée sur cette évolution des températures moyennes annuelles pour certaines stations comme Fès, Ifrane, Chefchaouen, Taza, Meknès et Kénitra.

Selon les données représentées dans le graphique les températures moyennes annuelles affichent 17,76°C à Fès, 12,23°C à Ifrane, 18,01°C à Chefchaouene, 21,67°C à Taza, 17,64°C à Kenitra, et 18,14°C à Meknès. Si on prend en considération quelques années comme exemple on peut dire que 2009 se positionne comme l'année la plus chaude avec 18,97°C à Fès, 13,46°C à Ifrane. Cependant nous constatons que les valeurs annuelles de Chefchaouene entre 2006 et 2010 dépassent ceux Fès où on enregistre 20,1°C en 2010. Cela est peut-être dû à un effet moins continental par rapport à Fès.

Pour les autres stations, les valeurs de Taza sont supérieures à ceux de Meknès et Kenitra. On explique cette situation d'abord par l'effet de l'éloignement de la mer et d'autre part à la situation de Taza sur une altitude plus élevée et dans un couloir qui, en été canalise des vents chergui très chauds qui font augmenter la température pendant cette saison. Ainsi l'année 2005 est l'année la plus chaude à Taza avec 25,1°C, par contre à Meknès c'est l'année 2012 avec 19°C. En ce qui concerne les années les plus froides on relève 2008 à Fès avec 17°C, 2006 à Ifrane avec 11,3°C, 2013 à Taza avec 18,97°C et Chefchaouene avec 16,7°C.



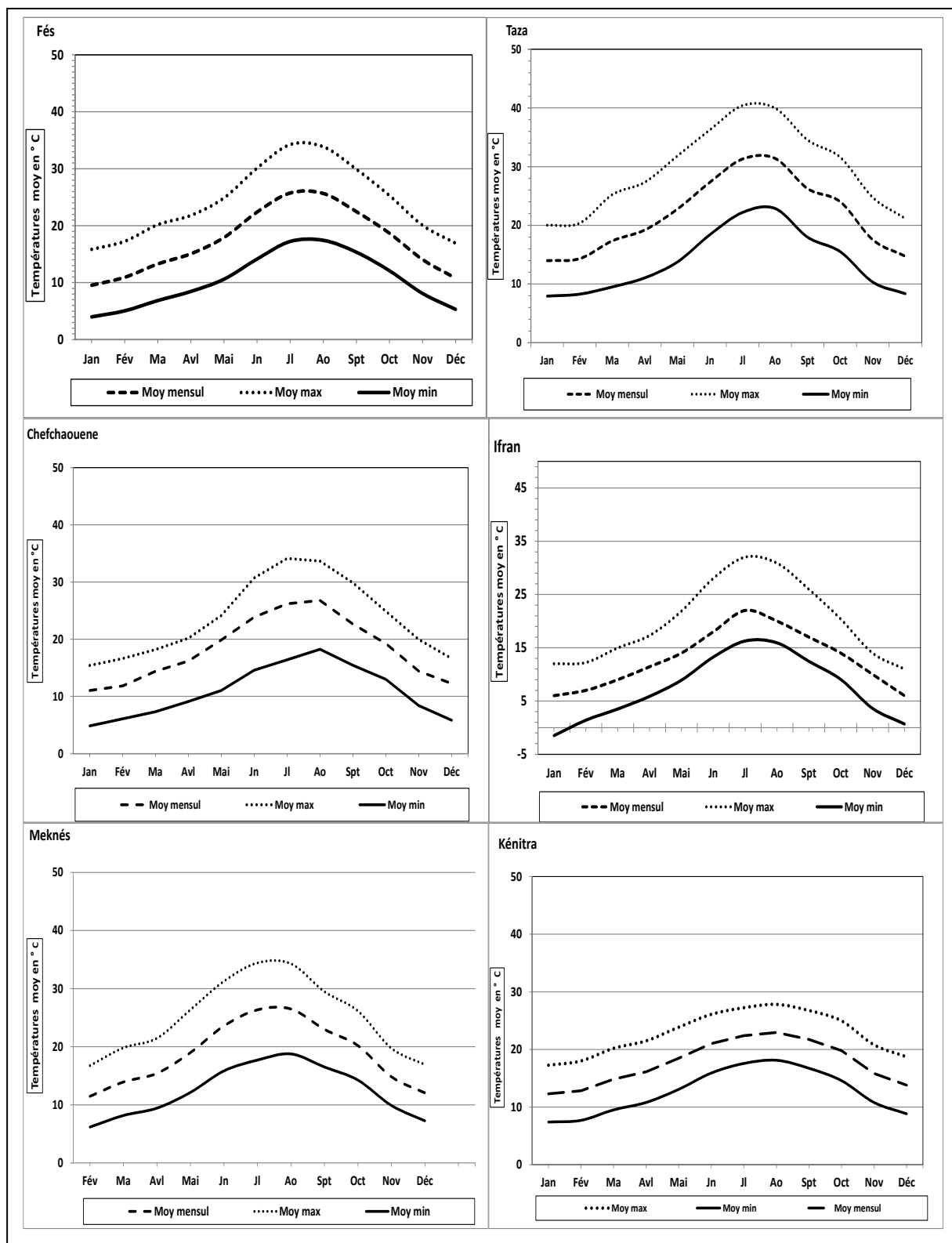
Figures. n°9: Températures moyennes dans quelques stations du Bv de Sebou (2000 - 2015).

Finalement c'est la station d'Ifrane qui se dégage par rapport aux autres grâce à ces températures les plus basses dans le bassin de Sebou seulement 12,2°C comme moyenne annuelle. En effet c'est une station qui se trouve à une altitude supérieure à 1500m et bénéficie d'un climat rigoureux en hiver marqué par des chutes de neige où les températures peuvent descendre facilement en dessous de 0°C. En été les valeurs thermiques journalières sont plus modérées à cause de l'altitude mais également elles peuvent être influencées par une fréquence importante des temps orageux pendant cette saison.

3.2.1.2. Le régime thermique mensuel

Le régime thermique moyen des différentes séries d'observations adoptées est illustré par la figure n°10. Ces dernières montrent que les températures moyennes, maximales et moyennes minimales mensuelles sont variables entre l'amont et l'aval. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées à la station de Taza ayant respectivement: 31,4°C, 40,4°C, et 22,9°C et les plus basses concernant la station d'Ifrane à cause de l'altitude élevée (1664m); 13,3°C, 20°C, et 5,4°C. Mais en aval du bassin de Sebou, la station de Kenitra a enregistré des valeurs

modérées, en raison des effets maritimes océaniques; qui sont respectivement: 27,8°C, 22,93°C, et 18,1°C.



Figures. n°10: Variation des températures moyennes mensuelles dans quelques stations du Bv de Sebou (2000-2015).

La première remarque concerne la répartition des mois froids et des mois chauds, décembre, janvier et février constituent le triplet le plus froid (saison froide) avec une

moyenne minimale en janvier de 3,98°C à la station de Fès, 7,9°C à Taza, 7,4°C à Kenitra, 5,2°C à Meknès, et 4,8°C à Chefchaouene et au mois de février -0,57°C à Ifrane. Les mois juin, juillet, août et septembre forment la saison chaude avec une moyenne maximale autour de juillet avec 34,24°C à Fès, 34,4°C à Meknès et 34,1°C à Chefchaouene.

Le régime thermique étudié est le reflet des caractéristiques du climat méditerranéen avec une saison fraîche en hiver, et chaude en été. Les types de temps froids peuvent être expliqués par l'influence des masses d'air septentrionale continentale. Elles sont en relation avec l'étalement de la dorsale anticyclonique vers le sud de l'Europe par l'anticyclone sibérien qui permet de déplacer de l'air polaire continental vers le bassin. En été, c'est l'inverse, les masses d'air chaudes tropicales dominant, mais la température de l'air varie selon l'origine de ces masses d'air; de l'Atlantique elles sont humides et plus fraîches, celles émanant de la dépression saharienne sont plus chaudes surtout lorsque les vents de « **Chergui** » franchissent les montagnes du Moyen Atlas, et descendent vers le bassin du Sebou en créant un effet du Foehn, responsable d'une augmentation des températures maximales qui peuvent dépasser facilement 40°C.

3.2.1.3. Les indices bioclimatiques du bassin

3.2.1.3.1. Le degré d'aridité et étage bioclimatique

Pour évaluer le degré d'aridité, plusieurs formules et indices ont été élaborés. Parmi eux, l'indice le plus utilisé est celui de De Martonne (1942). Il est fonction de la hauteur annuelle des pluies (P en mm) et les températures moyennes annuelles (T°C):

$$ID = P/T + 10$$

Tableau. n°12: Indices de De Martonne dans le bassin du Sebou.

Stations	P	T	I	Type de climat
Fès	418	27,2	11,2	Semi-humide
Ifrane	884,6	11,8	40,6	Humide
Taza	579	21,7	18,3	Semi-aride
Meknès	732,9	18,1	26,1	Semi-humide
Kenitra	583,6	17,7	21,1	Humide

Sur le plan bioclimatique, le quotient pluviothermique est une autre façon d'approcher le bioclimat du bassin, ou de délimiter "**les étages bioclimatiques**" définis par Em-MBERGER. L, (1971) qui a proposé l'indice suivant pour les climats de la région méditerranéenne :

$$Q = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Nous avons adopté la formule élaborée par STEWART (1968) pour l'Algérie et le Maroc, soit¹³ :

$$Q2 = 3,43 (P/M-m)$$

À partir du climagramme pluviothermique Em-MBERGER (Fig.n°11), le bassin versant de Sebou se développe sur trois étages bioclimatiques, à savoir : l'humide qui constitue les régions des montagnes (Ifrane) et les plaines (Kenitra) du bassin versant, le subhumide dans la région de Meknès et le semi-aride constitue la région de Sais et de Pré-Rif. Cela explique le contraste du couvert forestier entre l'amont et l'aval.

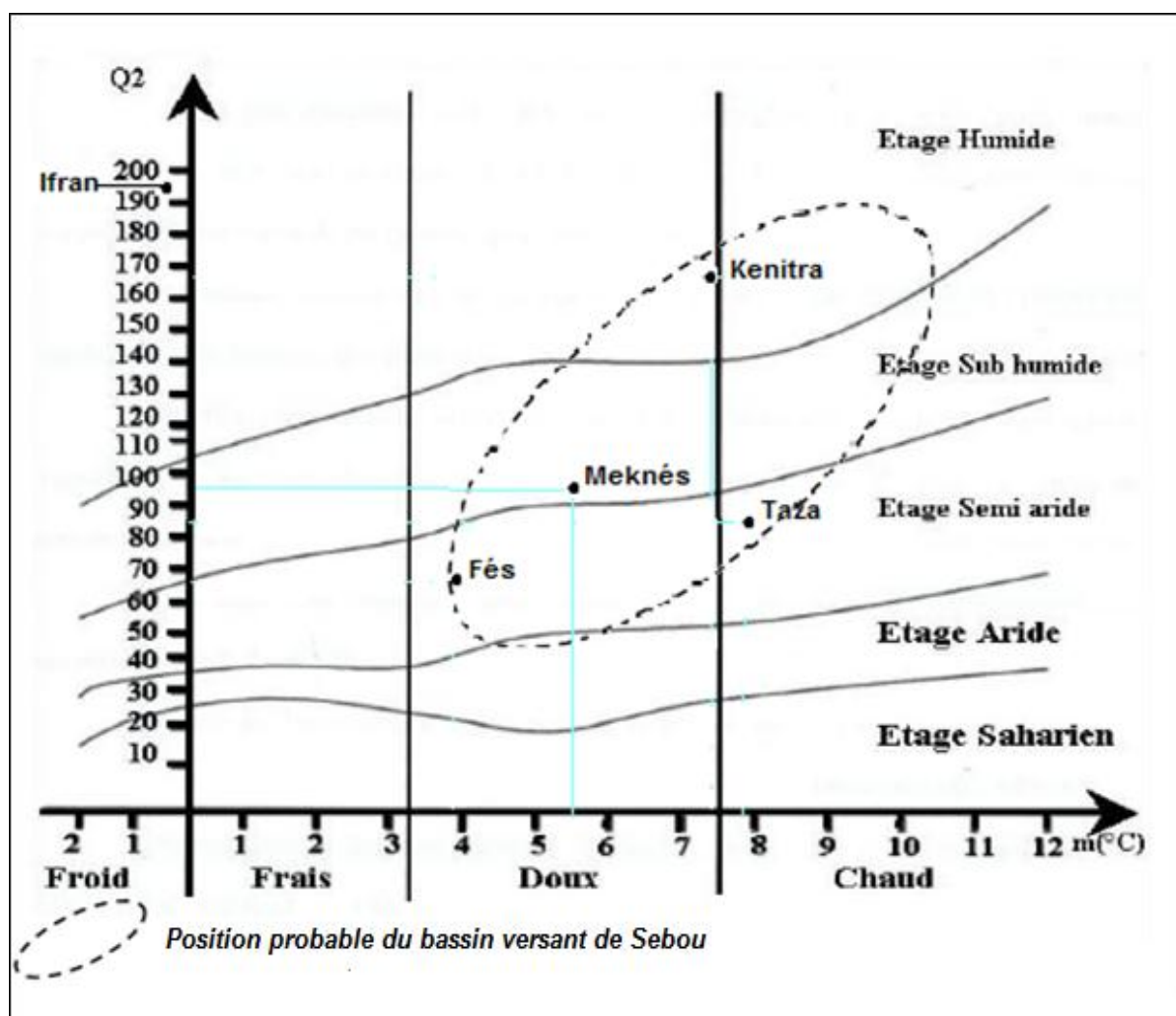
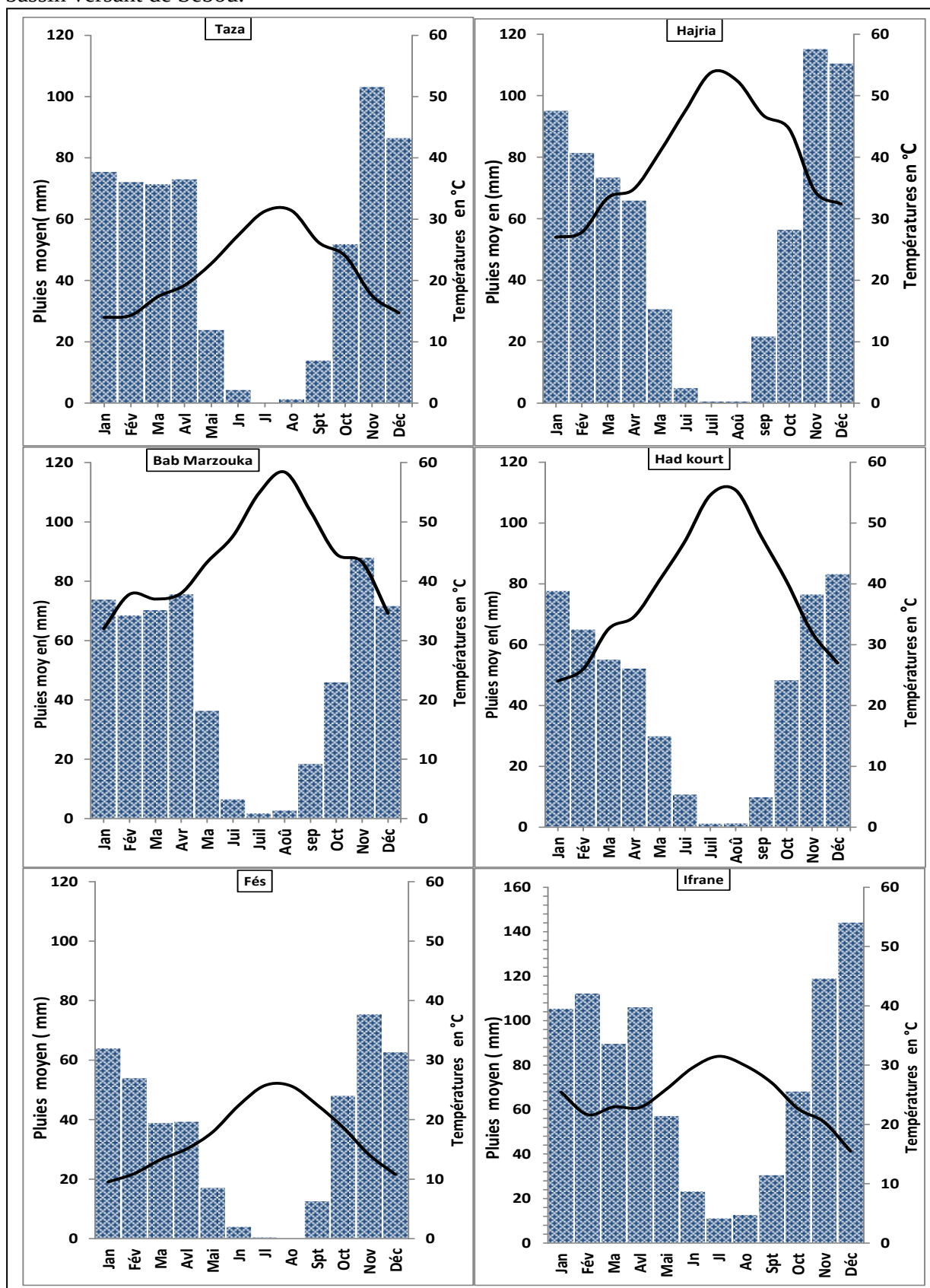


Figure. n°11: Climagramme d'Em-MBERGER.

Dans la même logique, les diagrammes ombrothermiques de Fès, Taza, Had Kourt et Hajria (Fig.n°12) montrent que la saison sèche dure cinq mois de mai à septembre. En effet l'intensité de la sécheresse augmente au mois de juillet et août à cause de la température

¹³ : **Q** : quotient pluviométrique d'Emberger ;
P : moyenne des précipitations annuelles en mm ;
M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °K en (Kelvin m) ;
m : moyenne des minima du mois le plus froid en °K en (Kelvin m) ;

élevée d'été et une pluviométrie faible. Mais à l'amont du bassin à la station d'Ifrane, la période sèche dure seulement trois mois. Pour la période humide, elle s'étend en général d'octobre à avril. Les mois les plus humides sont : novembre, décembre et janvier dans le bassin versant de Sebou.



Figures. n°12: Diagramme ombrothermique dans quelques stations du Bv de Sebou (2000-2015).

3.2.1.3.2. Indice de standardisé de précipitations (ISP) et leur fréquence

Vu l'importance de la variabilité spatiale des pluies dans notre bassin, nous avons calculé l'indice standardisé des précipitations **ISP** (Tab. n°13 et 14) pour différentes stations au cours de la période d'étude. Cet indice a été développé en 1993 par McKee et al en vue de caractériser les déficits pluviométriques pour une période donnée.

Les données pluviométriques constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice **SPI** se révèle lui aussi efficace pour définir les périodes humides que les périodes sèches. Il est possible de calculer l'indice pour diverses échelles de temps, celui-ci permettant de déterminer les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité.

Le calcul de l'indice **SPI** en un lieu quel que soit, est basé sur un historique des pluies sur une longue durée correspondant à la période étudiée. Les valeurs positives de l'indice **SPI** indiquent des pluies supérieures à la moyenne et les valeurs négatives, des pluies inférieures à celui-ci. Étant donné que l'indice est normalisé, il est possible de représenter de la même manière les climats humides et les climats arides. Cet indice est exprimé de la manière suivante ¹⁴:

$$\text{IPS} = (\text{Pi} - \text{Pm}) / \sigma.$$

McKee et al(1993), utilisent la classification du tableau. n°13, afin de définir l'intensité de la sécheresse à l'aide d'**ISP**. Selon l'auteur, une sécheresse sévit lorsque l'ISP est consécutivement négatif et que sa valeur atteint une intensité de **-1** ou moins et se termine lorsque l'ISP devient positif. La magnitude de la sécheresse est obtenue en additionnant toutes les valeurs de l'ISP d'une période sèche.

Tableau. n°13: Sévérité de l'indice de standardisé des précipitations.

IPS	Catégorie de sécheresse
2,0 et plus	Extrêmement humide
1,50 à 1,99	Très humide
1,0 à 1,49	Humide
-0,99 à 0,99	Normal
-1,0 à - 1,49	Modérément sec
-1,50 à -1,99	Sévèrement sec
-2,0 et moins	Extrêmement sec

L'analyse fréquentielle en matière d'évaluation de l'indice standardisé durant la période entre 1980-81 et 2013-14 dans le bassin de Sebou indique un pourcentage moyen de

¹⁴ **Pi** : les précipitations de l'année ;
Pm : la moyenne de précipitations ;
σ: la déviation standard ou écart type ;

72,15% d'années normales humides et 12,33% d'années sèches, dont 10,27% représente une sécheresse modérée, 1,83% sévèrement sec et 0,23% extrêmement sec.

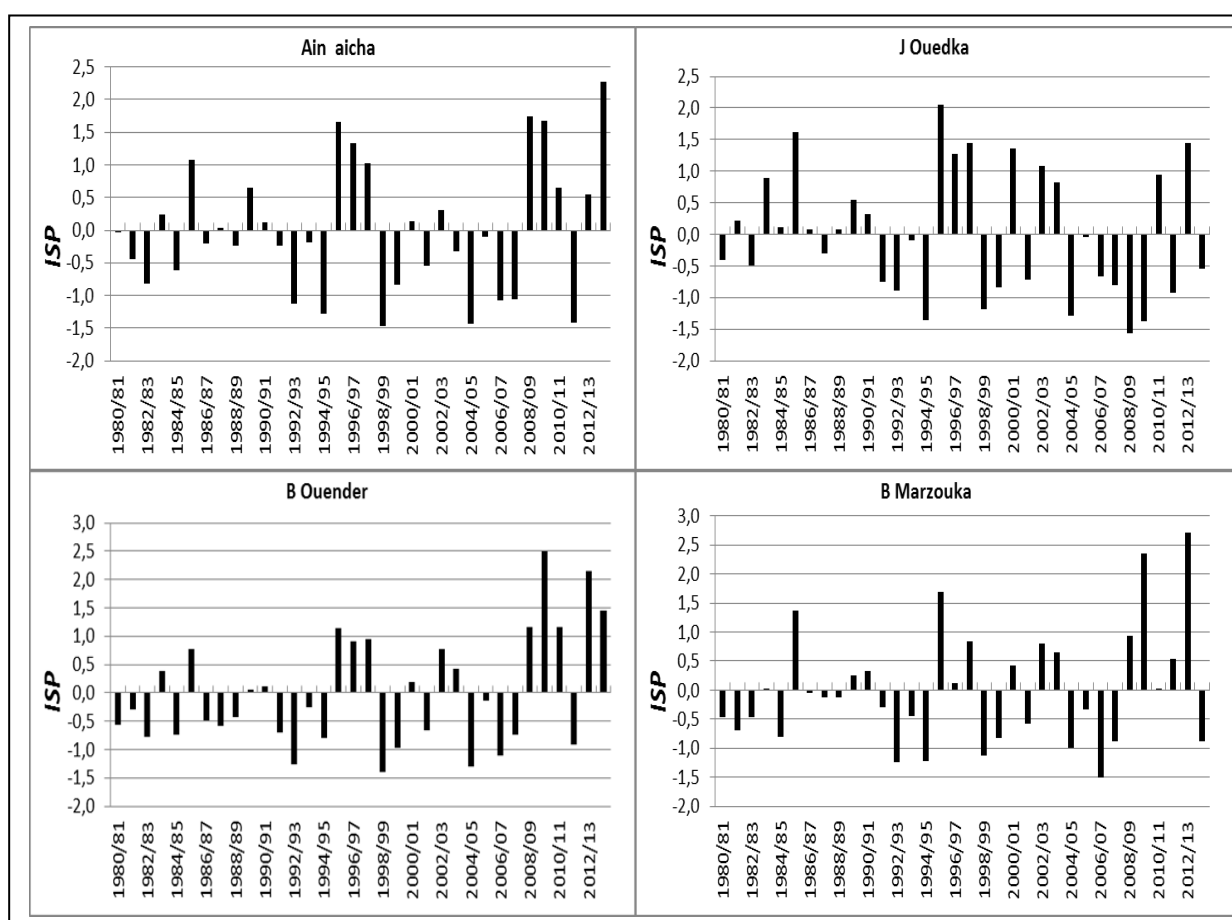
Tableau. n°14: Fréquence (%) de l'indice de sécheresse (IPS) à l'échelle du bassin versant du Sebou pendant la période (1980-81/2013-14).

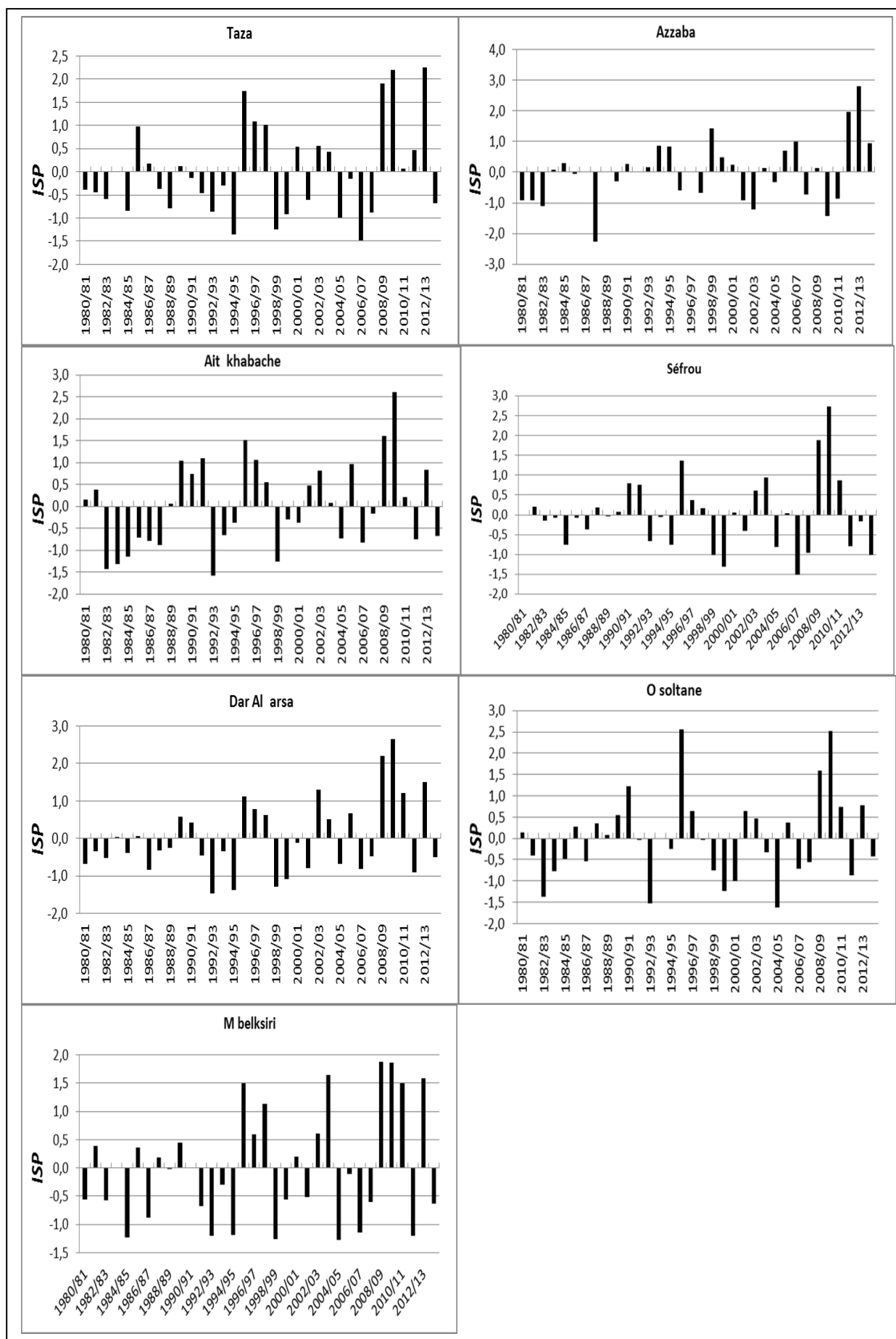
ISP Stations	Extrêmement humide		Très humide		Humide		Normal humide		Modérément sec		Sévèrement sec		Extrêmement sec	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Ait khabache	1	2,94	2	5,88	3	8,82	23	67,65	4	11,76	1	2,94	-	-
Azzaba	1	2,94	2	5,88	2	5,00	25	73,53	3	8,80	-	-	1	2,94
Séfrou	1	2,94	1	2,94	1	2,94	27	79,41	3	8,82	1	2,94	-	-
Ifrane	2	5,88	1	2,94	4	11,76	21	61,76	6	17,65	-	-	-	-
B Ouender	2	5,88	-	-	4	11,76	25	73,53	3	8,82	-	-	-	-
J Ouedka	1	2,94	1	2,94	5	14,71	22	64,71	4	11,76	1	2,94	-	-
Tabouda	3	8,82	-	-	-	-	31	91,18	-	-	-	-	-	-
A Aicha	1	2,94	3	8,82	3	8,82	20	58,82	7	20,59	-	-	-	-
B Marzouka	2	5,88	1	2,94	1	2,94	26	76,47	3	8,82	1	2,94	-	-
Taza	2	5,88	1	2,94	3	8,82	25	73,53	3	8,82	-	-	-	-
Fès	1	2,94	1	2,94	3	8,82	24	70,59	3	8,82	2	5,88	-	-
Dar Al Arsa	2	5,88	1	2,94	3	8,82	24	70,59	4	11,76	-	-	-	-
O Soltane	2	5,88	1	2,94	1	2,94	25	73,53	2	5,88	3	8,82	-	-
M Belksiri	-	-	6	17,65	1	2,94	20	58,82	7	20,59	-	-	-	-

Les autres années humides à extrêmement humides représentent 15,53%, dont 4,34% extrêmement humide et très humide et 6,85% humides (Tab. n°13 et Fig.n°14).

Cependant, le plus remarquable c'est que les périodes excédentaires sont plus étendues dans les domaines rifains et Prérifains, Moyen Atlas (Ifrane) et à la région du Gharb par rapport à la zone d'Azzaba, Séfrou, Fès et Oueljet Soltane. À titre d'exemple, la station de Mechrâa Belksiri a enregistré 17,65% d'années très humides, 58,82% d'années humides et 17,65% d'années modérément sèches.

Ainsi d'après l'indice standardisé de précipitation (ISP) et selon les stations étudiées, les périodes humides et sèches détectées ont une durée variable entre les zones du bassin versant de Sebou. L'examen de celui-ci nous a permis de relever 10 événements d'années humides comme celles: 1996-97, 1997-98, 2008-09, 2009-10, 2012-13. Les années quatre-vingt ont connu un déficit pluviométrique presque dans toutes les stations du bassin de Sebou. Ce déficit est principalement marqué au cours des années quatre-vingt-dix, mais avec une alternance de séquences humides et sèches au niveau des stations étudiées. Mais la décennie deux milles a connu aussi l'une des années les plus humides dans le bassin, c'est le cas des deux années 2008-09 et 2009-10. Dans l'axe suivant, nous allons étudier le rôle du facteur anthropique et son influence sur l'écoulement au sein du bassin versant de Sebou.





Figures. n°13: Indice de sécheresse (IPS) à l'échelle de bassin versant du Sebou.

3.3. Facteur anthropique et son rôle d'amplification du risque d'inondation

Les risques des inondations ne sont pas liés à des facteurs naturels, mais également à des facteurs anthropiques qui conduisent souvent à la genèse des crues inondables dans les vallées de l'oued de Sebou et de ses affluents. À cet égard, nous ne pouvons pas négliger le rôle des populations, et leurs activités dans l'aggravation de ce type de risque. En effet l'exploitation et l'occupation de fond des vallées, comme les activités de l'agriculture, les extensions urbaines, les infrastructures routières et les ouvrages hydrauliques (Barrages, canaux d'irrigation ...), conduisent à un changement continu des cours d'eau, et ainsi ils contribuent à l'aggravation des aléas liés aux inondations.

3.3.1. L'accroissement démographique

Le bassin de Sebou est le deuxième bassin le plus peuplé du royaume, il compte 11163 338 d'habitants et 191376 de ménages (2014), soit 32,99% du total de la population marocaine (Tab. n°15).

Tableau. n°15: Répartition de la population par Préfecture / Province dans le Bv de Sebou.
(ABHS, 2007) et (RGPH : 2004 et 2014).

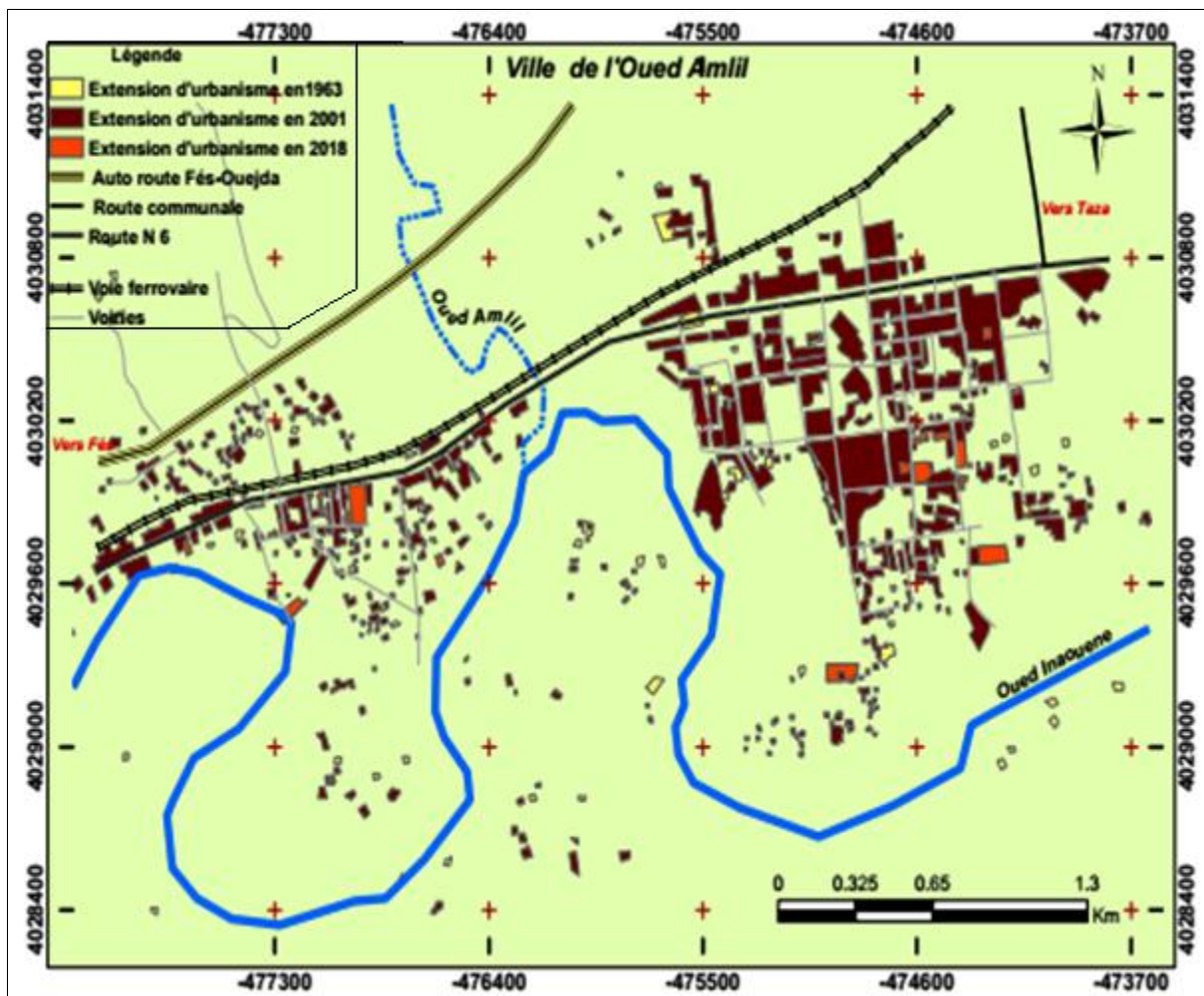
Préfectures et provinces	Populations et ménages (2004)		Populations et ménages(2014)		Taux d'accroissement
	Populations	Ménages	Populations	Ménages	
Fès	977 946	199 285	1 150 131	265 036	15%
Meknès	713 609	145 909	1 120 727	271496	36,3%
Kenitra	1 167 301	203 959	1 061 435	214 640	-9,06%
Khemisset	521 815	102 996	542 221	122 144	3,7%
Sidi Kacem	692 239	121 497	691 225	37 769	-0,14%
Ifrane	143 380	29 820	155 221	35 859	7,62%
Taza	743 237	126 022	528 419	107 408	-28,9%
Taounate	668 232	113 707	662 246	128 719	-0,89%
Boulemane	185 110	33 108	197 596	39 219	6,31%
El Hajjeb	216 388	41 018	247 016	53 230	12,39%
Séfrou	259 577	52 498	286 489	66 034	9,39%
Chefchaouene	524 602	86 028	457 432	82 914	-12,8%
Salé	823 485	168 497	982 163	231 340	16,15%
Al Hoceima	395 644	67 075	399 654	79 326	1%
My Yacoub	150 422	23315	174 079	31 338	13,5%
Khenifra	511 538	105307	371 145	87 573	-27,44%
Total	8 694 525	1 620 041	11 163 338	191 376	22,11%

Selon le tableau ci-dessus qui donne la répartition de la population globale par province, selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2004 et 2014, le nombre

d'individus augmente plus rapidement que la moyenne nationale, avec un taux d'accroissement moyen interannuel entre 2004 et 2014 de 22,11% contre 1,25% pour le Maroc (PDAIRE, 2011). Le taux d'urbanisation reste sensiblement inférieur à la moyenne nationale (Taux d'urbanisation de 49% au Sebou, contre 55% au niveau national) (PDAIRE 2011). Par ailleurs 30% de la population du bassin vit dans la zone du Sais qui regroupe les villes impériales de Fès (1150 131 habitants et 265 036 des ménages) et Meknès (1120 727 habitants 271496 des ménages). (RGHP 2014).

3.3.2. Évolution de l'urbanisation dans le bassin

Depuis longtemps, le bassin versant du Sebou a connu un développement des urbanisations et d'extensions des villes et des douars dans le fond des vallées. Les apports d'eaux survenues du Rif et du Moyen Atlas vers l'aval du bassin menacent les espaces urbaines, comme la ville de Fès, Séfrou, Oued Amlil (carte. n°12), Sidi Slimane (carte. n°13), Sidi Kacem, khénichet, et Mechrâa Belksiri ...

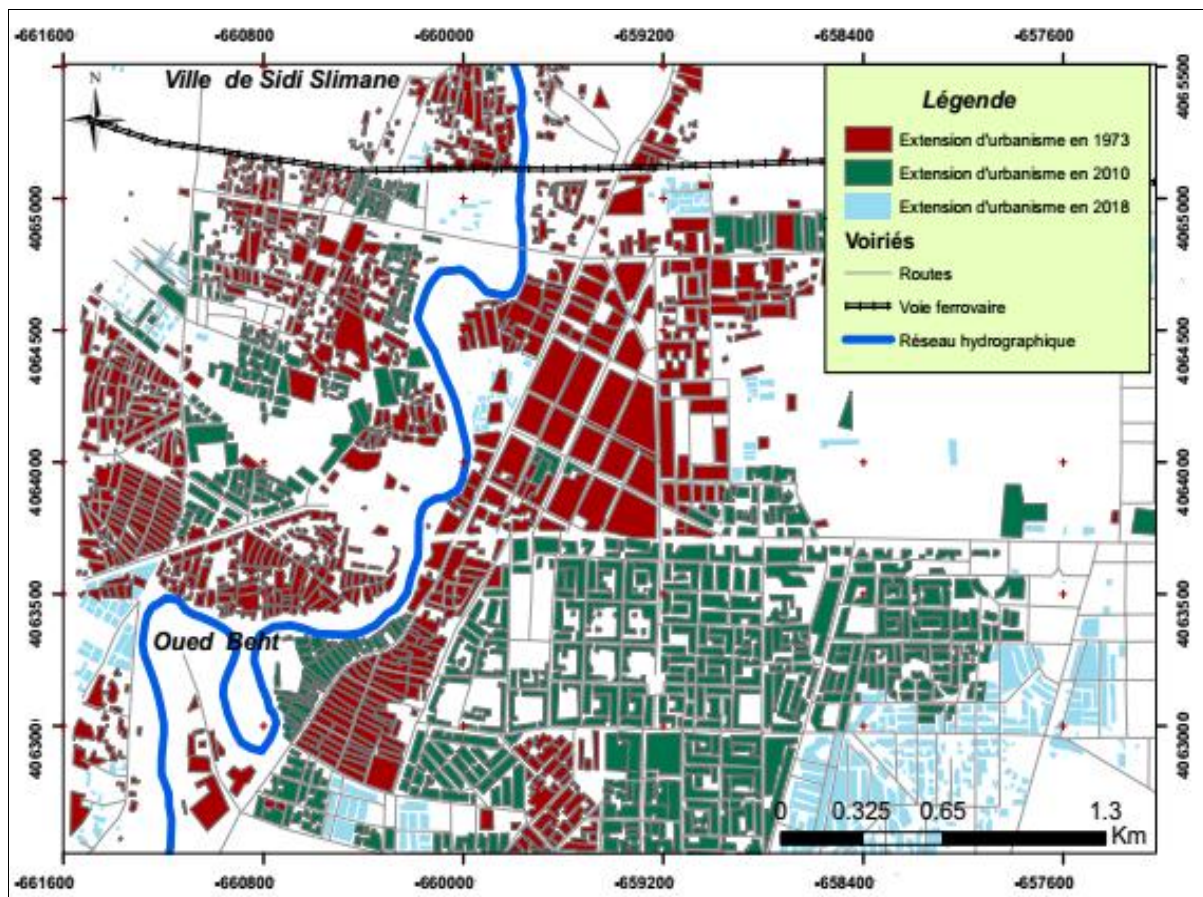


Carte. n°12: Carte récapitulative de trois périodes d'extension d'urbanisme dans la ville de l'Oued Amlil sur l'Oued Inaouene (Photos aériennes de 1963 et 2001, et Photo de Google Earth 2018).

Cette urbanisation aggrave le phénomène d'inondation à travers la construction près des oueds traversant les villes en raison de la densité des bâtiments, le pavage des routes et la

faiblesse des espaces verts, et les problèmes d'évacuation des eaux des pluies. Tous ces facteurs provoquent la submersion des quartiers riverains des oueds dans un temps plus réduit lors des grandes crues

Du point de vue de SOUYRIS, E (2006), l'urbanisation des espaces riverains des rivières à plusieurs effets, tout d'abord elle réduit de manière significative le champ d'expansion des crues. Sur le bassin versant du Sebou, en effet, les abords des rivières faisant l'objet de développement d'activité agricole et industrielle, connaissent une expansion croissante de l'habitat, dans les zones menacées par les inondations.



Carte. n° 13: Carte récapitulative de trois périodes d'extension d'urbanisme dans la ville de Sidi Slimane dans le Gharb sur l'oued Beht (Photos aériennes de 1973 et 2010, et Google Earth 2018).

L'urbanisation dans ces zones fût longtemps non réglementée; elle se faisait de manière anarchique, non organisée. En conséquence, les populations se sont progressivement mis en danger en s'implantant dans les lits majeurs des cours d'eau par exemple à l'oued Inaouene, la ville de l'oued Amlil s'est agrandi pendant trois phases d'extension en: 1963, 2001 et 2018. Également à la ville de Sidi Slimane dans le Gharb en 1973, 2010 et 2018, où elle a connu une extension spatiale importante pendant les dernières décennies

Cette extension s'effectue en dépit des instructions de la loi d'urbanisme où dans les plans d'aménagement urbain, se trouvent les textes qui font référence à la protection des espaces fluviaux contre les constructions sur les zones inondables (loi 12-90 d'urbanisme,

loi 15-36 de l'eau et loi 03-12 relative aux études d'impact sur l'environnement ...). D'autres pratiques ont aggravé les risques des crues inondables comme l'extension et l'empiétement des terrains agricoles sur les lits mineurs des cours d'eau réduisant ainsi leur débitante, et le sous-dimensionnement de certains ouvrages.

D'après le plan national de protection contre les inondations, il y a 60 villes et centres et 84 douars menacés par le risque d'inondation. La zone du Gharb comprend la grande part des sites menacés; (38%), et Taza; (17%) (AHBS, 2011).

Conclusion du 3^{ème} chapitre:

L'étude des caractéristiques physiographiques et leurs effets sur l'écoulement du bassin, ont été effectuées à l'aide du système d'informations géographiques (Arc gis 10.2 et Global mapper15). Les facteurs intervenant dans l'hydrologie du bassin sont d'origine topographique en raison des fortes pentes sur les versants montagneux en amont et leurs faiblesses en aval, ce qui influence les caractéristiques pluviométriques et la vitesse d'écoulement. Par ailleurs, la nature des roches joue un rôle primordial dans la genèse des crues. La régularisation du système hydrologique est en relation avec la perméabilité des roches dans le domaine karstique au Moyen Atlas. Cependant l'imperméabilité des roches marneuses et argileuses dans domaine rifain renforce l'irrégularité de l'écoulement et accentue la violence des crues. À l'état actuel, le réseau hydrographique du bassin permet une accélération du rythme d'écoulement dans le domaine rifain en particulier, ce qui produit des crues inondables affectant gravement la plaine du Gharb.

Le couvert végétal dans le bassin, de son côté est en état de dégradation sur les versants rifains comme au Moyen Atlas en raison des effets du changement climatique, des défrichements et des incendies. En plus, l'étude de la température montre que le bassin se développe sur trois étages bioclimatiques, à savoir: l'étage humide: Ifrane et Kenitra, subhumide: Meknès et semi-sec: Sais et Prérif, cela explique le contraste du couvert forestier entre l'amont et l'aval. Dans le même sens, les diagrammes ombrothermiques montrent que la saison sèche dure cinq mois, mais dans l'amont (montagnes du Rif et du Moyen Atlas) du bassin, la période sèche dure seulement trois mois. La période humide s'étend en général du mois d'octobre à avril dans le bassin versant du Sebou.

L'anthropisation du bassin versant de Sebou est favorable à la propagation des eaux, ce qui contribue au dysfonctionnement de l'hydrosystème de l'oued Sebou et de ses affluents pendant les hautes eaux en raison de la mise en place des infrastructures agricoles, des activités économiques et l'extension urbaine, qui sont installées aux fonds des vallées.

Conclusion de la 1^{ère} partie:

L'étude des paramètres physico-biogéographiques du bassin versant de Sebou a permis de retirer deux ensembles structuraux de natures contrastées:

➤ Zone fournissant les eaux écoulées (partie amont du bassin versant de Sebou : le Rif et le Moyen Atlas).

Le bassin versant de Sebou en amont est bien encadré par des reliefs montagneux, à savoir le Moyen Atlas plissée, dont l'altitude maximale atteint (2794m), sont constitués essentiellement par des calcaires jurassiques perméables. Les montagnes rifaines (Jbel Tidirhine: 2456m) et les collines pré-rifaines, sont constituées des roches gréseux, schisteux et argileux imperméables favorisent l'écoulement de surface, surtout que la couverture végétale est en état de dégradation. S'ajoute également l'importance de fortes pentes qui dépassant 15%, et engendre un réseau hydrographique dense ($Dd = 0,16 \text{ km/Km}^2$) marqué par une grande capacité de mobilisation des eaux ($Tc = 6,62 \text{ h}$). Ainsi, la partie amont du bassin de Sebou semble la zone la plus favorable à la genèse des crues.

➤ Zone de réception de l'écoulement (Moyen Sebou et plaine du Gharb) :

Cette zone est marquée par des pentes très faibles (moins de 5%) ainsi que des terrains de faible imperméabilité (formations quaternaires) représentant des lits fluviaux supportant les étalements des crues inondables. L'apport pluvial se traduisant en ruissellement s'écoule rapidement sur les versants montagneux très abrupts des montagnes du Rif et du Moyen Atlas.

Dans la plaine du Gharb l'oued Sebou connaît une difficulté de drainage où le cours d'eau demeure incapable d'évacuer les lames d'eaux étendues sur des terrains de faibles pentes et de très faibles perméabilités. Lors des crues le débordement de l'oued Sebou représente un risque d'inondation majeure de la plaine. Dans la seconde partie, nous allons étudier la dynamique atmosphérique et la variabilité hydroclimatique spatiotemporelle, ainsi que le bilan hydrologique dans le bassin versant de Sebou entre 1980-81 et 2013-14.

DEUXIEME PARTIE:

**DYNAMIQUE ATMOSPHERIQUE, REGIMES
PLUVIO-HYDROLOGIQUES ET BILAN DES
RESSOURCES EN EAU**

Introduction:

La seconde partie de notre recherche vise à traiter la dynamique atmosphérique et la variabilité hydroclimatique dans le bassin versant de Sebou et son rôle dans la genèse des crues provoquant des inondations durant la période comprise entre 1980-81 et 2011-12 à travers trois chapitres suivants :

- **Le premier chapitre** consiste à l'étude de la régionalisation du climat du bassin qui est affecté par des fluctuations qui se produisent sur le courant-Jet subtropical dans la troposphère moyenne et supérieure, en matière de vitesse et de basculement transversal, en générant un ensemble de facteurs atmosphériques responsables d'une alternance de type des temps stables et instables sur le bassin.

- **Le deuxième chapitre** comporte l'étude des pluies annuelles, saisonnières, mensuelles et journalières, leurs temps de retour, et leurs violences. Celles-ci sont expliquées grâce à l'étude du régime d'efficacité des flux perturbés, en se basant sur les jours pluvieux dépassants 20mm, et qui sont susceptibles de jouer un rôle dans la genèse des crues inondables dans le bassin.

- **Le troisième chapitre** est consacré à l'étude d'une part, au fonctionnement hydrologique de l'oued Sebou et de ses principaux affluents pour la période (1980-81/2011-12) en se basant sur le régime hydrologique et sa variabilité. D'autre part, nous allons montrer le rôle des débits journaliers dans la genèse des crues, et leurs exceptionnalités au sein du bassin de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.

PREMIER CHAPITRE:

Aspects de la dynamique atmosphérique au-dessus du bassin de Sebou

Introduction:

D'après CHARRAD, B (1997) l'aspect du climat du bassin de Sebou découle de la circulation atmosphérique générale du Maroc. Ce dernier doit à la latitude et à la proximité des deux façades maritimes au Nord et à l'Ouest d'avoir un climat du type méditerranéen, avec des hivers froids, des pluies d'automne et printemps doux et des étés chauds et secs. Un climat qui s'explique également par la situation du Maroc au Nord-Ouest du continent africain et par le voisinage du Sahara au Sud. De ce fait, le bassin de Sebou est soumis aux influences méditerranéennes au Nord, océaniques à l'Ouest, continentales, et sahariennes du Sud et de l'Est. Ces influences marquent sévèrement le climat; pluviométrie aléatoire, sécheresses fréquentes et imprévisibles, régime hydrique instable. Des éléments qui affectent inéluctablement la vie économique et sociale dans ce territoire du Maroc.

1.1. Les mécanismes de la circulation atmosphérique au Maroc

Étant situé aux latitudes subtropicales le Maroc se trouve influencé par les ondulations du courant-Jet subtropical au niveau de la troposphère supérieure, dont la forme et l'intensité du méandre sont sujettes à la vitesse de déplacement du vent. PADRE. M, (1939), PEDELABORDE. P, DELANNOY. H, (1957), CHRAIB, (2001), et BAHOU. A (2002). Ce dernier est dû aux effets du contraste thermique entre la zone intertropicale chaude avec un bilan radiatif efficient et la zone tempérée et polaire froide marquée par un bilan radiatif déficitaire.

En effet, les deux courants-Jets, polaire et subtropical d'altitude entre les latitudes 30 et 60° dans les deux hémisphères constituent les principaux composants de la circulation d'Ouest. En inverse la circulation d'Est prime au-dessus des latitudes intertropicales et aux deux pôles nord et sud. Si la vitesse du courant-Jet diminue le basculement vers le sud et vers le Nord aura des effets sur la formation des centres d'action (anticyclones et dépressions), aussi bien en altitude supérieure, que sur la surface. Ainsi, les conditions de la circulation qui prévalent en altitude, en particulier au niveau de 500hPa, déterminent les types de temps et le champ barométrique au sol et influence de ce fait, la circulation atmosphérique et la nature du climat au Maroc, et au Nord-Ouest africain.

Ainsi, le climat du Maroc en général, et le bassin de Sebou spécialement sont le fruit de l'interaction de l'ensemble des conditions météorologiques avec les facteurs atmosphé-

riques et leurs organisations durant l'année au sein de la circulation atmosphérique générale, qui est le principal facteur contrôlant l'évolution, et la fréquence des types temps sur le pays.

1.1.1. Le rôle du courant -Jet subtropical et polaire dans la circulation atmosphérique

1.1.1.1. Caractéristiques de la circulation générale sur hémisphère nord

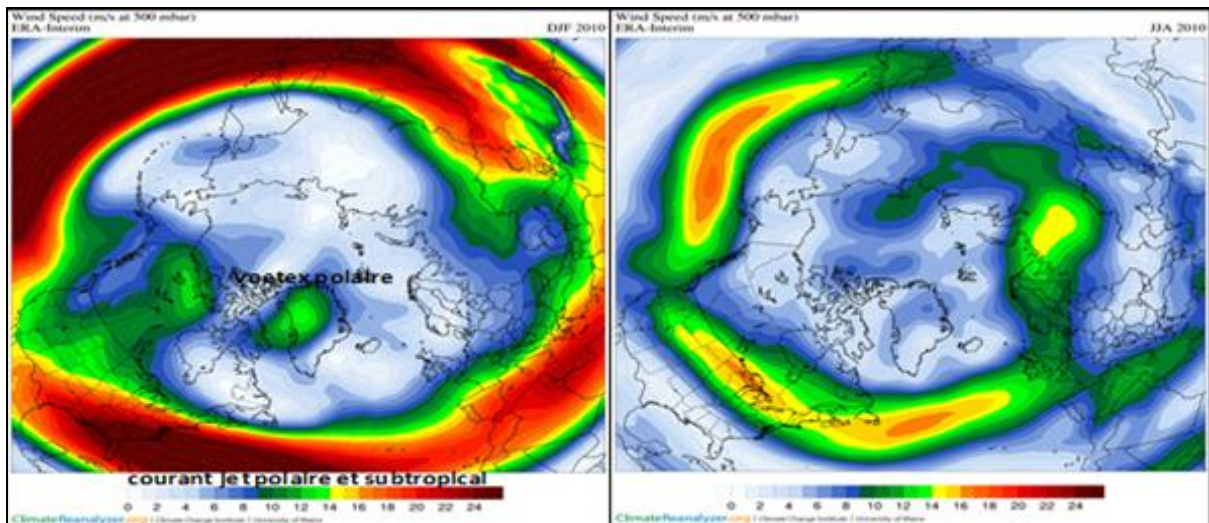
Pour les deux climatologues TRIPLET. J-P et ROCHE. G (1986), la pression atmosphérique aux latitudes moyennes et subtropicales est disposée dans l'atmosphère moyenne et supérieure, au niveau des surfaces barométriques 300, 500 et 700hPa, en deux cellules: la première est celle **d'Hadley** d'où l'anticyclone des Açores et la deuxième est celle de **Ferrel** d'où la dépression d'Islande sur l'Atlantique Nord. Cette organisation est commandée par des facteurs thermiques et dynamiques. En altitude supérieure entre 8 et 18km, les amplitudes thermiques et barométriques prédominent fortement, entre l'air chaud des latitudes intertropicales et l'air froid des latitudes moyennes et polaires. Ainsi les échanges thermiques s'établissent dans la troposphère inférieure et moyenne entre les deux zones afin de créer l'équilibre thermique de la terre.

Selon la force du gradient barométrique, le mouvement de cet air sera déplacé du Sud au Nord. Cependant, l'intervention de la force de Coriolis, associée à la rotation de la Terre, conduit à une déviation de la trajectoire de cet air vers la droite dans l'hémisphère Nord, et vers la gauche dans l'hémisphère Sud. C'est ainsi, que s'effectue l'émergence des vents d'Ouest forts et très rapides dans l'atmosphère supérieure entre 35 et 60 parallèles au Nord, suite aux contrastes thermiques entre les deux zones tropicale et polaire.

Comme l'axe de la terre est incliné, le soleil établit un mouvement apparent de balancement entre les deux tropiques: cancer et capricorne. Le courant-Jet, et les cellules anticycloniques subtropicales suivent ce balancement en se déplaçant vers le Nord en été et s'en rétractent vers le sud en hiver, ce qui permet aux masses d'air polaires d'atteindre le Maroc.

En attitude, l'intensité des masses d'airs polaires circulant vers le sud, et la vitesse du courant-Jet et l'alternance des crêtes chaudes et vallées froides sont des éléments indispensables pour déterminer les variations des types de temps sur le Maroc. Les cartes en dessous relatives à la vitesse des vents au niveau 500 hPa (carte. n°14) montrent que celle-ci est descendue vers les latitudes subtropicales pendant les trois mois d'hiver : décembre, janvier et février en élargissant ainsi le domaine d'expansion du vortex polaire. De ce fait, les précipitations peuvent atteindre le Maroc en général et le bassin de Sebou en particulier.

En revanche pendant l'été la diminution du contraste thermique entre la zone polaire et tropicale sur l'hémisphère Nord influe sur la vitesse et la force du vent en altitude et au-delà sur le domaine d'activité du système polaire.



Carte. n°14: Vitesse moyenne du vent en m/s en altitude 500 hPa pour les mois¹⁵ DJF (G) et JJA (D) selon le model ERA-Interim.

Ainsi au niveau de la troposphère inférieure selon la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer (carte. n°15), on peut relever la nature des champs de pression sur l'hémisphère Nord en Hiver et en été. Sur les latitudes marocaines, les basses pressions atlantiques dominante au cours de l'hiver 2010 sont remplacées par l'Anticyclone des Açores qui a remonté vers le nord et s'est renforcé aux latitudes 40° nord en été.

1.1.1.2. Effet du changement de vitesse du courant-Jet sur le climat du Maroc

Dans l'ensemble, la vitesse du courant-Jet prend trois positions différentes:

- **Lorsque ce courant est rapide**, entre 150 et 500 km/h, la situation la plus fréquente en hiver, et lorsque les amplitudes thermiques sont très différentes, le gradient barométrique en altitude supérieure peut être plus intense. La circulation atmosphérique sur le Maroc peut être zonale ou rapide, où les perturbations de l'ouest se déplacent au sein des dépressions qui se succèdent vers l'Est.

L'accumulation d'air vers la droite du courant-Jet subtropical contribue au renforcement de l'anticyclone des Açores dans les altitudes supérieures subtropicales. Dans ce cas, le Maroc peut être soumis à trois types du temps, en fonction de l'état du courant-Jet, et sa position transversale, à savoir: les perturbations d'ouest rapides, le système des queues des perturbations d'ouest, et l'anticyclone zonal (extension de l'anticyclone des Açores en parallèle à la latitude de l'ouest vers l'Est) (BAHOU.A, 2002).

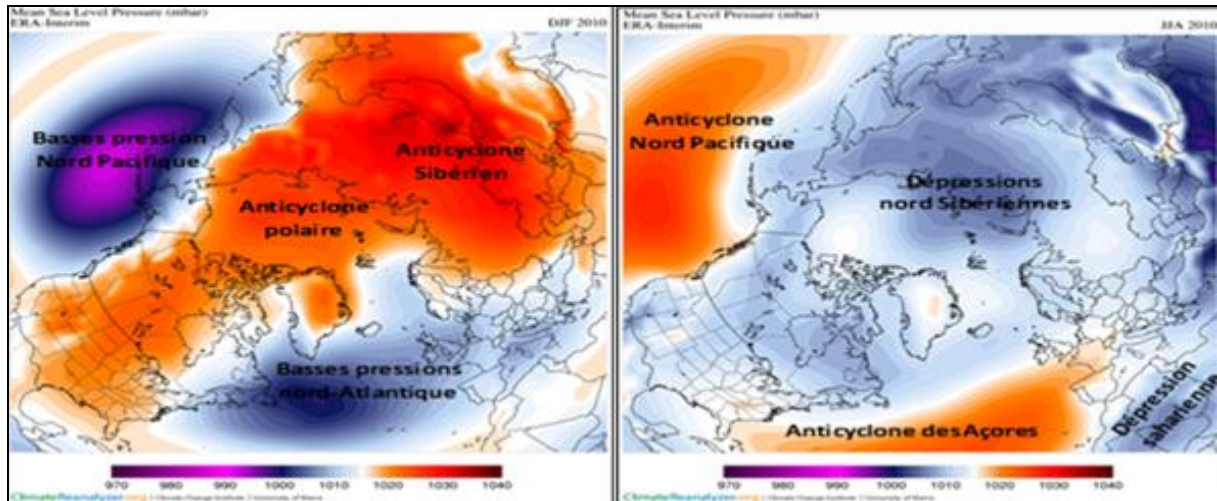
¹⁵ : **DJF** : Décembre, janvier et février;

JJA : Juin, juillet et août ;

G : droite

D : Droite

Lorsque la circulation atmosphérique est marquée par des courants-jets rapides, plus de 200 km/h elle a de ce fait un caractère zonal et les ondulations sont plus amples avec extension vers l'Est des dorsales de l'anticyclone des Açores. Le Maroc dans ce cas ne peut être touché que par les queues de front.



Carte. n°15: Pression moyenne de la surface en 2010 pour les mois DJF (G) et JJA (D) selon le model ERA-Interim.

- **Parfois, les amplitudes thermiques** sont affaiblies et avec-elles, le gradient barométrique, entre les latitudes tropicales, tempérées et polaires, la vitesse du courant-Jet subtropical diminue à moins de 150 km/h, avec l'établissement des ondulations appelées «**les ondes de Rossby**», d'où l'alternance sur le Maroc des crêtes et des vallées d'air planétaires. Dans ce cas, la circulation atmosphérique méridienne prédomine et les masses d'air, sèches et humides se déplacent des latitudes septentrionales vers le sud, ou vice-versa. Il s'effectue donc l'échange longitudinal de l'énergie thermique et de l'humidité de l'air. Ce type de circulation atmosphérique génère de nombreux types de temps au Maroc, qui peuvent être perturbés, lorsqu'elles sont soutenues par les vallées d'air en altitude, ce qui facilite l'écoulement d'air polaire froid vers le Maroc. En outre si l'espace atmosphérique du pays est surmonté par des crêtes planétaires avec le déplacement de l'air tropical chaud vers le nord. Le Maroc dans ces conditions connaît des types de temps stables.

- **Au cas, où le gradient barométrique** est très affaibli, la vitesse du courant-Jet subtropical enregistre moins de 60 km/h, ce qui accentue les ondulations et provoque la séparation des gouttes d'air froid qui pénètrent au sud vers des latitudes inférieures, au milieu de l'air chaud tropical. Ainsi peuvent s'installer des situations de blocage ou des cyclogenèses locales qui ne peuvent pas se déplacer librement au bord du versant sud de l'anticyclone des Açores.

En général, lorsque les contrastes thermiques sont réduits entre la zone polaire et la zone intertropicale, le courant-Jet réduit sa vitesse est décrit des ondulations plus prononcées; des crêtes chaudes remontent vers le nord, et les vallées froides sont déplacées vers le sud. La

circulation atmosphérique peut dans ce cas dite méridienne. Les dépressions atlantiques peuvent dans le cadre de cette circulation atteindre le Maroc. Les coulées polaires en altitude selon l'intensité de l'advection froide peuvent prendre l'aspect des gouttes froides qui représentent un support pour les cyclogénèses locales au voisinage du pays.

1.1.2. Les types de temps stables et secs sur le bassin

La vitesse de courant-Jet et les types d'ondulation sont les principaux mécanismes de la circulation atmosphérique à l'origine des types du temps au Maroc. Lorsque les crêtes chaudes prédominent au-dessus du pays, celui-ci est soumis à une circulation atmosphérique sèche.

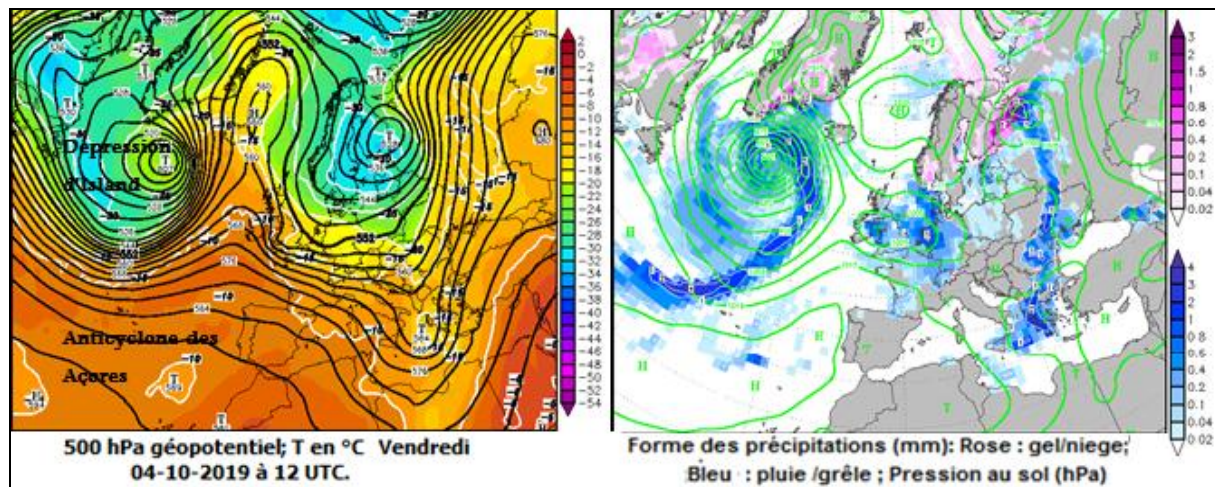
En effet, la situation du Maroc aux latitudes subtropicales, en conséquence, les types de temps stables sur le bassin de Sebou sont fréquents. Ils sont commandés par la cellule anticyclonique des Açores, et l'anticyclone Nord-Africain. En fonction du type de la circulation atmosphérique en altitude qui règne aux latitudes marocaines **-zonale ou méridienne-** et la forme de l'extension géographique de l'anticyclone des Açores, et de la nature des masses d'air affectant le bassin, des types de temps différents se succèdent au sein de l'année. CAZALE. H, (1954 et 1960). Ainsi, on peut faire la distinction entre quatre types de temps secs, à savoir: le type de dorsale anticyclonique, le type de temps froid du secteur de Nord-Est, type de temps continental modéré du Sud-Est en hiver et le type de temps très chaud d'Est « **Chergui** ».

1.1.2.1. Le type de temps de dorsale anticyclonique avec advection d'air tropicale maritime

Ce type de temps coïncide avec la circulation zonale de l'ouest, sur l'Europe. Ceci est illustré par l'extension des lignes barométriques de façon pratiquement parallèles à la latitude. En conséquence, l'anticyclone des Açores, étale une dorsale en direction de l'Afrique du nord et il constitue un obstacle contre le déplacement vers le sud des perturbations atlantiques. Pendant ce type de temps, la température moyenne à Fès-Sais est de 21°C avec 32°C comme valeur maximale et 10,2°C comme valeur minimale. D'où une amplitude thermique importante avoisinant 20°C. Et une humidité atmosphérique oscillant entre 59% à 2h et 14% à 14h. Les vitesses du vent de secteur Nord-Nord-Ouest sont faibles ne dépassant pas 17 km/h.

Ce type du temps, représente selon une étude de la direction météorologique nationale 15% des types du temps sur le Maroc durant la période (1961-1989) (BENARAF. S, 1994). Le Maroc est ainsi sous l'influence de la branche descendante de l'anticyclone des Açores avec la présence d'un air tropical maritime frais par son détour sur l'Atlantique au niveau des latitudes 40° N. Les vents soufflant sur les côtes sont les alizés maritimes qui, par leur semi-permanence, sont responsables du phénomène «**d'apwelling**» c'est-à-dire la remontée des eaux profondes, qui est à l'origine de la naissance du courant froid des Canaries. Ce dernier

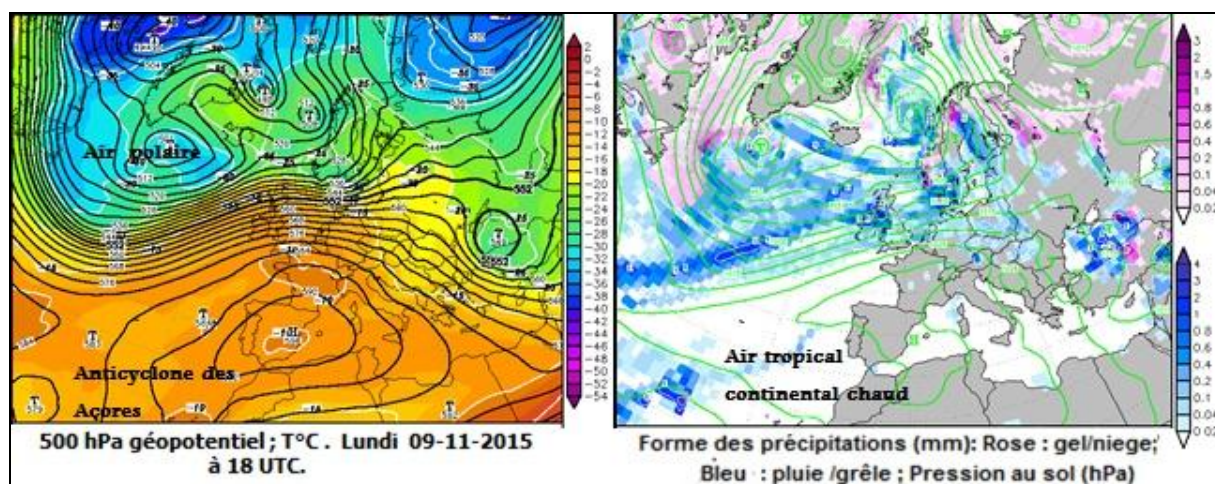
est un autre facteur de la stabilité atmosphérique sur le Maroc (JANATI IDRISSEI. A et all, 2017).



Carte. n°16. Géopotential à 500 hPa en altitude(G) et au sol (D) du 04-10-2019.

1.1.2.2. Temps d'anticyclonique avec advection de masses d'air continentales de Sud-Est

Ce type de temps se caractérise par le stationnement de l'anticyclone des Açores au Nord-Ouest de l'Afrique, la mer Méditerranée et la péninsule ibérique, générant un courant d'air d'Est ou Sud-Est. Il s'installe sur le Maroc lorsque des cellules anticycloniques se déplacent et convergent sur Méditerranée occidentale. Les masses provenant vers le bassin, sont des masses remontant franchement du Sud-Est vers le Nord-Ouest et amènent un temps plus chaud que la normale de la saison puisque les masses d'air sont issues du Sahara. En raison de cette vaste barrière anticyclonique étalée sur le Nord-Ouest de l'Afrique et le Sud-Ouest Européen, les perturbations du front polaire sont obligées de se déplacer plus au nord vers la mer baltique. Le temps qu'il a fait à ce jour sur Fès-Sais est anormalement chaud pour la saison avec une température maximale de 26°C et minimale de 9,3°C. Les vents soufflant de provenance Est à Sud-Est avec une vitesse faible de 7km/h à 18h UTC. Ce type de temps a duré, assez longtemps pendant le mois de novembre 2015.

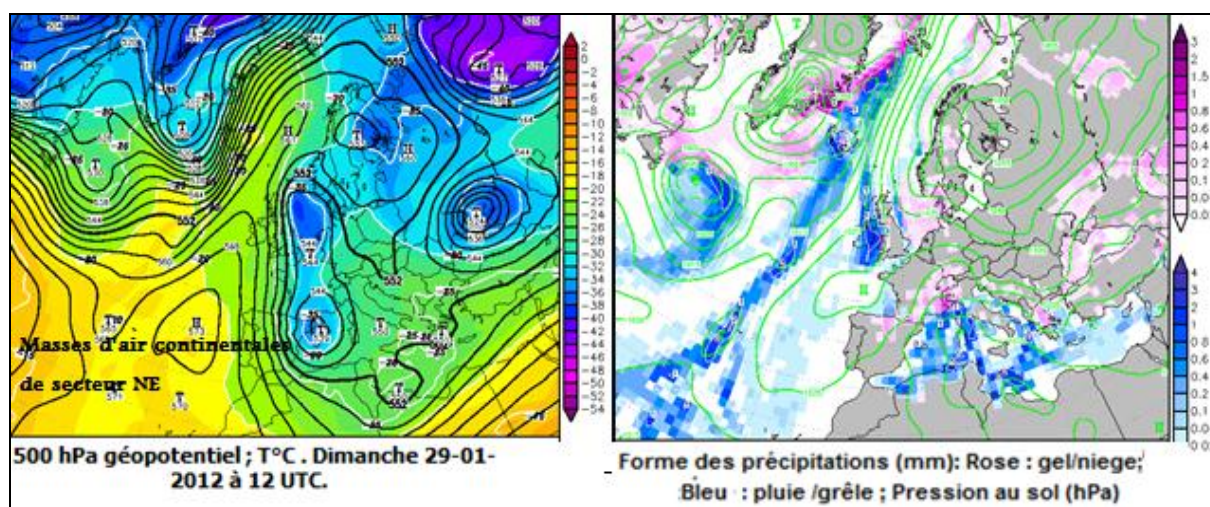


Carte. n°17: Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 09-11-2015.

1.1.2.3. Type de temps anticyclonique de secteur de Nord-Est

Cette situation s'explique par une circulation anticyclonique allongée où l'anticyclone des Açores rejoint parfois l'anticyclone sibérien par l'intermédiaire de configurations de dorsale en circulation dans le sens Sud-Ouest-Nord-Est. Il est responsable d'une advection d'air polaire continentalisée parcourant le sud de l'Europe et atteignant le Maroc à travers le secteur Nord-Est (JANATI IDRISSE, A et all, 2017). En altitude 500 hPa une crête chaude se prolonge vers le Nord-Est, en inverse une ondulation froide polaire peut atteindre la Méditerranée occidentale en produisant une instabilité cyclogénétique. En surface la situation se caractérise par la présence du Maroc dans la marge sud d'une bande de deux cellules anticycloniques, où se joigne une cellule subtropicale avec la dorsale de l'anticyclone thermique sibérien de surface. La disposition Nord-Est-Sud-Ouest de cette couverture anticyclonique oblige un déplacement de masses d'air froid en provenance du centre et du sud de l'Europe. Si la dorsale de cette cellule se situe au nord du Maroc le bassin est soumis au courant sec continental venant de l'Est.

Durant ce type de temps en assiste à une chute de température en raison de l'arrivée de masses d'air froides de secteur Nord-Est durant la saison hivernale. Pendant ce type de temps stable, l'air est de nature sèche et très froide à cause d'une baisse significative de la température pendant la nuit et tôt le matin, qui peut connaître une formation de la gelée dans les zones intérieures où la direction des vents est habituellement de secteur Est à Nord-Est. Du 28 au 31 janvier à la station Fès-Sais par exemple les températures minimales ont chuté jusqu'à moins de 1,5°C; -0,8°C le 31 janvier 2012. La température maximale a enregistré 14,8°C pendant cette journée. L'humidité relative est aux alentours de 76% dû à la traversée maritime de la masse d'air sur la Méditerranée.

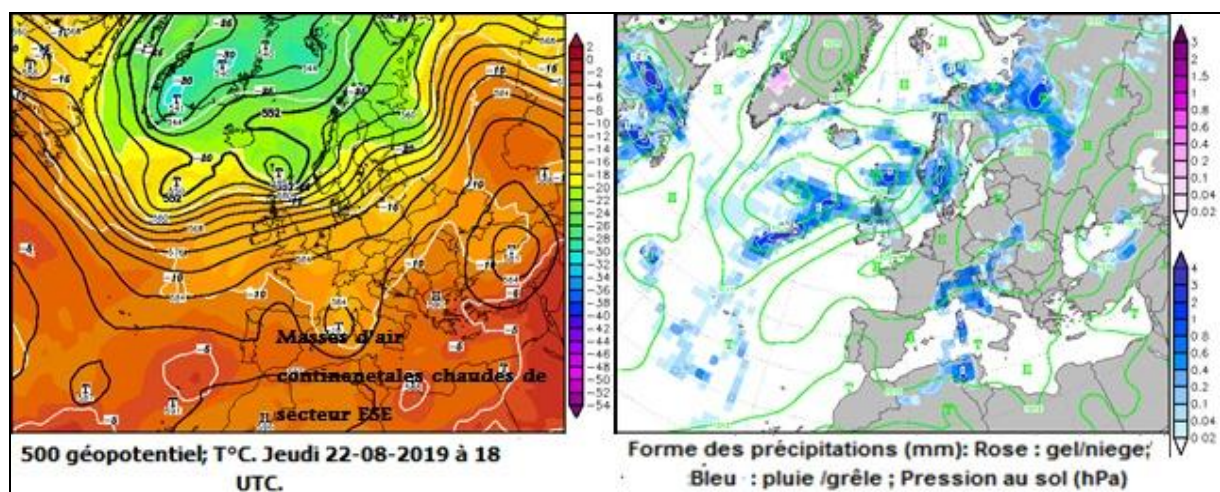


Carte. n°18: Géopotentiel 500 hPa en altitude(G) et au sol (D) du 29-01-2012.

1.1.2.4. Temps continental chaud de type chergui

Ce type de temps est souvent responsable des vagues de chaleur qui se manifestent sur le bassin en été et se caractérise par la remontée vers le nord de la dépression thermique saharienne, qui est en fait surmontée en altitude par l'anticyclone subtropical Nord-africain une autre cellule qui couvre une grande partie de la Méditerranée et l'Europe méridionale. (JANATI IDRISIA et all 2017). En effet pendant l'été les anticyclones subtropicaux de l'hémisphère nord y compris la cellule des Açores et Nord-africaine remontent vers la latitude 40° nord suivant le mouvement apparent du soleil. En surface sur le Sahara l'air surchauffé devient léger et la pression diminue considérablement, d'où l'installation de la dépression saharienne. Cette dernière est responsable de l'arrivée de masses d'air du secteur Est et Sud-Est, très chaudes faisant élever les températures journalières à plus de 40°C.

La situation du 22-8-2019 est un bon exemple de ce type de temps (carte. n°19). Elle indique un rétrécissement de la zone d'influence de l'air polaire sur l'Atlantique Nord. En contrepartie une remontée vers les Nord des cellules subtropicales qui ont envahi la majorité de l'espace Européen. Sur l'Afrique du Nord, la dépression saharienne s'est propagé jusqu'au sud de la péninsule ibérique en instaurant un temps très chaud avec des vents de chergui qui ont franchi les côtes atlantiques du Maroc. Pendant cette journée le thermomètre a affiché une valeur maximale de 43,4°C à Fès-Sais et 42,8°C à Meknès et 33,4°C à Kenitra sur la côte atlantique.



Carte. n°19: Géopotential 500 hPa en altitude(G) et au sol (D) du 22-8-2019.

1.1.3. Types de temps associés aux circulations cycloniques polaires

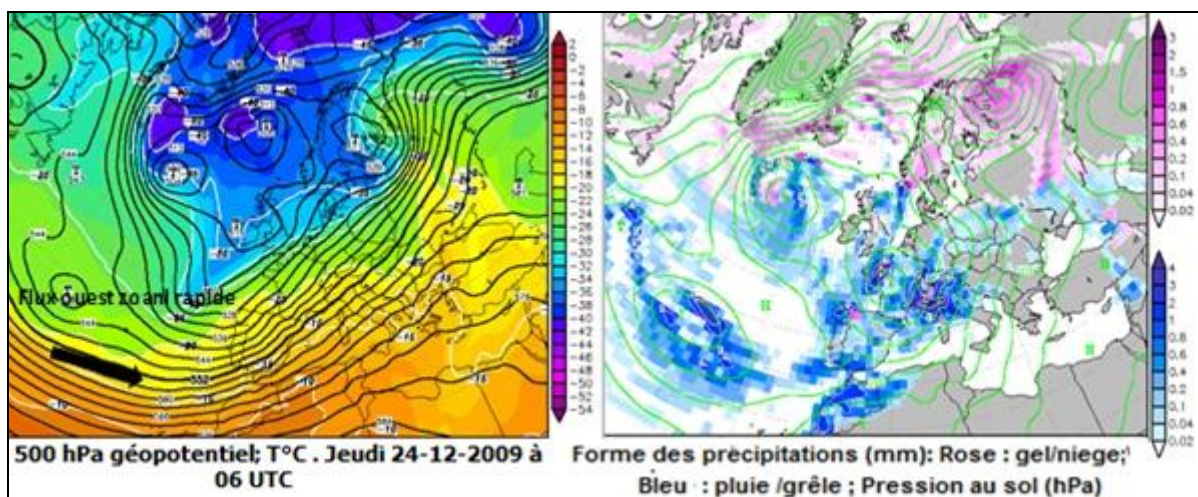
Afin d'identifier les types du temps dans le bassin versant du Sebou, nous avons pris en considération les études de BENARAFA.S (1994). L'activité cyclonique est une situation d'air perturbée et instable, qui conduit souvent à des temps pluvieux ou neigeux parfois avec des chutes de grêle. Elle est souvent associée à des dépressions d'air et à la succession des fronts froids et chauds sur le Maroc. Les types du temps perturbés peuvent avoir des caractéristiques très différentes en raison de la multiplicité des mécanismes d'air responsable de leur formation. Certains types affectant le bassin versant du Sebou sont fréquents, et

d'autres sont exceptionnels, et peuvent être à l'origine des crues inondables, dont les effets sont néfastes sur les biens et la vie des personnes.

1.1.3.1. Type de circulation d'ouest rapide

Cette situation se réalise lorsque le courant-Jet polaire et subtropical est rapide d'où un étalement vers le sud du vortex polaire. Les amples ondulations froides constituent un support de formation des dépressions atlantiques rapides se succédant d'Ouest en Est vers l'Europe et le nord de l'Afrique. Ce type de circulation zonale est peu récurant au Maroc, car il nécessite un déplacement massif de l'air polaire vers les latitudes méditerranéennes. Parfois le Maroc n'est concerné que par des queues de front des perturbations atlantiques.

D'après la carte n°20 du 24-12-2009, on constate au niveau Géopotential 500 hPa une très ample vallée froide s'étalant sur l'Atlantique Nord et le continent européen. Le jet polaire soufflant au-dessus du Maroc en provenance du secteur ouest. Celui-ci a constitué un support pour les dépressions atlantiques qui ont succédé sur le pays durant ce type de temps en décembre. Se trouvant en dessous d'un talweg barométrique le bassin a connu un temps perturbé d'ouest totalisant 237mm entre le 18 et le 26 décembre à la station Bab Ouender sur le Rif qui est bien exposé à ce type de flux, par contre au Moyen Atlas les précipitations étaient moindres avec seulement 93mm pour la même période à la station de Séfrou. Un effet d'altitude et d'abri topographique peut être à l'origine de cette différence pluviométrique.



Carte. n°20: Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 24-12-2009.

1.1.3.2. Types de circulations atmosphériques méridiennes lentes

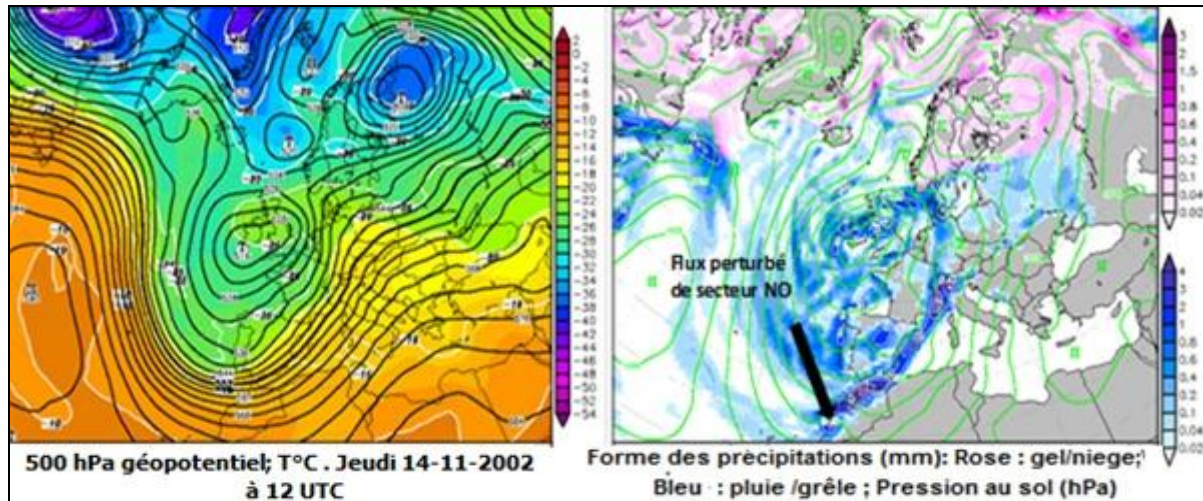
Ce type du temps se produit lorsque l'air polaire se déplace vers le Maroc selon une trajectoire méridienne. La baisse de la vitesse du courant-Jet subtropical entraîne la constitution d'une vallée froide située au voisinage atlantique du Maroc. L'anticyclone des Açores cette fois s'étale de façon longitudinale du Nord-Ouest au Sud-Est. Suite à cette configuration les dépressions barométriques au sein des vallées glissent vers le Sud-Est en

direction du Maroc. Selon la direction Sud de la vallée froide et son importance les flux perturbés se déplacent selon plusieurs secteurs comme par exemple Ouest-Nord-Ouest, Ouest-Sud-Ouest et Nord-Nord-Est.

1.1.3.2.1. Type de temps pluvieux avec flux de secteur Nord-Ouest

Ce type de temps de secteur Nord-Ouest (carte. n°21) est créé suite à une décharge polaire directe car le flux en surface est commandé par la dépression d'Islande qui a connu un étalement méridional avec une dérivation frontogénèse en direction du Maroc. L'ondulation froide du courant-Jet en vitesse moins rapide a permis le déploiement de l'air polaire (-25°C) vers le golf de Cadix. Ce type de temps pluvieux participe avec 49,1% des apports pluviométriques dans le bassin de Sebou (JANATI, IDRISIA et al, 2015). Les températures sont très fraîches car le flux est de nature septentrionale. La durée de ce type de temps demeure habituellement de 2 à 4 jours, parce que l'anticyclone subtropical des Açores se renforce rapidement vers l'Europe occidentale.

Du 13 au 17 novembre ce flux perturbé a apporté 323,5 mm à la station Jbel Ouedka, 139mm à Bab Ouender où il est tombé 226,4 à la 1ère station et 108mm à la 2ième le 14 novembre. Sur le Moyen Atlas les quantités sont moindres et n'ont pas dépassé 100mm; 89,5 mm la journée du 14.



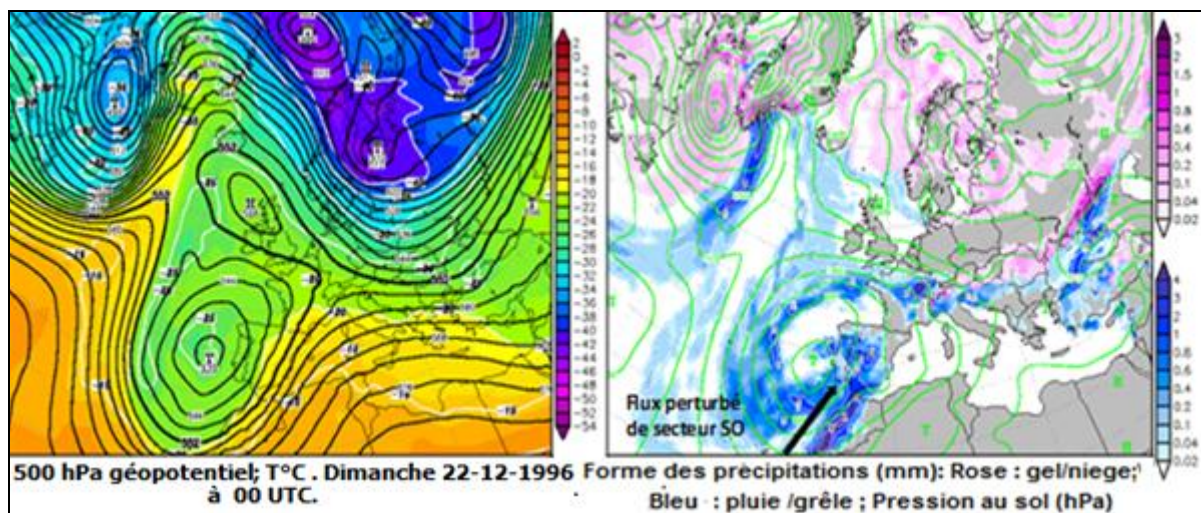
Carte. n°21: Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 14-11-2002.

1.1.3.2.2. Les temps perturbés du secteur Ouest-Sud-Ouest

Cette configuration barométrique s'installe lorsque la circulation méridienne permet à l'ondulation froide de se prolonger plus au Sud sur le proche atlantique du Maroc. De ce fait le type du temps est lié à un déplacement lent de l'air polaire en altitude vers le Sud, où le courant-Jet installe une vallée froide, auprès du pays qui reste sous l'influence du versant oriental de cette vallée.

Sur la surface, il se caractérise par une position longitudinale de l'anticyclone des Açores au milieu de l'océan Atlantique, dirigeant la dépression atmosphérique vers les côtes du Maroc, EL OUEDGHIRI. B.E (1985). Ce type de temps, a débuté par un creusement d'une vallée froide en direction des îles Canaries (carte. n°22). L'advection polaire en altitude et en surface au sein de l'air tropical maritime est à l'origine de la dépression atlantique (985 hPa) centrée près du golf de Cadix.

Ainsi l'orientation Sud-Ouest et Nord-Est des isobares, indique un flux perturbé de secteur Sud-Ouest où les fronts se sont déplacés parallèlement aux montagnes de l'Atlas, mais s'abattent sur le versant Sud du Rif qui est bien exposé à ce type de temps. De ce fait la station de Jbel Ouedka a totalisé 145,8 mm de pluies entre le 22 et 24 décembre 1996 avec 101,8 mm pour seulement la journée du 24.



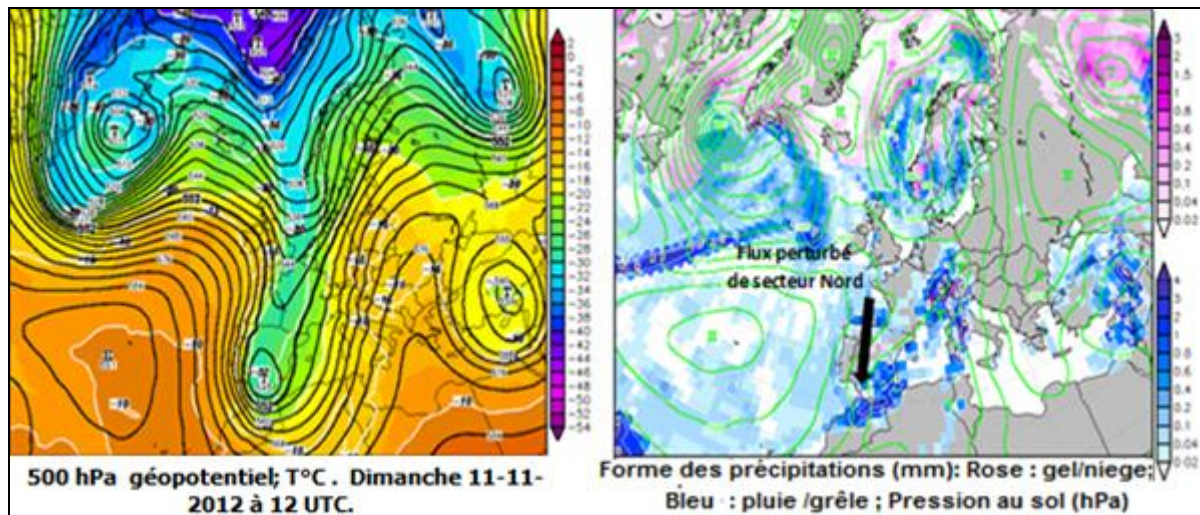
Carte. n°22: Géopotentiel 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 22-12-1996.

1.1.3.2.3. Les temps perturbés du secteur Nord-Est

Les perturbations issues de Nord-Est sont expliquées par BAHOU.A (2002). Elles surviennent pendant une circulation atmosphérique méridienne en altitude atmosphérique marocaine, tandis que l'anticyclone des Açores en surface s'étale de façon longitudinale et inclinée vers l'Europe occidentale, selon une disposition Nord-Est et Sud-Ouest. Cette position permet l'écoulement d'un air polaire continental provenant de l'Europe du Nord et centrale vers le pays. Bien qu'il soit à l'origine de l'air frais, sec et stable, il devient humide et chaud à ses niveaux inférieurs en passant au-dessus de la Méditerranée, ce qui le rend turbulent et instable à condition qu'il y soit un déplacement de l'air polaire vers le sud sous forme de langues ou de goutte froides en altitude.

Ce type de temps est à l'origine de quelques perturbations pluvieuses de secteur Nord-Est du Maroc. Le courant Nord-Est par son parcours continental, est moins turbulent avec une faible capacité hygrométrique. S'ajoute aussi une partie importante du pays resté sous l'influence des marges orientale de l'anticyclone des Açores (carte.n°23). Les quantités pluviométriques sont moins importantes, et se limitent dans la plupart des cas, au Nord du

pays. Ce temps perturbé a été à l'origine des pluies assez importantes; 13mm à la station Azzaba, 32,5mm à Jbel Ouedka et 29mm à Ain Aicha le 15 janvier 1987.



Carte. n°23: Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 11-11-2012.

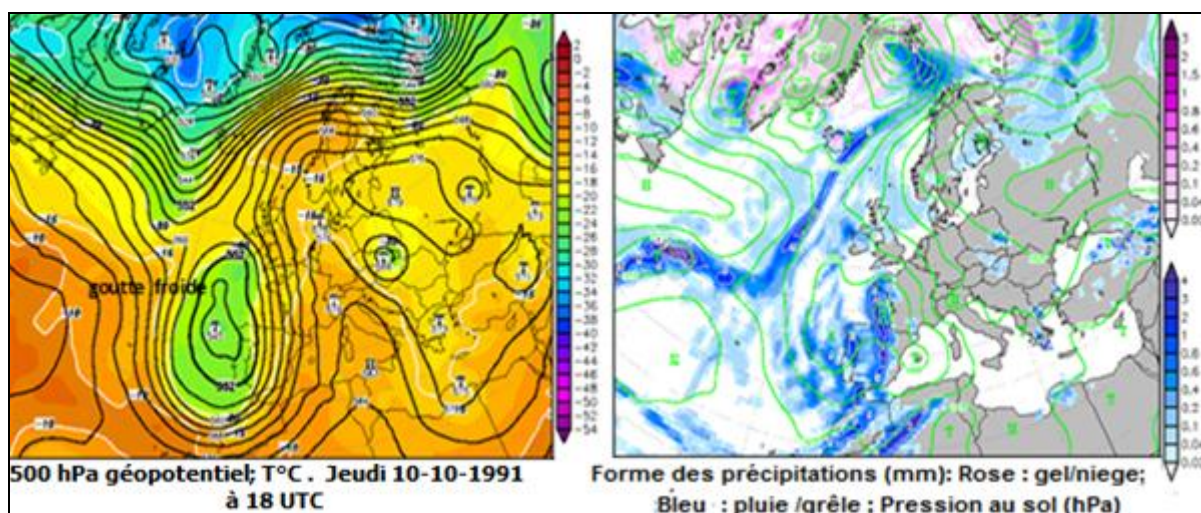
1.1.3.2.4. Types de temps perturbés lié à une circulation cyclonique très lente avec blocage

Dans le cas d'une circulation atmosphérique d'altitude très lente l'advection de l'air polaire au Sud peut individualiser des gouttes froides qui se détachent du courant général. Ces gouttes sont à l'origine des cyclogenèses locales se formant auprès des côtes atlantiques et méditerranéennes du Maroc, parfois même ils s'installent sur le pays. Elles peuvent être accompagnées de précipitations notables selon l'intensité de l'air froid en altitude, et l'importance du contraste thermique au sol. En surface le déplacement vers l'Est des dorsales de l'anticyclone des Açores en se joignant habituellement soit à l'anticyclone Nord-Africain ou à l'anticyclone thermique sibérien, peuvent engendrer des situations isobariques de blocage où ces dépressions locales ne peuvent pas se déplacer avec le courant général vers le Nord-Est.

Ainsi ce type de temps peut s'installer sur le Maroc lorsque les champs de pression se renforcent sur l'atlantique voisin ou sur une partie de la façade occidentale de l'Europe. L'anticyclone des Açores alors, dirige sur son flanc oriental les trajectoires des courants perturbés qui sont liées à une rupture du front polaire vers le Sud ou guidées par des dépressions installées sur la Méditerranée occidentale. Afin d'expliquer ces types de configurations, nous allons analyser les trois situations isobariques suivantes:

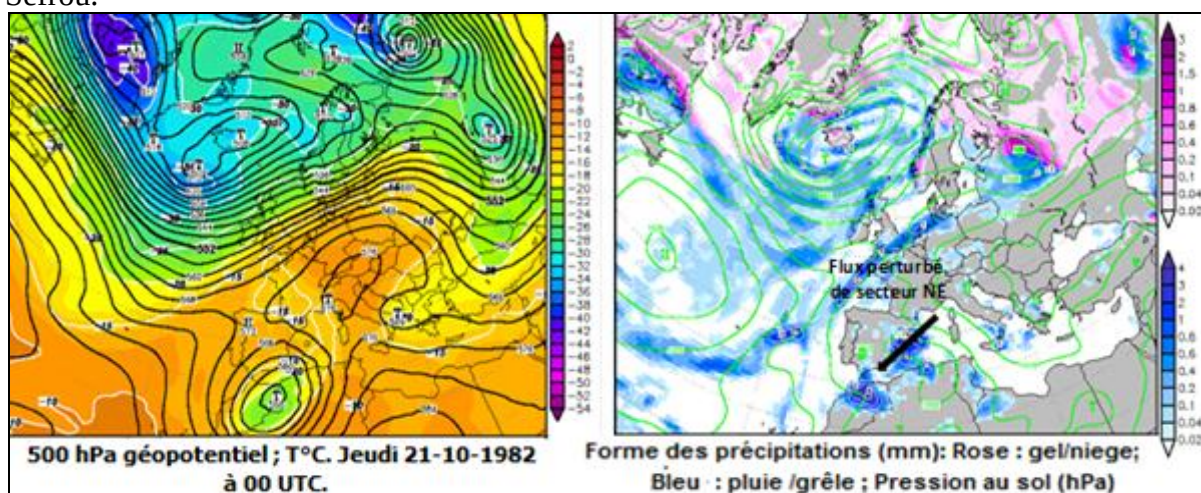
Situation isobarique du 10-10-1991, depuis le 08-10-91 la coulée polaire en altitude issue de l'Atlantique Nord a permis une descend froide vers l'atlantique proche (carte. n°24). Inversement l'air tropical chaud a pu atteindre la Norvège où on peut constater en revanche la présence d'une goutte chaude (-15°C).

Cependant au large des côtes ibériques et marocaines, s'est détachée une importante goutte froide (-20°C). En surface, la dépression au sol intéressant le Maroc et l'Espagne n'ont pas pu avancer vers le Nord-Est à cause de la présence de l'anticyclone sibérien. En prenant en compte l'emplacement de l'écoulement froid en altitude les fronts perturbés se sont déplacés suivant un secteur Nord-Ouest.



Carte. n°24: Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 10-10-1991.

• **Situation isobarique du 21-10-1982**, cette situation isobarique (caret. n°25) indique que la circulation ondulée des courants-Jet et l'échange méridien des masses d'air tropicales et polaire, sont à l'origine d'isolement d'une goutte froide -20°C au-dessus de l'Espagne et le Maroc. Cette goutte est responsable de la présence d'une faible cyclogenèse locale centrée sur la mer d'Alboran et convergent des masses humides atlantiques et méditerranéennes avec l'air polaire d'altitude. La masse nuageuse intéressant le bassin s'est déplacé depuis le sud de l'Espagne en réponse à l'ondulation cyclonique. La journée de ce 21 octobre était très pluvieuse sur le Moyen Atlas qui a reçu 91,2 mm à la station d'Ifrane aéroport, et 72 mm à Séfrou.

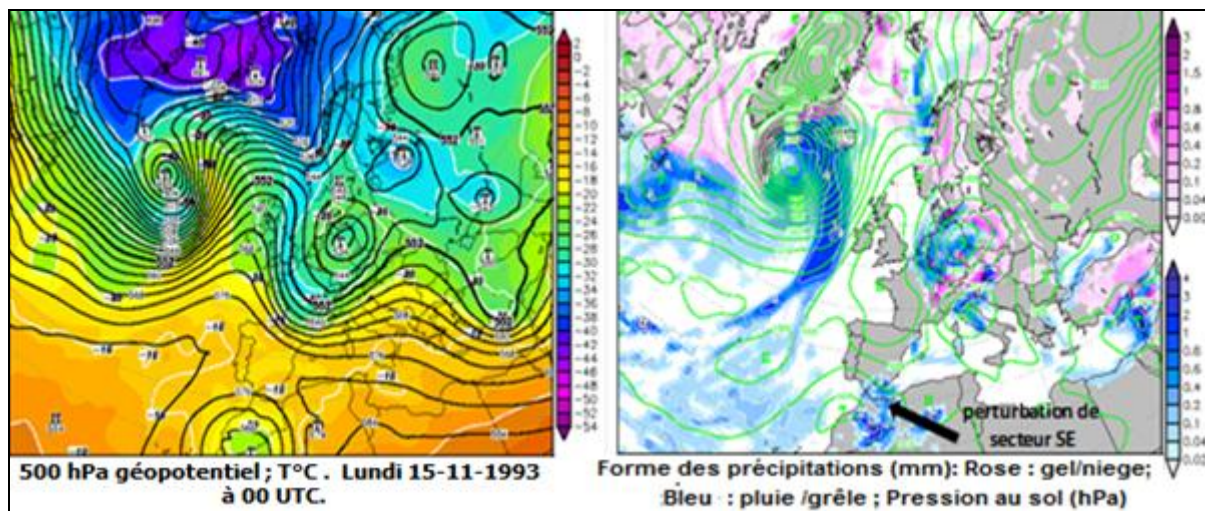


Carte. n°25: Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 21-10-1982.

• **Situation barométrique du 15-11-1993**, la situation isobarique en altitude du courant Ouest générale indique l'individualisation d'une goutte froide suite à un écoulement polaire

au sein d'une vallée froide dirigé vers le Maroc depuis le 8-11-1993. La rapidité du courant-Jet polaire sur l'Atlantique vers l'Europe occidentale a coupé une ondulation du courant-Jet subtropical à l'Est, ce qui a individualisé cette goutte froide sur le Maroc.

Celle-ci restant bloqué, elle a aspiré des masses d'air tropicales continentales et maritimes en les rendant instables, ce qui a produit un temps perturbé charriant des masses nuageuses de provenance Sud-Est. Les précipitations émanant de ce type de temps dans le bassin sont: 18 mm à Séfrou, 19mm à Bab Ouender et 82,5mm du 13 au 15 novembre, sur le Moyen Atlas à Aguelmane Sidi Ali. ...



Carte. n°26: Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 15-11-1993.

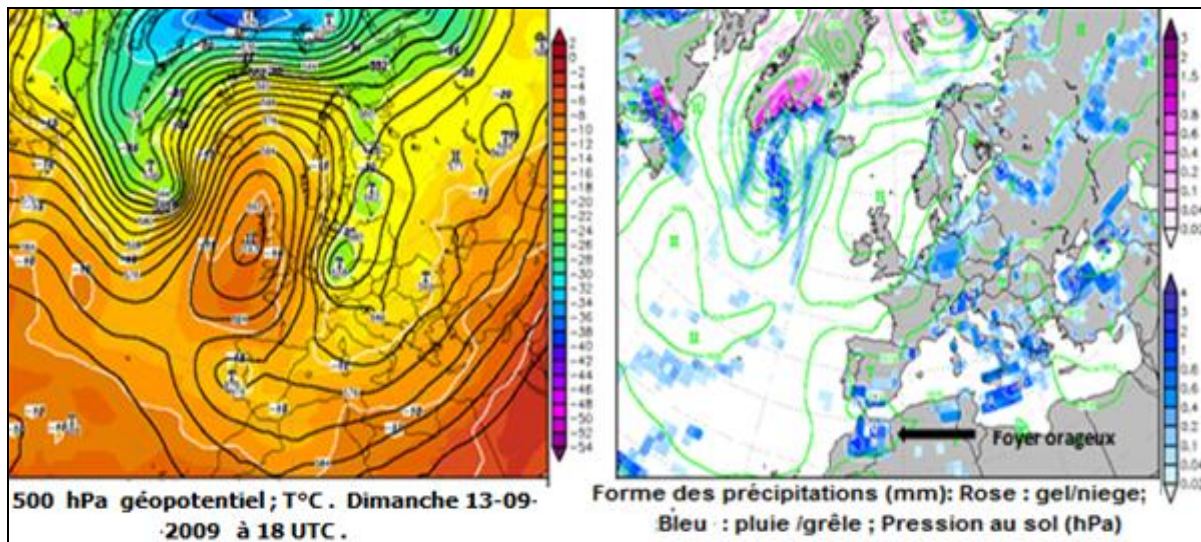
1.1.3.2.5. Les types de temps orageux

D'après WAHIBA. M (2012), les phénomènes météorologiques du type convectif naissent suite à un réchauffement de la surface du sol propulsant les masses d'air humides instables vers les couches supérieures de l'atmosphère. Si la quantité d'eau est suffisante dans l'air ascendant pour atteindre l'état de la saturation, des cellules convectives naissent et sont à la base de la formation des systèmes orageux. Ainsi des pluies violentes liées à des perturbations orageuses localisées et concentrées peuvent se produire dans le temps au sommet du Rif et du Moyen Atlas. Elles constituent aussi une source de risques de crues et des inondations menaçant les milieux et les populations locales dans le bassin versant de Sebou.

• **Situation barométrique du 13-09-2009**, en altitude du géopotential 500 hPa une faible circulation de l'air polaire vers le Sud a fait chuter les températures à ce niveau à -15° au Nord du Maroc, suite à un écoulement effectué depuis le centre européen (carte. n°27). En contrepartie la remontée de l'air tropical vers l'Atlantique Nord est soldée par la présence d'une goutte chaude (-10°) au voisinage de la Grande-Bretagne. Au sol un faible minimum barométrique en après-midi se trouve à l'origine d'un temps orageux sur les montagnes de

l'Atlas. Ce minimum a charrié de l'air tropical humide de l'océan proche en le rendant instable d'où la formation de cumulus nimbus sur les montagnes atlasiques.

Le Maroc pendant cette période se trouve à limite entre le versant Est de l'anticyclone des Açores et la frange Nord de la dépression thermique saharienne. Sur le Moyen Atlas ce type de temps a arrosé la ville de Meknès ; 66mm et Immouzzar Kandar avec 124mm, ce qui a provoqué des inondations de la ville de Fès à partir de l'oued l'Himmer.



Carte.n°27: Géopotentiel 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 13-09-2009.

Conclusion du 1^{er} chapitre:

À travers ce chapitre, nous pouvons reformuler les observations suivantes :

- Les mécanismes atmosphériques issus des différentes circulations sur Maroc, sont à l'origine des types de temps secs et pluvieux intéressant le pays. Ceci est lié à la situation géographique du pays aux latitudes subtropicales dans une zone de contact entre la zone d'influence polaire et les zones d'influences tropicales.

- En altitude atmosphérique, le courant-Jet subtropical connaît des fluctuations de vitesse et de déplacement aux niveaux temporel et spatial. Ainsi il est un principal facteur dirigeant la circulation atmosphérique générale sur le Maroc. Les ondulations du courant-Jet ont un effet important sur les centres d'action, que ce soit en altitude (les vallées et les crêtes planétaires) ou en surface (les anticyclones et les dépressions atmosphériques).

- L'anticyclone des Açores constitue un centre d'action efficace; il régule les types du temps en surface toute l'année. Sous l'effet du déplacement du courant-Jet subtropical, l'anticyclone des Açores prend plusieurs positions en matière d'extension géographique, ce qui permet à différentes masses d'air d'atteindre le Maroc. Si l'anticyclone des Açores est responsable de la genèse des conditions atmosphériques stables, pendant la plupart des jours de l'année, l'advection de l'air polaire en altitude suite aux ondulations des courants d'ouest

permet aux cyclogenèses atlantiques de se déplacer vers les latitudes marocaines, d'où l'installation de différents types de temps pluvieux sur bassin de Sebou.

- Les types de temps perturbés sont souvent accompagnés des pluies, parfois diluviennes qui peuvent provoquer des crues dans les régions les plus exposées à ces flux, surtout face aux flux perturbés de Nord-Ouest et Sud-Ouest, comme sur les versants montagneux du Moyen Atlas septentrional et méridionales de la chaîne Rifaine.

DEUXIÈME CHAPITRE:

Variabilité et régime pluviométrique du bassin versant de Sebou

Introduction:

Le présent chapitre est consacré à l'étude de la variabilité pluviométrique dans le bassin versant de Sebou. À cette fin, nous allons traiter les régimes des pluies qui se caractérisent par une forte irrégularité dans l'espace et dans le temps. Les hauteurs moyennes annuelles affichent plus de 1000 mm dans les zones montagneuses du Rif et du Moyen Atlas, mais ils baissent à moins de 500 mm sur les plaines et les vallées. Dans ce qui suit, nous allons effectuer une étude spatiotemporelle de la pluviométrie et de son régime dans le bassin, supportée par une étude fréquentielle des données.

2.1. Irrégularité des pluies annuelles

Afin d'étudier l'irrégularité des pluies annuelles dans le bassin versant de Sebou, nous avons choisi 13 stations pluviométriques, dont trois à l'amont de Sebou, quatre dans le bassin de l'oued Ouergha, deux au couloir de Taza et quatre dans le Moyen Sebou, le Gharb et le bassin de Beht. Les séries établies montrent la succession d'années pluvieuses et sèches durant une période de 34 ans. L'analyse des variabilités pluviométriques est effectuée à travers une étude des différents paramètres de dispersion (coefficient d'irrégularité¹⁶, coefficient de variation¹⁷ et écart à la moyenne¹⁸) afin de bien montrer le degré de fluctuation des pluies qui caractérisent les années au sein des stations étudiées.

2.1.1. Succession d'années humides et sèches

L'étude de l'irrégularité des pluies annuelles demande de prendre en considération la nuance régionale, et géographique qui intervient au sein de la série pluviométrique qui

¹⁶ : **CI** : c'est le rapport entre le module maximum et minimum ;

¹⁷ : **CV** : c'est le rapport entre l'écart type et la moyenne ;

¹⁸ : **Em = $\frac{\sum P_i^2}{\sum P_i}$** : Totale de l'année considérée ; P : Moyenne pluviométrique de la période ;

engendre une discordance sur le plan de la pluviosité (JANATI IDRISSE, 1993). Ainsi, la comparaison entre les marches annuelles de chaque sous bassin permet d'apporter les explications suivantes:

• **Le Haut Sebou** (Fig.n°14 et Tab. n°16), le bassin de Sebou en amont, est représenté par trois stations pluviométriques, placés sur les hauteurs montagneuses au-dessus de 1000 m. Le rapprochement des stations du Haut Sebou, permet d'identifier la variabilité pluviométrique dans la série statistique 1980-81/2013-14. La station d'Ait khabache a enregistré des pluies très importantes dépassant la moyenne de 356,7 mm. Les hauteurs de pluies varient d'un maximum de 632,10 mm en 2009-10 à un minimum de 188,6 mm en 1992-93, c'est-à-dire un écart de 443,5 mm. Les années qui ont connu un écart à la moyenne positive, ce sont des périodes telles que des années qui dépassent 77,21% comme en 1989-90 à 1997-98 de 2008-09 à 2010-11. Cependant, les années les plus sèches se traduisent par un écart négatif qui a atteint -47,13% en 1992-93.

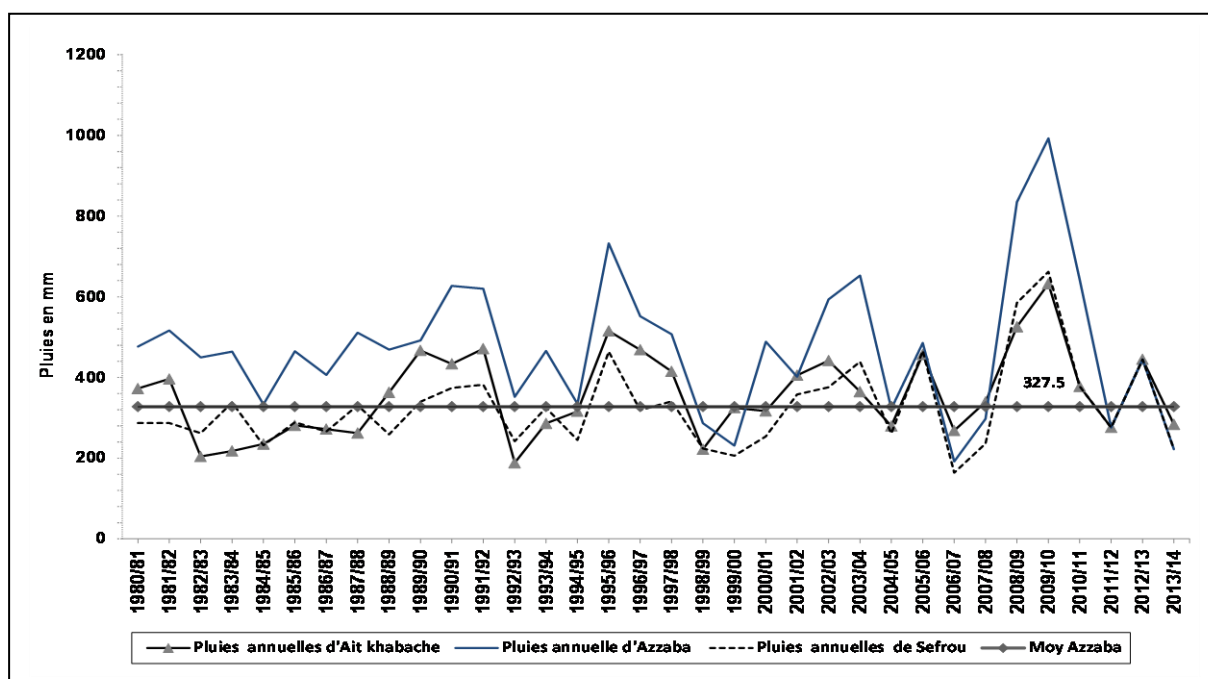


Figure. n°14: Hauteurs des pluies annuelles dans le Bv du Haut du Sebou.

La pluviométrie annuelle à la station d'Azzaba varie de 662 mm en 2009-10 à 164 mm en 2006-07, avec un écart de 498mm. Les années les plus pluvieuses sont des années qui dépassent la moyenne arithmétique 327,5mm. Les années positives sont traduites par un écart positif 102,1% comme en 2009-10. Par contre les années ayant un taux négatif sont plus fréquentes, à titre d'exemple l'année 2006-07 est la plus séchée avec un écart négatif de -49,9 %.

La station de Séfrou sur une altitude de 930 m, montre une variabilité importante et une répartition irrégulière des pluies d'une année à l'autre, avec une moyenne annuelle de 474,7 mm. Les quantités de pluies varient d'un maximum est de 662 mm en 2009-10 à un minimum

de 191,7mm en 2006-07. L'écart entre les deux années est de 470,3 mm. Celui-ci est positif avec 109,1% en 2009-10, en revanche l'année la plus sèche affiche un taux négatif de -59,61 % en 2006-07.

La variabilité pluviométrique dans le Moyen Atlas est plus nuancée entre les trois stations, car le coefficient de variation et d'irrégularité à la station d'Ait khabache (CV: 0,29 et CI: 3,35) est moins que la station d'Azzaba (CV: 0,32 et CI : 4,03) et Séfrou (CV: 0,40 et CI : 5,18).en raison de l'effet d'abri par contre la station d'Azzaba et plus exposées aux flux perturbés de Nord-Est.

• **Domaine rifain** (Fig.n°15 et Tab.n°16), la répartition des pluies dans le domaine rifain, exige l'examen des stations pluviométriques de Jbel Ouedka, Tabouda, Bab Ouender et Ain Aicha. La pluviométrie annuelle dans la station de Jbel Ouedka varie de 2471 mm en 1995-96 à 522,2 mm en 2008-09. L'écart entre deux années est de 1948,9 mm. Les années les plus pluvieuses, sont des années qui dépassent la moyenne de la série (1362,41mm). L'écart négatif à la moyenne est fréquent. Pendant les années 80 et 90, les valeurs dépassent -29,61% en 1991-92. Elles peuvent atteindre -61,68% dans la station de Jbel Ouedka. Pour cette dernière période, le coefficient de variation se situe à 0,39 et d'irrégularité à 4,73. Cette station aussi caractérise par des hauteurs de pluies importantes, sa situation à une altitude de 1115 m et sa position sur un versant montagneux exposé vers le Nord-Ouest, montre qu'elle est bien exposée aux perturbations pluvieuses en provenance de l'Atlantique.

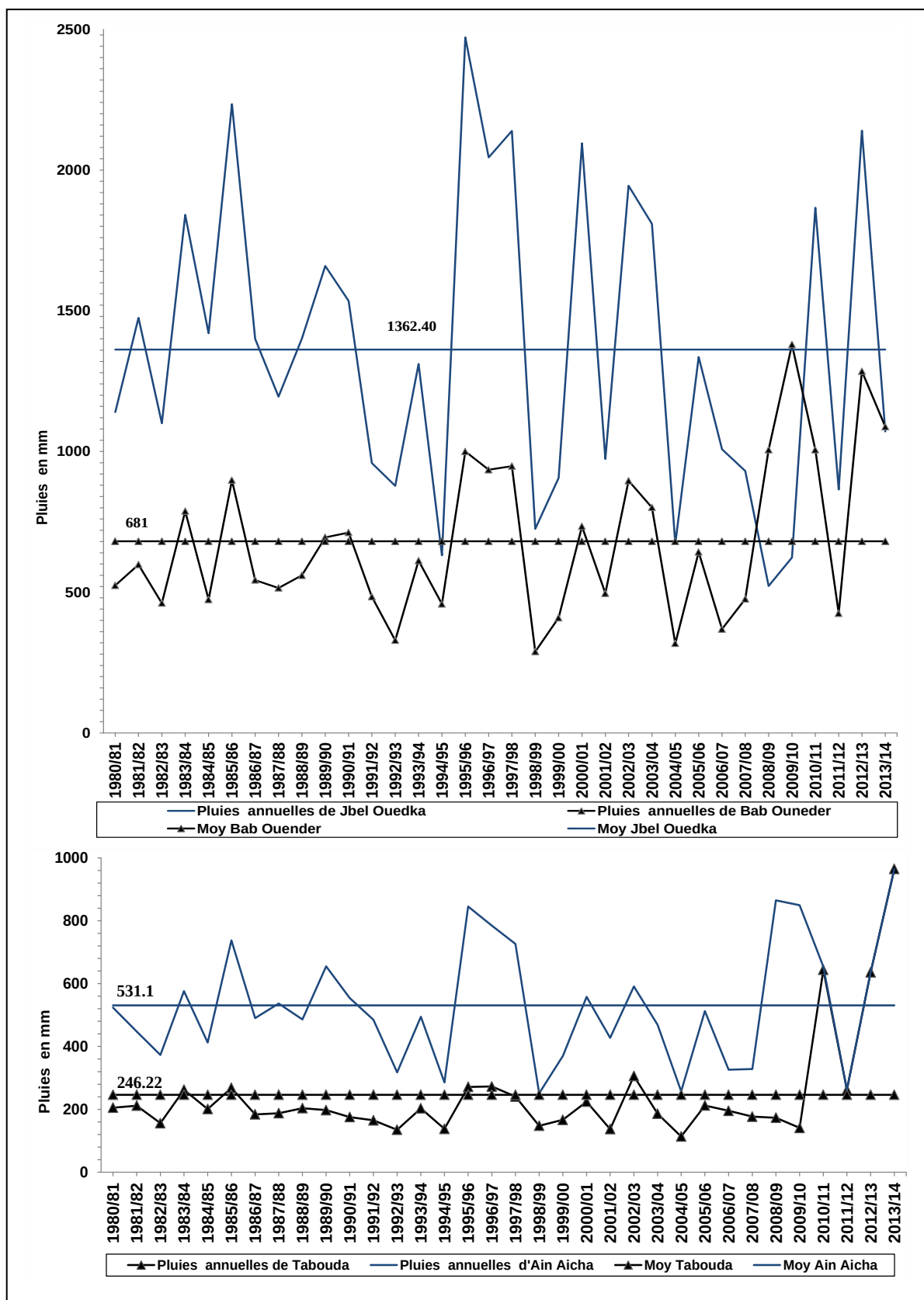
Vers l'Ouest du bassin de l'oued Ouergha, les hauteurs de pluies de la station de Tabouda varient dans le temps, la pluviométrie moyenne est de l'ordre 246,22 mm. Les données disponibles montrent un maximum de 965 mm en 2013-14 et un minimum de 113,6mm en 2004-05. Alors que l'irrégularité des pluies dans ce domaine affiche un coefficient de 8,49 et de variation de 0,49. Les années 1985-86, 1995-96, 1996-97, 2010-11, 2011-12, 2012-13 et 2013-14, sont caractérisées par une forte pluviométrie, alors que d'autres années sont plus ou moins proches de la moyenne interannuelle.

À l'Est du bassin, la station de Bab Ouender, indique une alternance d'années sèches et pluvieuses, avec une moyenne de 681mm. Les années humides dépassent 87,58% de la moyenne. Elles sont responsables de la genèse des crues et des inondations dans le bassin versant. Le maximum pluviométrique avoisine 1380 mm en 2009-10 et le minimum baisse à 289 mm en 1998-99. Le coefficient de variation dans ce domaine atteint 0,41 et d'irrégularité 3,85.

Dans la zone médiane, la station d'Ain Aicha a connu une succession d'années humides comme celles de 1995-96 à 1997-98, 2008-09 à 2010-11, et d'années sèches durant les années 80 et 90, surtout en 2003-04 et 2007-08. Le maximum pluviométrique est de 965 mm en 2013-14 et le minimum de 250,8 mm en 1998-99. L'écart à la moyenne est fréquemment

négalif. Le taux d'écart des années sèches dépasse -52,78% en 1998-99. Le coefficient de variation dans ce domaine semble plus faible par rapport aux autres stations, il est de l'ordre de 0,35 et d'irrégularité 3,85.

En somme, les domaines rifains reçoivent des apports pluviométriques très importants. Car ils sont bien exposés aux flux perturbés pluvieux pendant la saison froide. Les facteurs climatiques, géographiques et orographiques expliquent l'irrégularité des pluies dans le bassin versant de l'Ouergha.



Figures. n°15: Hauteurs des pluies annuelles au Bv du Rif et du Prérif.

• **Au bassin d'Inaouene** (Fig.n°16 et Tab.n°16), dans ce bassin intermédiaire entre le Rif et le Moyen Atlas, nous possédons deux stations pluviométriques représentatives; la station de Taza et Bab Marzouka:

À la station de Taza, les années pluvieuses et sèches varient d'une année à l'autre autour d'une moyenne de 551,8 mm. La série pluviométrique illustre un maximum de 1051 mm en 2012-13 et un minimum de 224 mm en 2006-07. Les années humides peuvent atteindre un écart de 90,47%. Les pluies dans cette région montrent, donc une irrégularité interannuelle frappante de 4,69 et coefficient de variation de 0,40.

La station de Bab Marzouka dans le couloir de Taza, entre le préif au nord et le Moyen Atlas au sud du bassin, enregistre une moyenne annuelle de l'ordre de 560,3 mm. L'année la plus pluvieuse est celle de 2013-14 (1051 mm) et la plus sèche est celle de 2006-07 (287 mm). L'écart à la moyenne dans ce bassin connaît une succession des années négatives qui dépassent -48.78% en 2006-07.

Les caractéristiques de la circulation atmosphérique générale concernant le Maroc, sont en relation avec le déplacement de courant-Jet subtropical sous forme d'ondulations qui permettent la descente des coulées froides polaires qui touchent le Nord du pays, ce qui favorise la succession des temps pluvieux durant la période de l'année.

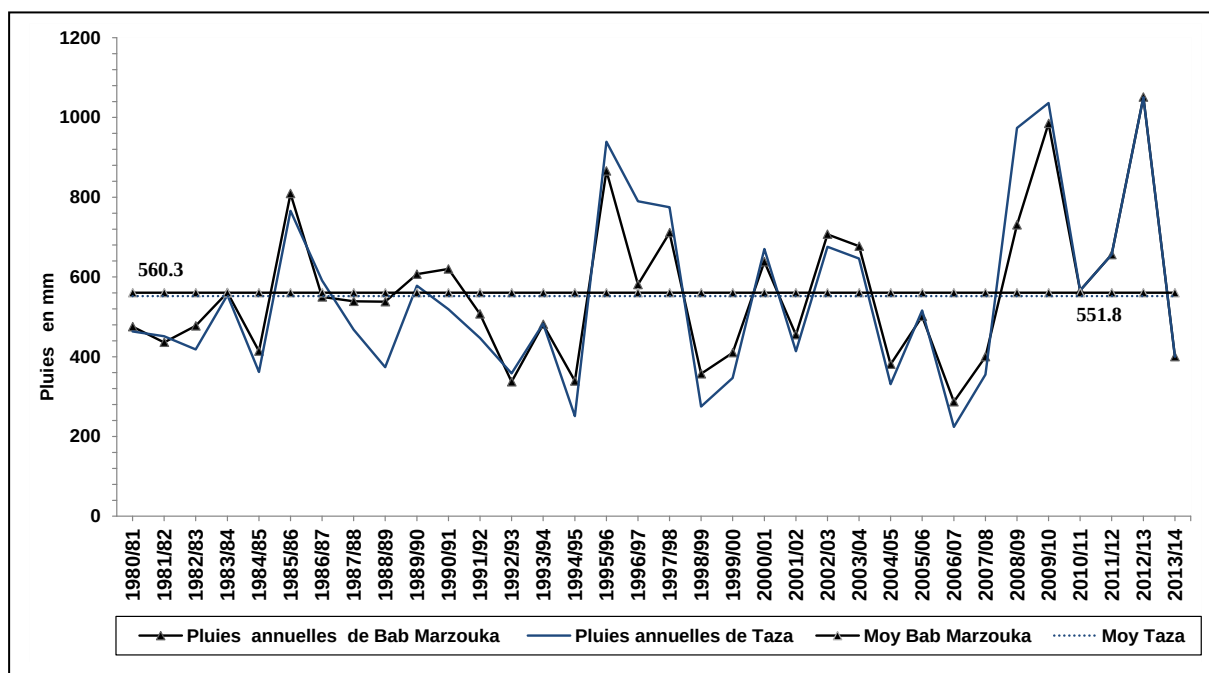


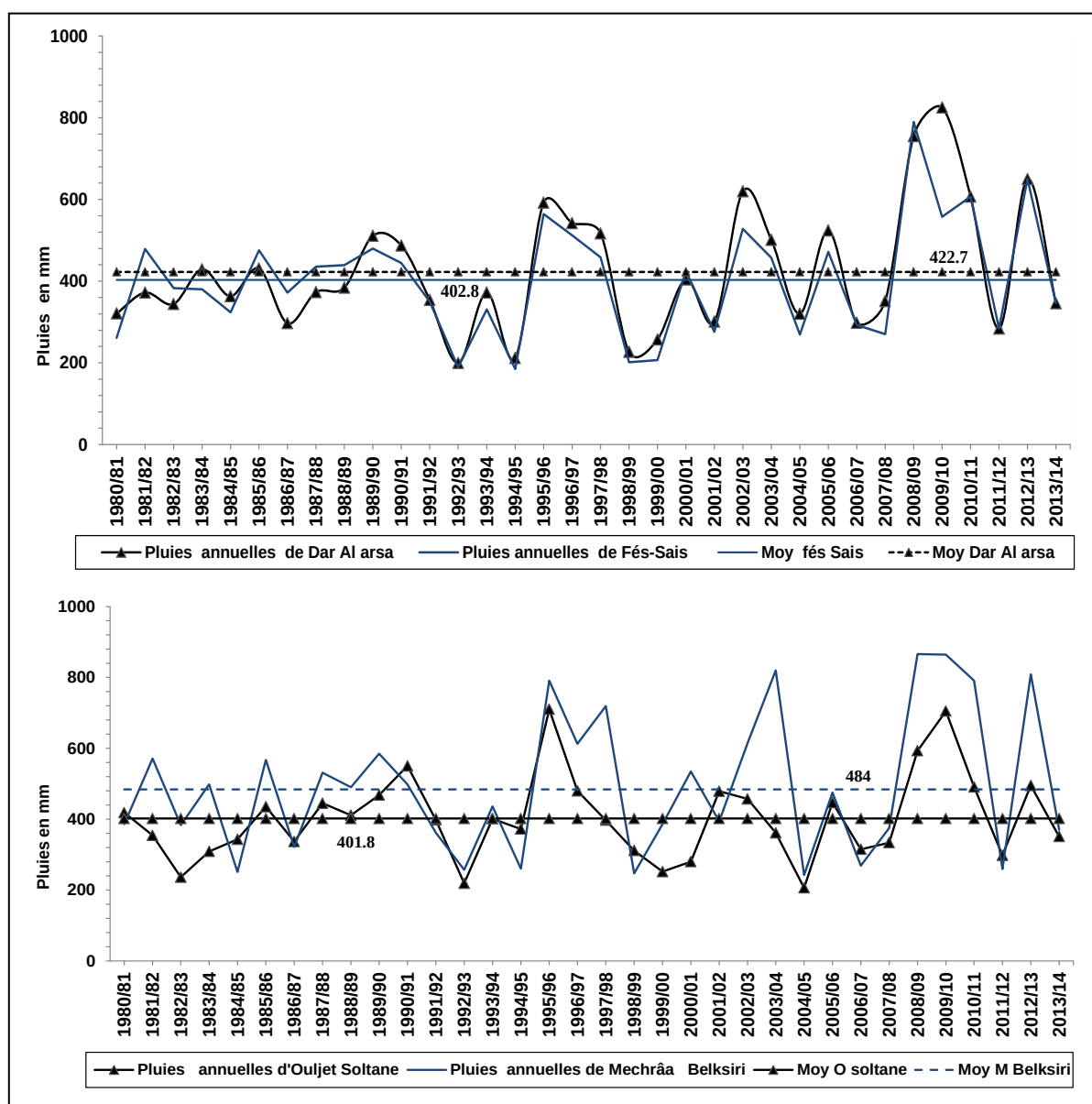
Figure. n°16: Hauteurs des pluies annuelles au Bv d'Inaouene.

• **Moyen Sebou, Beht et Gharb** (Fig.n°17 et Tab. n°16), ce sont des régions d'accumulation des apports d'eau reçues de l'amont du grand bassin versant de Sebou. Nous avons à ce sujet étudié la station de Fès-Sais, Dar Al Arsa, Oueljet Soltane et Mechrâa Belksiri:

Par sa situation géographique entre deux domaines montagneux, le Rif au nord et le Moyen Atlas au sud, la plaine de Sais est représenté par la station de Fès-Sais, sur une période de 34 ans. La moyenne est de 402,8 mm avec un maximum de 789,5 mm en 2008-09 et un minimum de 185 mm en 1994-95. L'écart à la moyenne enregistre -54,07% en 1994-95 tandis que l'écart positif augmente à 96% en 2008-09. Dans la plaine du Sais le coefficient de

variation est de 0,35 et d'irrégularité de 4,12 parce que cette station reçoit moins des pluies en raison de l'éloignement de la mer et de l'effet d'abri constitué par la chaîne rifaine.

L'analyse de la variabilité pluviométrique à la station Dar Al Arsa, indique que l'écart négatif à la moyenne représente -52,69 % en 1992-93, par contre l'écart positif atteint 95,17% en 2009-10. L'année la plus humide en 2009-10 avec 825 mm, la plus sèche en 1992-93 avec 200mm. Il y a aussi d'autres valeurs qui se rapprochent plus ou moins de la moyenne annuelle 422,7 mm. Le Moyen Sebou est en fait plus abrité par l'encadrement montagneux du Rif au nord et du Moyen Atlas au sud, ce qui explique la faible pluviosité dans ce domaine.



Figures. n°17: Hauteurs des pluies annuelles dans le Moyen Sebou, Bv du Beht et du Gharb.

L'examen de l'irrégularité des pluies de la station d'Oueljet Soltane, montre un maximum de 710,2mm en 1995-96 à un minimum de 206 mm en 2004-05. L'écart à la moyenne dans le bassin versant de l'oued Beht indique la prédominance des taux négatifs, alors que l'année la plus sèche à la station représente -48,73% en 2004-05. Les coefficients de

variation (0,29) et d'irrégularité (3,44) des pluies annuelles sont les plus faibles dans le bassin de Sebou. Le Beht bénéficie largement des flux perturbés pluvieux de Nord-Ouest dans la saison froide, ce qui contribue de façon générale à la variabilité pluviométrique d'une année à l'autre.

Dans la plaine du Gharb, la station de Mechrâa Belksiri, durant la période (1980-81 /2013-14), montre une variabilité pluviométrique très nette d'une année à l'autre, qui se traduit par l'alternance des années les plus pluvieuses dans la plaine qui dépassent la moyenne annuelle de 484mm. Les autres années sèches se rapprochent plus ou moins de l'écart à la moyenne qui baisse à un taux de -49,90% en 2004-05. À cette station l'année la plus pluvieuse est 2008-09 (866 mm) et la plus sèche est 2004-05 (242,5mm).

En général, la fréquence accrue des périodes sèches par rapport aux périodes humides dans le bassin de Sebou est due essentiellement à la position géographique du bassin dans une zone transitoire entre le climat tempéré au nord et subtropical au sud, et la présence de l'anticyclone des Açores sur le Maroc pendant une longue période, ce qui détourne la trajectoire des dépressions polaires plus au nord.

Tableau. n°16: Irrégularité interannuelle des pluies dans le Bv de Sebou entre 1980-81 et 2013-14.

Stations	Moy mm	Max mm	Min mm	M-m mm	M/m	σ	σ / M
Ait khabache	356,7	632,10	188,6	443,5	3,35	105,5	0,29
Azzaba	327,5	662	164	498	4,03	107,1	0,32
Séfrou	474,7	992,5	191,7	808,8	5,18	192,9	0,40
Jbel Ouedka	1362,41	2471	522,2	1948,8	4,73	538,7	0,39
Tabouda	346,84	965	113,6	851,4	8,49	172,1	0,49
Ain Aicha	531,11	965	250,8	714,2	3,85	190,9	0,35
Bab Ouender	681	1380	289	1091	4,77	280,3	0,41
Taza	551,8	1051	224	827	4,69	221,6	0,40
Bab Marzouka	560,3	1051	287	764	3,66	181	0,32
Fès	402,8	789,5	185	604,5	4,26	140,5	0,34
Dar Al Arsa	422,7	825	200	625	4,12	151,6	0,35
O Soltane	401,8	710,2	206	504,2	3,44	120,4	0,29
M Belksiri	484	866	242,5	623,5	3,57	197,4	0,40

2.1.2. Étude de l'efficacité des types de temps perturbés

2.1.2.1. Intérêt de l'étude et méthode d'approche

L'étude de l'efficacité des types de temps perturbés est une démarche importante pour notre étude de la variabilité hydroclimatique associée aux risques des crues. Les intensités des averses et les crues qui en découlent sont générées par des situations atmosphériques instables d'origine et de trajectoires différentes. Ainsi les configurations isobariques qui se succèdent sur le bassin chaque année influent variablement sur le climat du bassin. Car les effets

d'exposition pour chaque type de temps interviennent pour favoriser une zone par rapport à une autre (JANNATI IDRISSE. A 2017). Cette méthode nous permet également d'expliquer de manière plus approfondie la nature du régime pluviométrique extrême du bassin.

Afin de mener à bien cette étude, nous avons analysé les champs de pression et la direction des flux en surface et en altitude, pour déterminer l'origine des systèmes perturbés et leur trajectoire. À cet effet, nous nous sommes basés sur un archivage de cartes météorologiques dans le site allemand (<http://www1.wetter3.de>). La période de référence étudiée concerne les pluies journalières d'une période assez longue (1980-81/2013-14); pour 10 stations dans le bassin du Sebou.

L'étude porte sur la part des différents types de flux perturbés dans l'apport pluvial de la période examinée. Dans un objectif d'étudier les situations atmosphériques perturbées susceptibles de provoquer des crues dans le bassin du Sebou, nous avons considéré comme il a été évoqué, les jours qui ont dépassé 20mm. Ainsi, nous avons pris en considération cinq types de temps perturbés présentés comme suit :

- ✓ Type de temps avec flux perturbés de secteur Nord-Ouest et Ouest-Nord-Ouest
- ✓ Type de temps avec flux perturbés de secteur Sud-Ouest et Ouest-Sud-Ouest
- ✓ Type de temps avec flux perturbés de secteur Nord-Est
- ✓ Type de temps avec flux perturbés de secteur Nord
- ✓ Type de temps orageux

2.1.2.2. La part de l'efficacité des situations pluvieuses sur le plan annuel

La lecture des cartes isobariques nous a permis de rechercher les types de temps perturbés et leur efficacité dans le bassin versant de Sebou pendant la période allant de 1980-81 à 2013-14 (Fig.n°18):

• **Au Bv du Haut Sebou**, la fréquence des situations pluvieuses au niveau annuel selon les stations pluviométriques d'Ait khabache et Azzaba montre la domination des perturbations du Nord-Ouest et Ouest-Nord-Ouest qui ont enregistré un taux de 55%. Cela est en rapport avec une bonne exposition du Moyen Atlas vers les influences maritimes. Par contre, les perturbations de Sud-Ouest et Ouest-Sud-Ouest, n'ont représenté que 18,3%. En revanche les autres flux sont beaucoup moins importants comme les perturbations de secteur Nord-Est ; 5,3%. Celles de Nord, 4,6%. En raison de la sensibilité du Moyen Atlas aux temps orageux. Ces types de situation ont enregistré un taux de 16,8%. On note également que les années 1981-82, 1990-91 et 2001-02 sont les années les plus pluvieuses, d'où une fréquence accrue des jours excédant 20mm qui ont un rôle non négligeable dans la genèse des crues inondables dans le Haut Sebou.

• **Dans le Bv d'Inaouene**, l'étude de la part d'efficacité des types de temps dans le couloir de Taza durant la période étudiée (1980-81/2012-13), montre que le total des jours pluvieux qui a dépassé 20 mm est de 274 jrs. Ces flux perturbés sont distribués comme suit :

D'abord on note la prédominance des situations pluvieuses dont les masses d'air humides proviennent du secteur Nord-Ouest à Ouest-Nord-Ouest. Ces dernières ont participé avec un taux de 65,7% dans le bilan de la période d'étude. Ces types des temps sont actifs durant les années 1985-86, 1995-96, 2002-03, 2007-08, 2008-09, 2011-12 et en 2012-13, puisque les influences des vents océaniques remontent les versants du Rif et déversent leurs quantités importantes des pluies qui font gonfler les cours d'eau du bassin d'Inaouene.

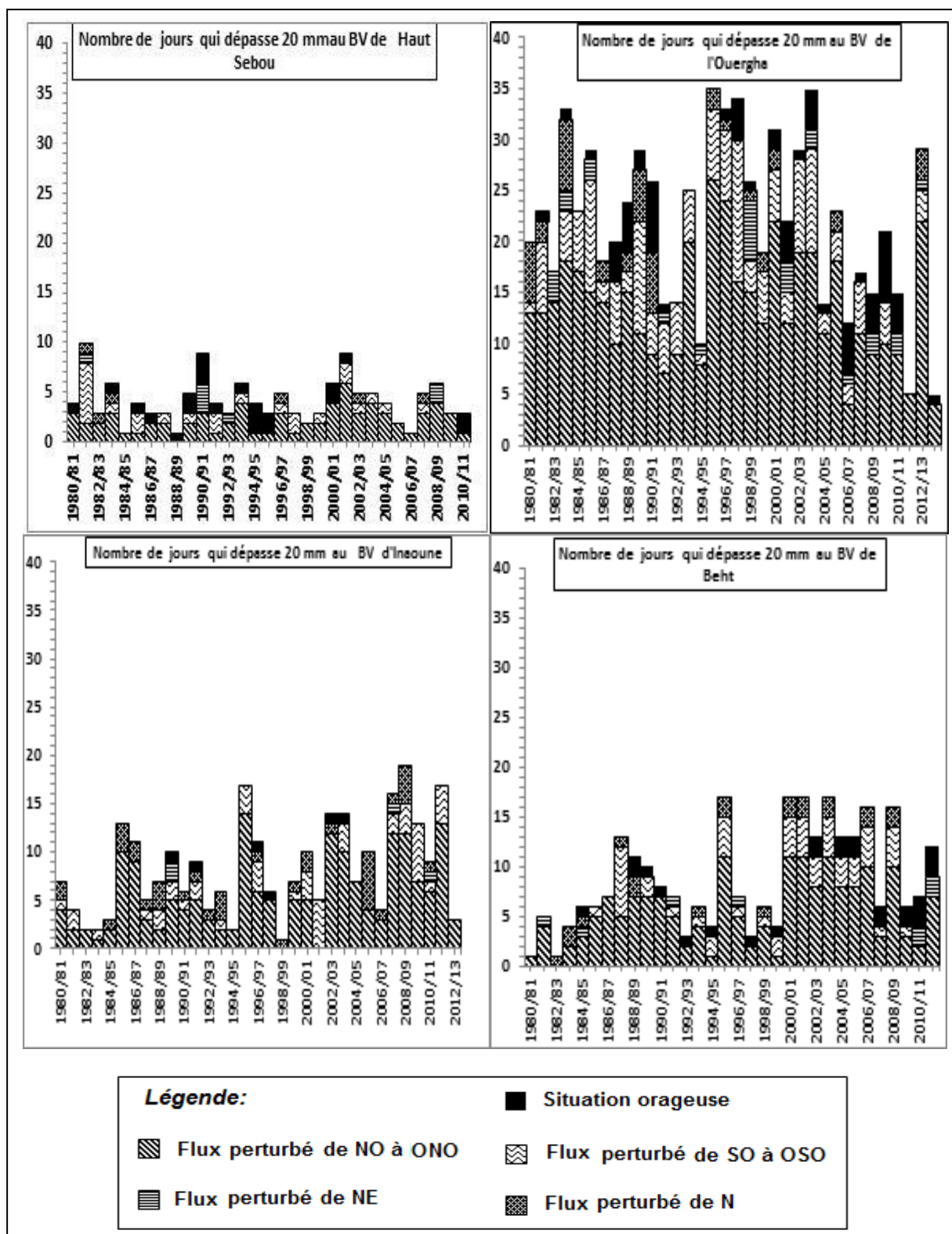
Les configurations atmosphériques responsables des flux qui se déplacent sur le bassin d'Inaouene du secteur Sud-Ouest à Ouest-Sud-Ouest se classent en deuxième position avec un taux de 17,2%. Celles-ci sont particulièrement plus fréquentes pendant les années 2001-02, 2009-10 et en 2011-12. Ensuite, les autres types de temps perturbés sont moins fréquents, comme les flux de Nord-Est, 1,5%, et les situations orageuses, 2,2%. Cependant, les flux perturbés de Nord ont participé avec un taux de 13,5% en raison de l'ouverture du bassin vers les influences méditerranéennes.

• **Sur le Bv de l'Ouergha**, l'étude atmosphérique des cartes synoptiques géopotentielle de 500 hPa, et au Sol a concerné un total de 745 jours, la valeur la plus élevée dans le bassin versant de Sebou. Ce nombre de jours traduit la fréquence importante des flux perturbés pluvieux sur les versants sud de la chaîne rifaine. Cet apport pluvial dépassant 20mm agit considérablement sur le comportement hydrologique de l'oued Ouergha qui se manifeste sous forme des crues inondables.

L'observation des flux perturbés pluvieux annuels, donne la priorité aux flux perturbés de Nord-Ouest à Ouest-Nord-Ouest dans le bassin de l'Ouergha avec un taux de 61,9%. Ce type de temps a connu une activité importante pendant les années 1983-84, 1993-94, 1995-96, 1996-97, 2000-01, 2002-03, 2003-04, 2005-06 et 2012-13 durant la saison hivernale. En deuxième place, les flux perturbés de Sud-Ouest à Ouest-Sud-Ouest ont participé de façon moins importante durant les années 1985-86, 1989-90, 1997-98 et 2003-04 en enregistrant un taux de 20,5% du bilan total de la période étudiée. Nous constatons que les autres types des temps perturbés dans le bassin, n'ont affiché que des taux faibles : les flux perturbé du Nord (5,8%), ceux de Nord-Est (3,5%), mais les situations orageuses semblent très actives sur les montagnes avec un taux de 8,3%.

• **Au Bv de l'oued Beht**, le nombre de types de temps perturbés les plus pluvieux dans le bassin durant la période d'étude entre 1980-81 et 2011-12 est environ 282 jours dépassant 20 mm. Les flux perturbés dans le Beht se caractérisent par une irrégularité annuelle, comme on a pu le constater dans les autres sous bassins de Sebou. Néanmoins, on remarque la

prédominance des flux perturbés de Nord-Ouest à Ouest-Nord-Ouest qui ont atteint 62,1%. Ces flux perturbés ont connu une activité importante pendant les années 1995-96, 2000-01, 2001-02, 2003-04, 2006-07 et 2008-09 en raison de l'ouverture des versants Nord du bassin de Beht vers les vents océaniques. Concernant les flux perturbés de Sud-Ouest à Ouest-Sud-Ouest ont enregistré un taux de 18,8% durant les années les plus actives: 1987-88, 1995-96, 2000-01, 2001-02, 2003-04, 2006-07 et 2008-09.



Figures. n°18: Les efficacités des situations pluvieuses pour quelques années abondantes dans le Bv de Sebou (1980-81/2013-14).

Les autres types de temps ont affiché les taux les plus bas. Le flux perturbé de Nord et de Nord-Est ont atteint respectivement 2,8% et 7,4%. Et puis, les situations orageuses qui ont participé avec 8,9% du total, en raison de la sensibilité des montagnes du Moyen Atlas pendant la saison chaude de l'année à ces types de temps.

2.1.3. Étude fréquentielle des pluies annuelles

Après l'analyse de la variabilité interannuelle des pluies, nous avons effectué une étude fréquentielle afin de déterminer la probabilité des pluies annuelles et leurs temps de retour. Selon GIRET, (2007), l'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, afin d'en définir les probabilités d'apparition future. En se basant sur cette méthode, nous avons essayé d'analyser les données des 12 stations significatives afin de déterminer les fréquences de leurs hauteurs pluviométriques annuelles et de prévoir leur probabilité de retour.

Pour cela, nous nous sommes basés sur l'ajustement statistique des données, en utilisant les lois fréquentielles les plus courantes. Ces lois fréquentielles (lois de Gauss et Gamma...) sont des équations qui décrivent le comportement statistique des pluies annuelles, afin de prévoir leurs fréquences.

2.1.3.1. Méthode d'ajustement aux lois statistiques

Les séries des pluies annuelles ont été utilisées pour l'analyse fréquentielle. Il n'existe pas des règles théoriques pour justifier le choix d'une telle loi, mais puisqu'on dispose des variables aléatoires représentant des données pluviométriques annuelles, les lois fréquentielles telles que la loi normale de Gauss et celle de Gamma sont les plus adaptées.

La première opération à effectuer est le classement des données par ordre croissant. On calcule les fréquences cumulées en fonction du rang suivant la formule:

$$Fi = \frac{2i - 1}{2n}$$

On porte sur papier gaussio-arithmétique les points correspondant aux couples, valeur de la variable, fréquence correspondante. Lorsque les points sont approximativement alignés, il est possible d'appliquer par exemple les lois de Gauss, pour cela, il convient de déterminer deux points afin de tracer la droite d'ajustement. Notre choix porté sur le 1^{er} décile et le 9^{ième} décile, qui sont calculés selon l'expression suivante :

$$P(10\%) = \bar{P} - 1.28. \sigma \quad \text{et} \quad P(90\%) = \bar{P} + 1.28. \sigma$$

D'une façon générale, l'estimation des pluies fréquentielles se fait en appliquant la formule¹⁹ suivante:

$$P(t) = \bar{P} + (\mu f. \sigma p)$$

¹⁹ $\bar{P}$: La moyenne des précipitations ;

σp : Ecart type ;

μf : Variation réduite de Gauss à la fréquence choisie qui est donnée par des tables.

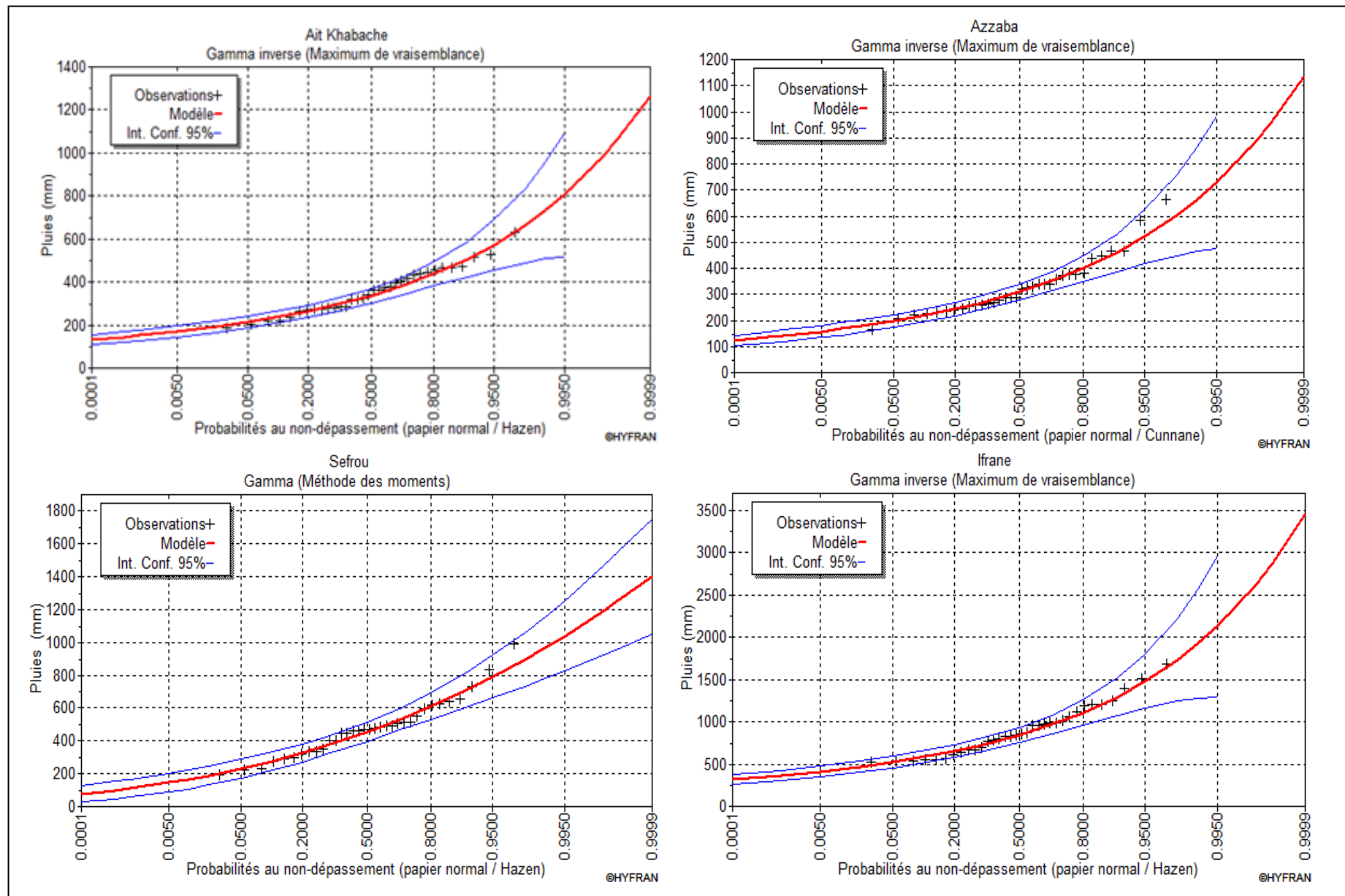
Si les points ne sont pas alignés, on applique la **loi Gamma** par la recherche d'un coefficient en applique l'équation suivante:

$$\lambda = \bar{P}^2 / \sigma^2$$

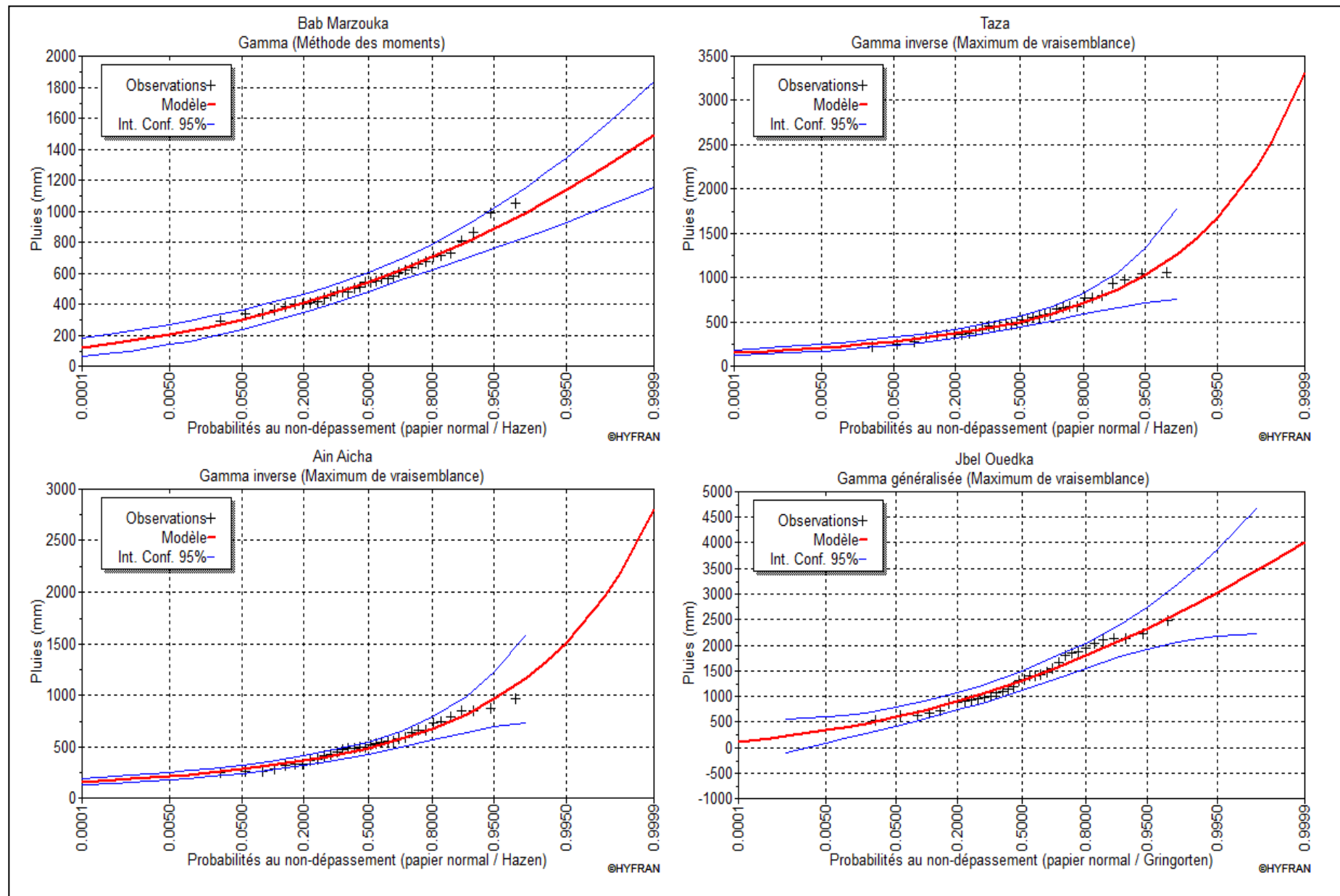
L'ajustement devrait se faire par une courbe, il convient de déterminer 7 ou 8 points. Pour cela, nous disposons d'abaques qui nous donnent le taux de probabilité d'une pluie **Pi** en fonction de **α** et du variable réduite **μ**. Sachant que **P = σ. μ**, il suffit de multiplier **σ** par les différentes valeurs de **μ** lues sur l'abaque pour avoir la valeur de la pluie au niveau de la probabilité donnée par le croisement de la droite **σ** et des courbes de l'abaque.

2.1.3.2. Résultats graphiques des ajustements aux lois statistiques adoptées

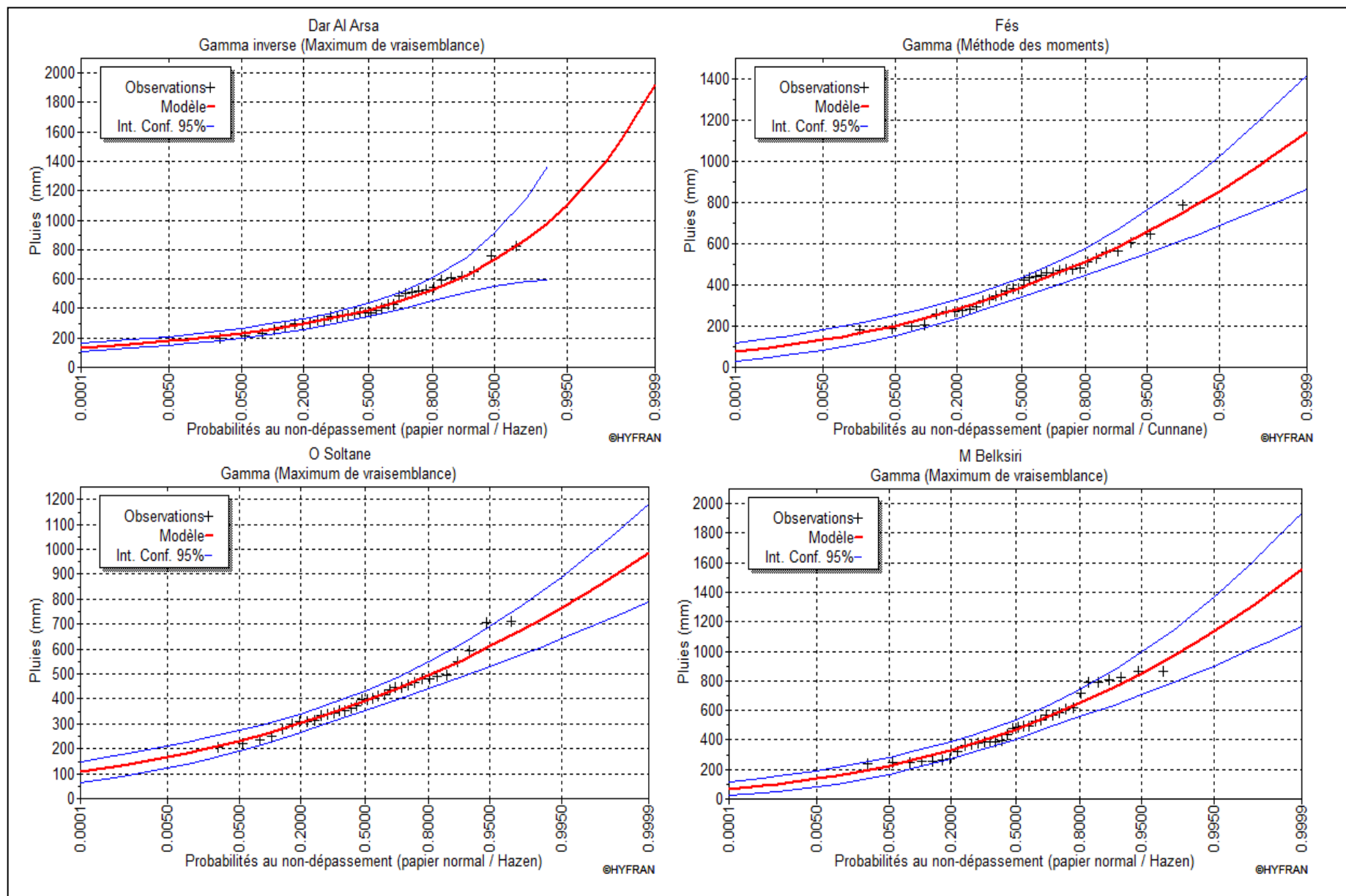
L'analyse fréquentielle des pluies annuelles a été réalisée sur quelques stations dans le bassin. Comme les séries pluviométriques comportent des périodes hétérogènes, nous avons choisi une période qui nous permet de garder l'homogénéité entre les stations pluviométriques. À cet égard, nous avons présenté les résultats graphiques (Fig.n°19-21) de l'étude fréquentielle des pluies annuelles dans les sous-bassins de Sebou en prenant comme référence la période allant de 1980-81 à 2013-14. Pour cet objectif, nous avons testé un ensemble de lois en utilisant un programme statistique appelé HYFRAN qui permet de gagner du temps réservé aux calculs et aussi de déterminer celles qui s'ajustent le mieux avec les pluies annuelles dans le Sebou.



Figures. n°19: Ajustement statistique des pluies annuelles dans le Bv du Haut Sebou (1980-81/2013-14).



Figures. n°20: Ajustement statistique des pluies annuelles dans le Bv d'Inaouene et Ouergha (1980-81/2013-14).



Figures. n°21: Ajustement statistique des pluies annuelles dans le Moyen Sebou, Beht et Gharb (1980-81/2013-14).

2.1.3.3. Fréquence des pluies annuelles

Suite à l'ajustement des séries des pluies annuelles, nous constatons que les valeurs (**Pi et Ui**) sont plus proches d'une courbe de tendance. Cette distribution reflète une très grande irrégularité interannuelle. À l'échelle des quantiles, les valeurs de probabilité sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau. n°17: Quantiles des pluies dans le Bv de Sebou entre 1980-81 et 2013-14.

Stations	Nb d'année	F0.2	F0.4	F0.6	F0.8	Médiane	Moyenne
Ait khabache	34	265	324	384	437	337	356,7
Azzaba	34	243	297	351	399	308	327,5
Séfrou	34	326	429	533	611	454	474,7
Ifrane	34	654	810	967	1110	842	899,4
Fès	34	282	366	450	514	387	402,8
B Marzouka	34	405	514	623	704	541	560,3
Taza	34	364	478	593	707	498	551,8
Ain Aicha	34	362	471	573	676	486	531,1
Jbel Ouedka	34	901	1225	1550	1790	1300	1362,4
D Al Arsa	34	296	375	455	530	390	422,7
O Soltane	34	302	372	443	495	391	401,8
M Belksiri	34	329	443	558	647	470	495,2

Le tableau n°17 indique que la probabilité d'avoir des fortes valeurs, se situe à priori sur les versants exposés aux masses d'air humides et aux perturbations océaniques: F: 0,8 =1790 mm à Jbel Ouedka, 676mm à Ain Aicha. En revanche, une atténuation de la probabilité des pluies aux non dépassements s'étale sur des régions influencées par le phénomène d'abri ou la continentalité : F: 0,8=399 mm à la station d'Azzaba, 437 mm à Ait Khabache et 514mm à Fès.

Concernent les faibles probabilités, ces dernières réagissent pour certaines régions d'une manière un peu différente des fortes probabilités. Les moins pluvieuses accusent des valeurs probables plus élevées que d'autres qui sont arrosées, F: 0,2= 243mm à Azzaba contre 901mm à Jbel Ouedka. On peut dire qu'il y a une relation étroite entre les effets de l'orographie et l'éloignement des stations par rapport aux masses d'air humides et la distribution des pluies dans l'espace. À partir des ajustements réalisés au niveau de ces 12 stations, nous pouvons mettre en évidence les valeurs probables des pluies pour les années exceptionnellement sèches et pluvieuses dans le tableau n°18).

Les résultats de l'étude fréquentielle (Tab.n°18) mettent en évidence la position limitée de certains territoires du bassin par rapport à la sécheresse ou l'humidité. En effet, la station d'Ait khabache est marquée par un climat plus sec dans la plaine du Guigou ; une année sur 5

son total annuel ne peut dépasser 437mm. Il en est de même pour la station d'Azzaba qui caractérise les vallées du Haut Sebou (dans les limites considérées) avec moins de 399mm, ce qui explique le rôle du phénomène d'abri imposé par les crêtes du Moyen Atlas contre les flux humides de secteur Nord-Ouest.

Dans le versant Sud Rifain la station d'Ouedka avec un climat humide, une année sur 5 les pluies annuelles atteignent 1790mm. Il en est de même pour la station Mechrâa Belksiri dans la plaine du Gharb avec 647mm. Cette humidité se développe en raison de l'exposition du domaine rifain aux flux perturbés de Nord-Ouest, suite à l'ouverture de la plaine du Gharb vers les vents pluvieux océaniques.

Tableau. n°18: Valeurs probables des années exceptionnellement sèches et pluvieuses dans le Bv de Sebou entre 1980-81 et 2013-14.

	« Les années sèches »						«Les années humides »				
Fréquences	1/100 ans	1/50 ans	1/20 ans	1/10 ans	01/5 ans	½ ans	01/ 5 ans	1/10 ans	1/20 ans	1/50 ans	1/100 ans
A khabache	181	194	214	235	265	337	437	506	574	664	734
Azzaba	167	178	1797	216	243	308	399	461	521	602	664
Séfrou	166	189	229	270	326	454	611	706	791	895	968
Ifrane	339	471	524	578	654	842	1110	1290	1480	1730	1920
Fès	149	169	202	236	282	387	514	590	658	741	799
B Marzouka	226	253	299	344	405	541	704	801	887	991	1060
Taza	225	244	278	313	364	498	707	864	1030	1260	1460
Ain Aicha	229	247	280	313	362	486	676	815	959	1160	1330
Jbel Ouedka	396	470	596	725	901	1300	1790	2080	2330	2630	2840
D Al Arsa	192	207	232	259	296	390	530	629	731	870	982
O Soltane	181	200	231	261	302	391	495	556	610	675	721
M Belksiri	157	182	225	268	329	470	647	754	851	969	1050

Globalement à travers le résultat montré dans le tableau n°18, les différentes zones du bassin versant de Sebou se basculent entre le climat semi-sec dans les dépressions et les plateaux (Sais et Prérif) et le climat humide dans les sommets montagnards (Rif et Moyen Atlas).

2.2. Le régime pluviométrique du Bv de Sebou

La répartition saisonnière et mensuelle des pluies constitue un aspect très important de l'étude climatique où les pluies se concentrent pendant des saisons et des mois particuliers et s'affaiblissent durant d'autres. Cette étude a pour objectif de comprendre les variations temporelles des pluies et déterminer les fluctuations interannuelles des volumes précipités dans le bassin versant de Sebou. Pour cela, nous nous sommes basés sur les 13 stations significatives dans le bassin.

2.2.1. Distribution spatio-temporelle des pluies saisonnières

La variation saisonnière des pluies dans le bassin versant de Sebou (Tab.n°19) sera calculée à partir des valeurs moyennes mensuelles des pluies, afin de quantifier la part moyenne de chaque saison.

• **Dans le Haut Sebou**, les pluies se concentrent en automne, avec une moyenne hivernale de 103,2 mm à Ait khabache, 97,5mm à Azzaba et 127,4mm à Séfrou. Le printemps et l'hiver sont plus ou moins arrosés, avec une légère différence des moyennes saisonnières, tandis que l'été est relativement faible pour l'ensemble des stations.

• **Au Rif**, en saison très humide (Hiver), la quantité d'eau enregistrée aux différentes stations varie en moyenne de 592,02 mm à Jbel Ouedka, 297,5mm à Bab Ouender et 229,89 mm à Ain Aicha. Le printemps et l'automne ne sont plus ou moins arrosés que l'hiver, avec une légère différence des moyennes saisonnières, tandis que la saison sèche est globalement faible pour toutes les stations.

• **Dans le bassin d'Inaouene**, la saison très humide enregistre une quantité d'eau moyenne de 235,6mm à Taza et 229,89mm à Bab Marzouka. Les saisons moins humides (Automne et Printemps) se caractérisent par une légère différence des moyennes saisonnières, cependant la saison sèche est relativement faible pour l'ensemble des stations.

• **Au Moyen Sebou et la plaine du Gharb**, la moyenne saisonnière de la saison humide est de 170,9mm à Fès-Sais, 174,6mm à Dar Al Arsa, 176,7mm à Oueljet Soltane et 215,7mm à Mechrâa Belksiri. La saison la plus ou moins humide, oscille entre 88,2mm à Oueljet Soltane et 120,2mm à Dar Al Arsa en automne. En plus au printemps les valeurs enregistrent entre 108,7mm à Fès-Sais et 125,4mm à Oueljet Soltane. Néanmoins, la saison sèche est généralement de faibles pluies.

Tableau. n°19: Les pluies moyennes saisonnières dans le Bv de Sebou (1980-81/ 2013-14).

Stations	Automne	Hiver	Printemps	Été
Ait khabache	103,2	82,2	111,9	59,4
Azzaba	97,5	116,4	105,7	17
Séfrou	127,4	184,8	94,1	24,6
Bab Ouender	187,6	297,5	186,1	9,8
Jbel Ouedka	365,37	592,02	383	26,27
Tabouda	78,26	93,44	67,99	7,46
Ain aicha	142,19	229,89	147,38	11,67
Taza	150,8	235,6	158,8	5,7
Bab Marzouka	152,8	214,5	182,7	11,5
Fès	116,1	170,9	108,7	7,3

Dar Al Arsa	120,2	174,6	119,9	8
Oueljet Soltane	88,2	176,7	125,4	11,5
Mechrâa Belksiri	153	215,7	119,8	6,8

En somme, la variabilité pluviométrique est très nette au niveau saisonnier. Cette variabilité est attribuée à la nature du type de temps pluvieux qui prévaut pendant la saison froide, tandis que les temps secs prédominent pendant les saisons chaudes. Par conséquent, on peut dire que, l'intensité des pluies tombées en automne et en hiver, contribue de manière significative à l'émergence des crues dans le Sebou.

2.2.2. Les pluies moyennes mensuelles du Sebou et leurs variabilités

La répartition temporelle des pluies selon les mois, est une donnée importante pour les comportements hydrologiques. Elle permet aussi de connaître la distribution des pluies au cours de l'année. Pour analyser les pluies moyennes mensuelles, nous avons établi la carte du régime pluviométrique du bassin versant de Sebou (carte.n°28).

• **Au Moyen Atlas**, la carte pluviométrique montre une variation des régimes pluviométriques qui semblent révéler un caractère hivernal et printanier. De ce fait, apparaissent des discordances régionales de l'apport pluvial entre les stations. Or, même si les mêmes types de circulation affectent l'ensemble du bassin, leur efficacité pluviométrique varie d'une région à l'autre, en fonction essentiellement de l'altitude, de latitude et de l'orientation des versants par rapport aux flux perturbés. En effet les mois pluvieux se concentrent entre octobre et avril. Le mois de novembre enregistre des valeurs maximales importantes surtout à Séfrou avec une moyenne mensuelle de 67,7 mm et en même mois la station d'Azzaba affiche 43,2mm avec un coefficient de variation de 0,6 pour les deux stations. Pour la station d'Ait Khabache, le mois le plus humide est avril qui a enregistré une quantité pluviométrique moyenne de 42,3mm avec un CV de 0,8. Les mois les plus secs varient aussi selon les stations, car les moyennes mensuelles minimales se localisent en juillet; 3,6 mm à Azzaba (CV: 1,8), Séfrou; 5,5mm (CV: 1,8). En outre, les mois de juin et août sont un peu arrosés, du fait qu'ils correspondent à la période des situations orageuses au début et à la fin de l'été.

Dans le Rif, au niveau du bassin versant de l'Ouergha, le régime pluviométrique représenté dans la carte n°28, indique que 90% de la pluviométrie mensuelle est concentré durant la période pluvieuse qui s'étale du mois d'octobre à mai, suite à la prédominance des flux perturbés humides de Nord et de Nord-Ouest et de Sud-Ouest. On remarque aussi que les valeurs moyennes mensuelles maximales des quatre stations pluviométriques, se situent en décembre avec 112mm à Bab Ouender, 82,6mm à Ain Aicha. Ces deux stations présentent un coefficient de variation de 0,9. En outre à la station Jbel Ouedka, le maximum de novembre a atteint 231,6 mm, par contre cette moyenne descend considérablement à 40,4 mm pour la station de Tabouda, alors que le CV pour les deux stations est de 0,7.

Les valeurs minimales sont enregistrées en juillet; 1,5mm pour la station de Bab Ouender (CV: 2,2), 1,6mm à Jbel Ouedka (CV: 1,9), 0,7mm à Tabouda (CV: 2,7) et 1,7mm à Ain Aicha (CV: 2,3). On peut signaler que les mois de juin et août sont plus pluvieux au sein de cette saison estivale.

• **Au bassin d'Inaouene**, le régime pluviométrique est plus équilibré pendant la saison froide de l'année au niveau de chaque station étudiée. En effet, celui-ci constitue une zone intermédiaire entre deux massifs structuraux, le Rif au nord, et le Moyen Atlas au sud, ce qui donne au bassin une situation avantageuse qui lui permet de bénéficier des apports pluvieux à travers l'effet d'altitude (Moyen Atlas oriental) et de canalisation des masses d'air atlantiques, et méditerranéennes.

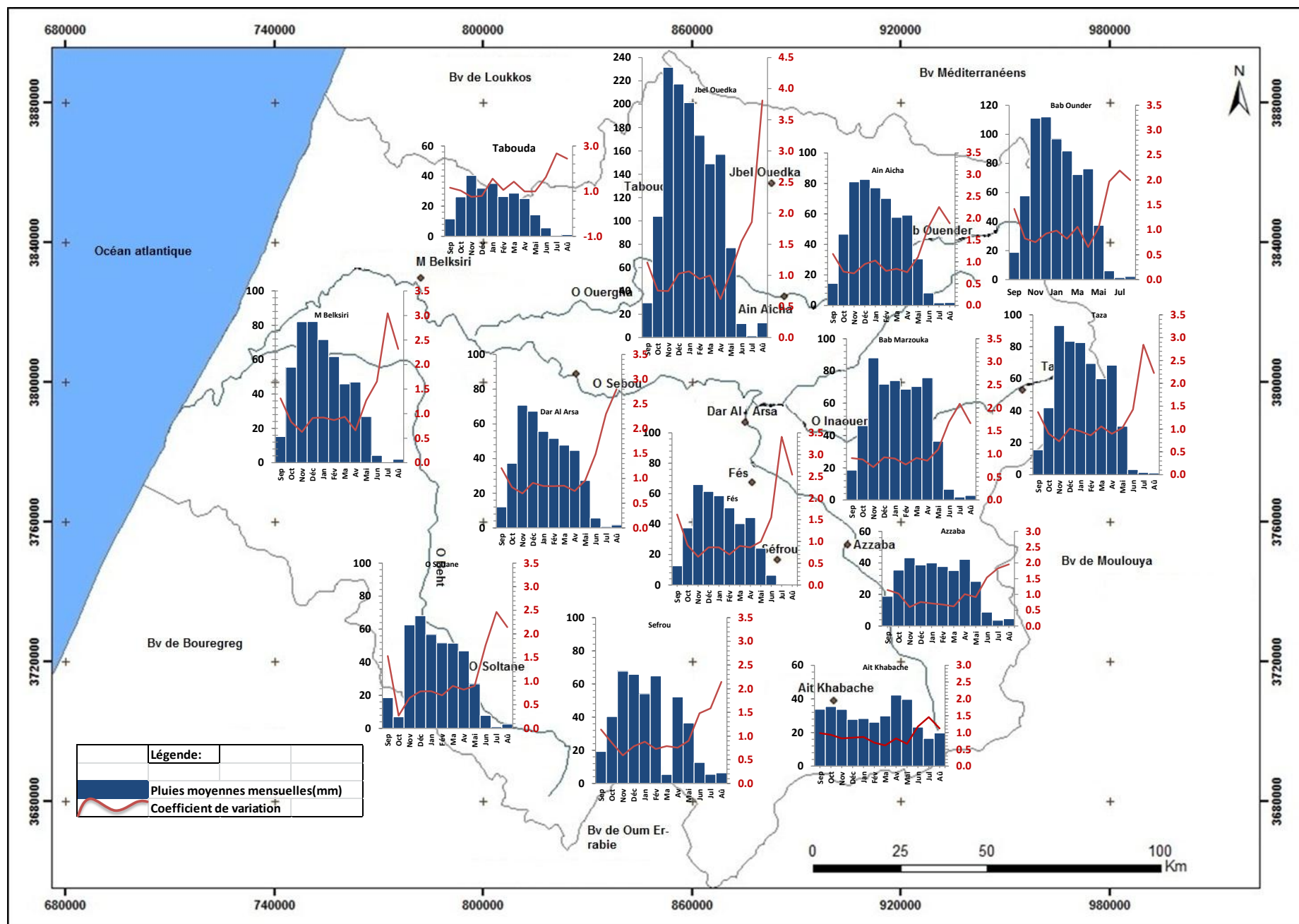
L'analyse des histogrammes montre que la période de pluviométrie importante commence dès le mois de septembre pour les deux stations observées et s'étend jusqu'au mois de mai. Novembre est le mois le plus pluvieux avec 93,3mm à la station de Taza, 88,1mm à Bab Marzouka, d'où un coefficient de variation de 0,7 pour les deux stations. Cependant, les pluies estivales, principalement orageuses sont inférieures à 1,1mm à Taza en août (CV: 2,2), 1,9 mm en juillet à Bab Marzouka (Cv: 2,1).

• **Dans la zone de Sais, Moyen Sebou, Beht et Gharb**, le mois de novembre à la station de Fès-Sais est le plus pluvieux avec 66mm et un CV de 0,6, et également à Dar Al Arsa avec 70,8mm et un CV de 0,7. En décembre la station d'Oueljet Soltane a enregistré 68,2mm avec un CV de 0,8 et à Mechrâa Belksiri, les pluies moyennes s'élèvent à 82,2mm d'où un CV de 0,9. En revanche, les mois secs sont en relation avec la prédominance des hautes pressions sur le Maroc pendant la saison estivale. De ce fait, les valeurs pluviométriques minimales enregistrées dans toutes les stations en mois de juillet sont dérisoires, 0,4mm à Fès-Sais (CV: 3,4), 0,7mm à Dar Al Arsa (CV: 2,3), 1mm à Oueljet Soltane (CV: 2,5), et 0,5mm pour la station de Mechrâa Belksiri (CV: 3).

En conclusion, le régime pluviométrique du Sebou est un régime affecté par les caractéristiques du climat méditerranéen avec deux saisons au sein de l'année; pluvieuse et sèche. En considérant l'année hydrologique celui-ci prend une forme pyramidale où se dégage la période froide de novembre à avril comme la phase la plus pluvieuse en particulier en hiver pour le versant rifain. Cependant ce caractère pyramidal est plus adouci au Moyen Atlas à cause d'une contribution plus importante des pluies printanières. On peut même connaître un équilibre entre tous les mois de l'année à cause des pluies orageuses comme on a pu le constater au sein des vallées du Haut Sebou qui connaissent un effet d'abri affectant les pluies hivernales. La phase estivale normalement est la période la plus sèche de l'année qui représente un véritable creux dans le graphique. Cela est dû à l'installation d'un mode de circulation sec qui n'empêche pas toutefois de connaître des temps orageux sur les montagnes

du Moyen Atlas en particulier. Celle-ci contribue d'une manière assez importante dans le bilan pluviométrique de ces régions.

.



Carte. n°28: Régime pluviométrique dans le Bv de Sebou (1980-81/2013-14).

2.2.3. Étude du régime d'efficacité des situations perturbées

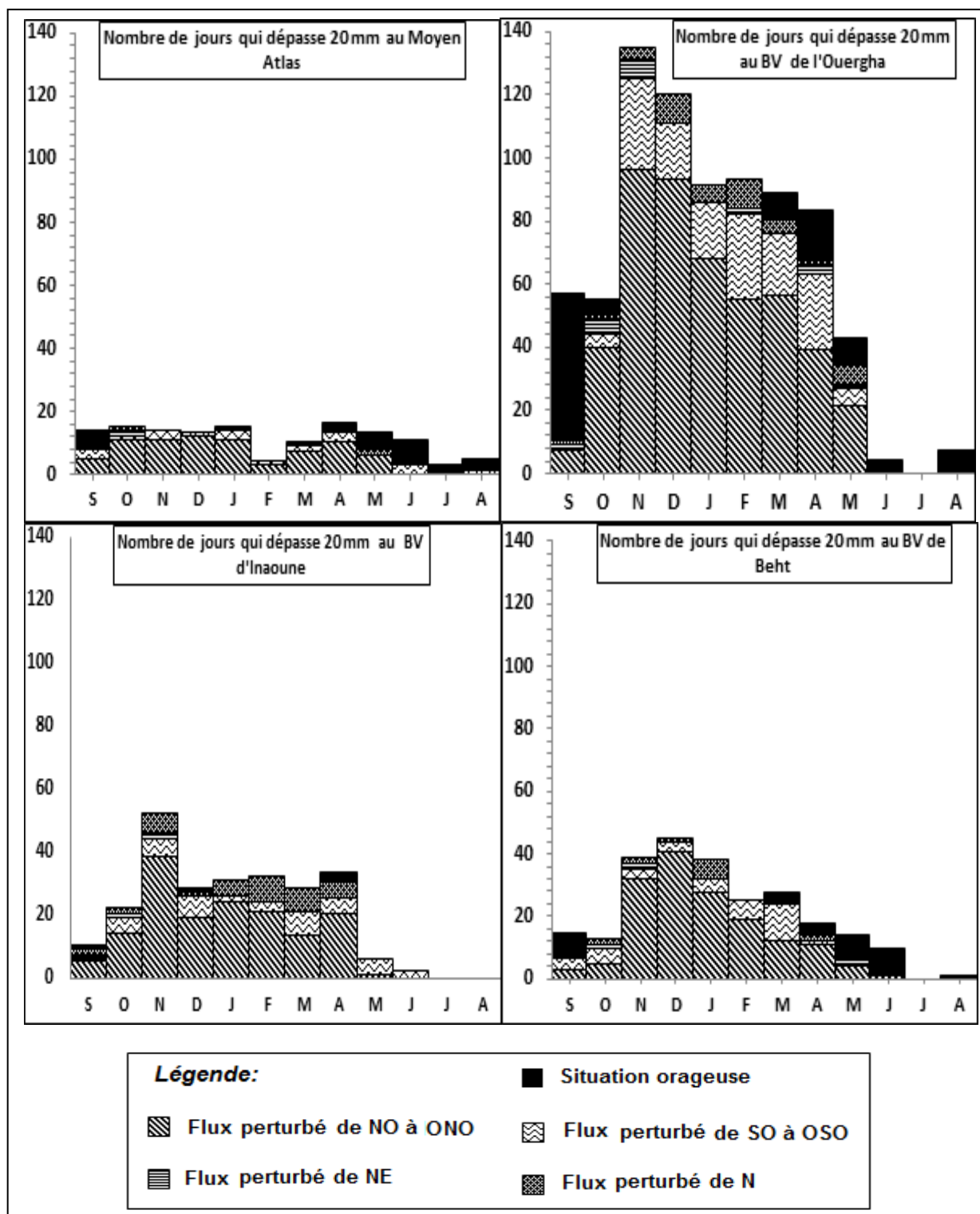
Les histogrammes (Fig.n°22) représentant la part d'intensité de chaque situation pluvieuse dans le bilan mensuel de la période d'étude entre 1980-81 et 2013-14, montrent bien la division de l'année en deux périodes distinctes: une période pluvieuse d'octobre à avril et une période sèche de mai à septembre. La saison pluvieuse trouve son maximum en novembre avec 135 jours, mais la chute est brutale, on passe de 120 jours en décembre (Bv de l'Ouergha) ayant reçu plus du 20mm à un endroit quelconque du bassin à 43 jours en mai. Cependant les situations pluvieuses semblent se manifester de façon variable selon les sous- bassins suivants:

➤ **Dans le Moyen Atlas**, la fréquence des situations atmosphériques pluvieuses à l'échelle automnale, représente 32,3% du bilan total des flux perturbés, qui peuvent générer des crues inondables dans le Haut Sebou pendant les mois les plus humides, 10,5% en septembre, 11,3% en octobre, et 10,5% en novembre. Les flux perturbés hivernaux l'emportent avec un taux de 24,1% du bilan global. Ces flux sont divisés selon les mois suivants : 9,8% en décembre, 11,3% en janvier, et 3% en février. On note que les deux saisons se caractérisent par l'influence des vents marins issus de NO et d'ONO qui sont plus fréquents. Les situations pluvieuses printanières contribuent quant à elle avec 29,3% de bilan réparti comme suit : en mars; 7,5%, avril; 12%, et mai; 9,8%. Finalement, la saison estivale participe avec un apport qui représente 14,3% du total. En effet, le Moyen Atlas est plus sensible durant cette période à la formation des temps orageux ; 8,3% en juin, 2,3% en juillet, et 3,8 % en août.

• **Dans le domaine rifain**, les situations perturbées automnales participent avec 31,8% du bilan global avec; 7,3% en septembre, 7,1% en octobre et 17,4% en novembre. La saison hivernale domine avec 39,1% d'apport distribués variablement entre décembre, 15,4%, 11,7% en janvier, 11,7% et février, 12%. On peut dire que les flux perturbés de NO et ONO sont les plus dominants dans ce domaine, en raison de l'exposition des versants rifains vers les influences atlantiques humides. Les situations pluvieuses printanières constituent un taux de 27,7%, où mars et avril participent avec 22,2% du total. Finalement, les situations instables estivales semblent faibles et ne représentent qu'un taux de 1,4% du bilan global.

• **Au Bv d'Inaouene**, la saison automnale contribue avec un taux de 34,4% du bilan global. Les flux pluvieux susceptibles de donner des crues inondables de l'oued Inaouène sont de l'ordre de 4,1% en septembre, 9% en octobre, et 21,3% en novembre. Les situations perturbées hivernales affichent un taux de 37,3% du bilan. le mois de décembre avec 11,5%, janvier 12,7, et février 13,1%. Les situations atmosphériques humides printanières ont apporté 27,5 % du bilan la période étudiée où mars et avril ont participé avec un taux de 25%. L'ensemble des situations pluvieuses de la saison estivale avaient un apport dérisoire ; 0,8 % de bilan total. Nous indiquons ici que le bassin d'Inaouène est plus influencé par les flux humides de secteur NO et

ONO pendant la période froide, en revanche se sont et les situations thermodynamiques et orageuses qui sont les plus fréquentes durant la saison chaude de l'année.



Figures. n°22: Régime des situations atmosphériques perturbées de bilan global dans le Bv de Sebou (1980-81/2013-14).

• Dans le Bv de Beht, les situations pluvieuses frontales présentent un taux de 27,2% du bilan. Les flux perturbés qui peuvent provoquer un débordement de l'oued Beht au sein de la période froide affichent 6,1% en septembre, 5,3% en octobre et 15,9% en novembre. Les flux

hivernaux humides contribuent à raison de 43,9 % du bilan. Ce taux se concentre dans les mois suivants: 18,3% en décembre, 15,4% janvier, et 10,2% en février, durant lesquels le bassin est ouvert vers les masses d'air froides de NO et d'ONO. Les flux printaniers les plus humides représentent un taux de 24,4% du bilan et sont subdivisés comme suit: 11,4% en mars, 7,3% en avril, et 5,7% en mai. L'apport des situations estivales humides est faible; 4,5% du bilan seulement et sont due à l'activité orageuses en amont du bassin.

La règle générale, c'est l'existence d'un régime pluviométrique à deux saisons; froide de novembre à avril qui présente nettement une fréquence importante des jours pluvieux excédant 20mm, et chaude de mai à octobre où cette fréquence est beaucoup plus faible. A l'exception de vallées abritées du Moyen Atlas qui connaît une baisse apparente de ces jours pendant la saison hivernale. Ainsi l'étude du régime d'efficacité des flux perturbés a mis en évidence la prédominance des flux de NO à ONO et des flux de SO à OSO qui participent de manière importante dans le bilan global des pluies du bassin. Les autres flux restent moyennement moins importants avec des faibles valeurs par rapport aux flux précédents.

2.2.4. Étude du régime probable des pluies dans le bassin

L'examen du régime pluviométrique probable est une autre méthode qui nous permet de connaître l'importance et la distribution des années très sèches, sèches, normales, humides et très humides entre les mois de l'année. En plus elle nous donne encore une autre idée sur les caractéristiques de la variabilité pluviométrique mensuelle au sein des stations étudiées. À ce sujet nous avons employé une fonction statistique dans Microsoft Excel qui s'appelle (**centile inclure**), grâce à laquelle il nous est possible de connaître les valeurs probables correspondant aux fréquences que nous avons choisies pour cette étude après la distribution statistique des séries. Ainsi nous avons exploité nos résultats pour déterminer le régime pluviométrique probable dans le bassin versant de Sebou en prenant en compte les fréquences suivantes : 10%, 25%, 50%, 75% et 90%. Au sein du bassin de Sebou, nous avons distingué entre cinq régions géographiques au comportement pluviométrique différent (carte .n°29 et annexe. n°1):

• **Dans le Haut Sebou**, reste une nette différence entre le régime probable étudié dans les zones de Moyen Atlas exposées aux influences humides atlantiques et celles qui sont abritées de ces flux perturbés. Les stations étudiées malheureusement les plus abritées suggèrent que les quantités des pluies sont moins importantes. S'ajoute aussi le recul des pluies de ces dernières années qui a contribué à cette diminution. La différence entre la fréquence de 25% et 90% est de 120mm en décembre. La baisse de la fréquence de 25% apparaît nettement en septembre; 1mm à la station de Séfrou, en octobre 9 mm à Azzaba, et en novembre 10 mm à ait Khabache. Quant à la fréquence de 90%, elle est passée à 143mm à la station de Séfrou et 84mm à Azzaba en mois de décembre et 85mm à Ait Khabache en novembre. En revanche, la fréquence de 50% dans le Moyen Sebou varie entre 40mm à Azzaba et 60mm à Séfrou en novembre, ce qui traduit l'effet d'altitude et d'exposition des versants. Au printemps à la fréquence 90%, les pluies du mois

d'avril ne peuvent excéder 104mm à Séfrou, 89mm à Ait Khabache et 75 mm à Azzaba, En été à la fréquence de 25% enregistre seulement 2mm en juillet à Séfrou et Ait Khabache et 1mm à Azzaba. Cependant on constate que les pluies probables pendant cette saison sont les plus élevées du bassin à cause de la sensibilité de cette région à l'activité orageuse. En effet aux fréquences 75% et 90% on peut relever des pluies supérieures à 20 et 40mm à Ait khabache; 56 mm ne peuvent être dépassé en juin et 44mm en Août à la fréquence de 90%.

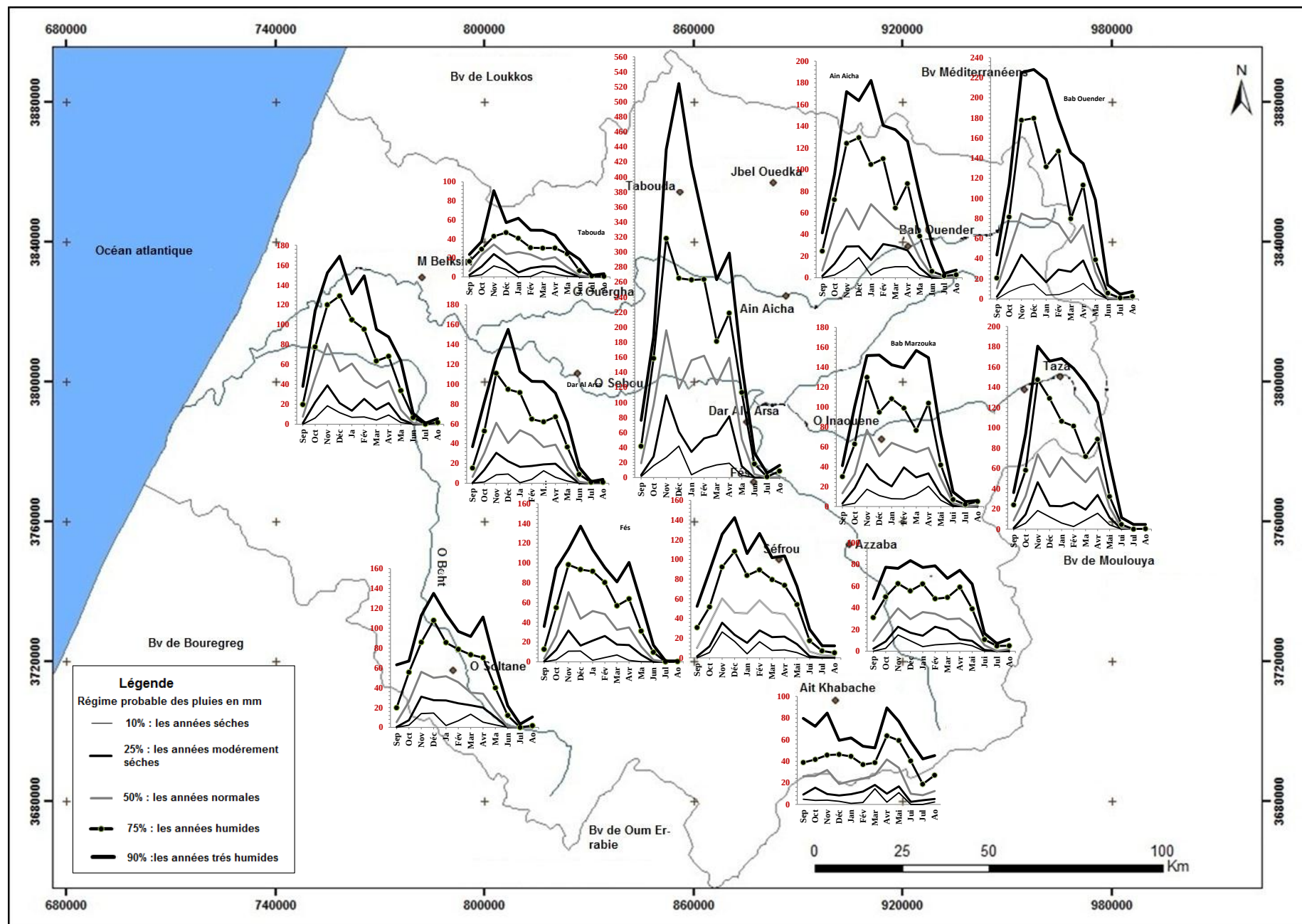
- **Dans le Bv d'Inaouene**, on note que les valeurs mensuelles à la fréquence de 25% ne dépassent pas 46mm dans la plupart des stations étudiées. Ainsi, la médiane représentant la moitié des années à la fréquence de 50% n'a pas dépassé 77mm au mois de novembre de même, à la fréquence 10% les pluies ne dépassent pas 18mm alors qu'en 75% les pluies sont inférieures à 148mm au cours du même mois. En effet au bassin d'Inaouene, les perturbations humides de Nord et N-O représentent 34,4% du bilan global des flux dans le bassin pendant la saison automnale, mais ils constituent 37,3% en hiver. l'étude du régime probable dans ce bassin, montre un certain équilibre entre les mois de la saison froide d'une part et entre les différents niveaux de probabilité. Exceptée pour la station de Taza où les fortes probabilités s'écartent encore plus de probabilités médianes et inférieures, en particulier aux mois de novembre, décembre et janvier.

- **Dans le Bv de l'Ouergha**, le régime mensuel des pluies fréquentielles met en évidence la nette différence entre les valeurs inférieures et supérieures, en particulier pendant la période froide de l'année, indiquant une diminution significative des pluies entre les mois de la période étudiée. La tendance à la sécheresse de ces dernières années a alimenté cette contradiction. on considérant les valeurs qui ne peuvent être dépassées pendant 25% des années qui sont considérées comme sèches, on relève moins de 44mm dans toutes les stations étudiées: 44mm à Bab Ouender 29mm à Ain Aicha et 24mm à Tabouda. À l'exception de la station de Jbel Ouedka qui enregistre des quantités importantes de 109 mm.

Il faut signaler dans ce bassin que le mois de novembre se situe comme un maximum principal au niveau des années sèches et subhumides à la station de Jbel Ouedka, cependant c'est le mois de janvier qui l'emporte au niveau des années exceptionnellement humides. À l'ouest vers la station d'Ain Aicha et Bab Ouender on retrouve le mois de décembre pour les années subhumides. Ainsi les valeurs de 75%, sont respectivement, à Bab Ouender; 180mm, à Ain Aicha; 129mm et à Tabouda; 47mm au cours du mois de décembre, tandis que à la station de Jbel Ouedka a enregistré des valeurs plus élevées, atteignant 318mm au mois de novembre. En raison de l'altitude et l'exposition des versants rifains vers les flux de Nord et N-O, qui représentent un apport de 31,8% pendant la saison automnale et 39,1% à la saison hivernale.

- **Dans le Moyen Sebou, Beht et Gharb**, le régime pluviométrique se caractérise par la continentalité, et l'effet d'abri. les pluies automnales représentent 28,1% de bilan annuel. La

courbe de 25% exprimant les mois secs ne dépasse pas 32mm en mois de novembre à la station de Fès et 31mm à Dar Al Arsa. Les mois subhumides à la fréquence 75% atteignent 98mm à Fès et 111mm à Dar Al Arsa au même mois. Par contre au printemps les valeurs sont moins importantes; à la fréquence 25%, on relève 17mm en avril à Fès Sais et 20mm à Dar El Arsa au Moyen Sebou.



Carte. n°29: Régime probable des pluies mensuelles dans le Bv de Sebou.

En ce qui concerne la courbe médiane représentant la fréquence des années normales les valeurs probables se situent entre 40 et 60mm, à l'exception du mois de novembre à Fès-Sais. De même, à la fréquence 90% les mois les plus pluvieux excèdent rarement 120mm en raison de l'effet d'abri que connaît cette zone à l'égard des influences atlantiques.

Par ailleurs, le régime pluviométrique probable dans la plaine du Gharb se caractérise par la continentalité. La courbe de fréquence représentant les mois secs à 25% indique que les valeurs probables restent inférieures à 39mm en mois de novembre à la station de Mechrâa Belksiri. Les mois subhumides à la fréquence 75% durant la période froide se situent à moins de 129mm en décembre. Au printemps à la fréquence 25%, le mois d'avril représente une valeur maximale de 21mm seulement à cette même station. Et à la probabilité de 75%, au même mois les pluies ne peuvent excéder 68mm. Ces valeurs attestent bien la baisse de l'apport pluvial de la plaine du Gharb par rapport aux régions du bassin de Sebou.

D'après le régime des probabilités des pluies au Moyen Sebou, Gharb et Beht, nous pouvons conclure que celui-ci dans la majorité des stations étudiées est hivernal. À l'exception du bassin de Beht qui se caractérise par un régime à deux saisons, hivernale entre novembre et février et printanière axée sur le mois d'avril.

2.3. Étude des pluies journalières et leurs caractéristiques dans le Bv

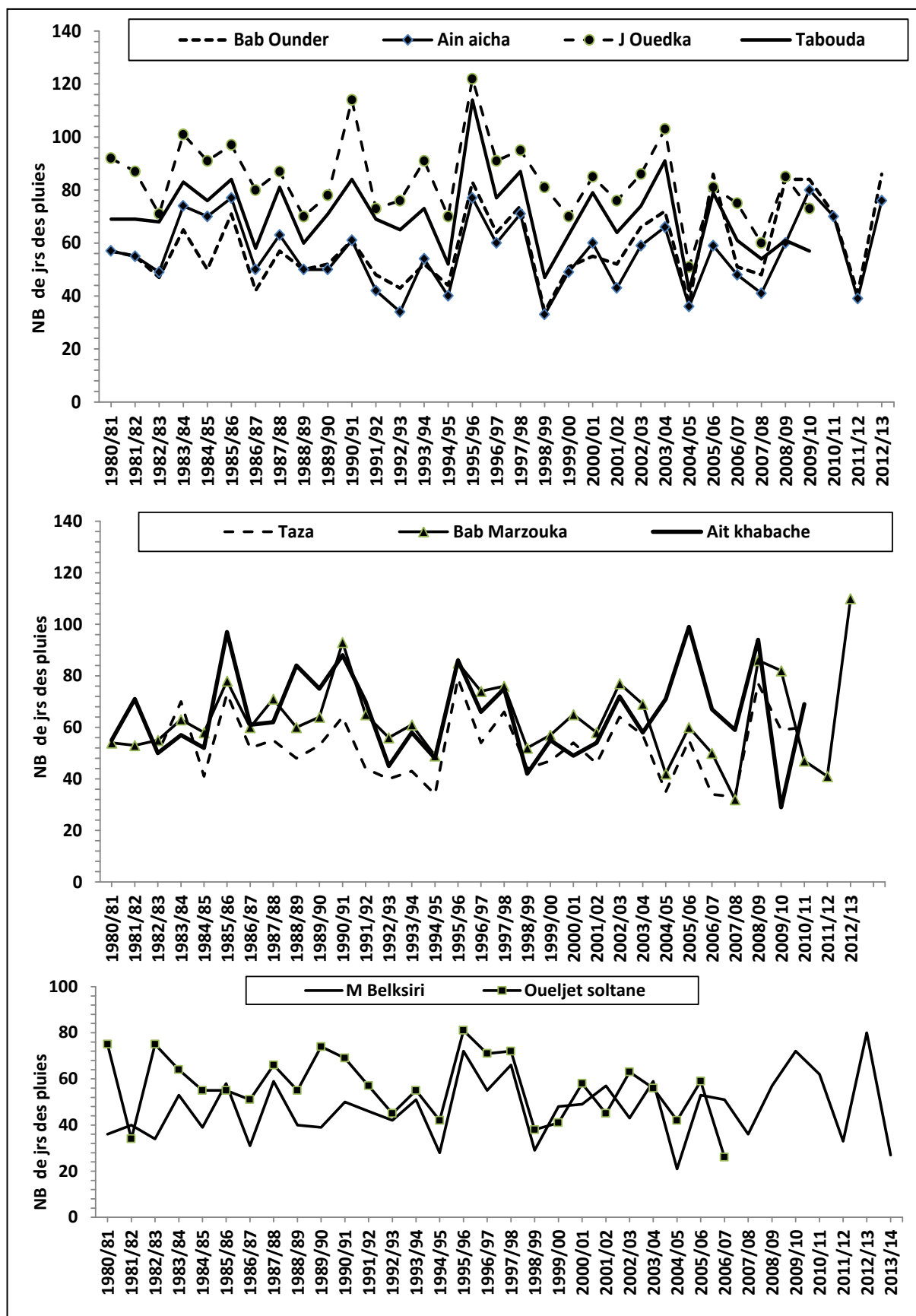
2.3.1. Variation interannuelle de nombre des jours pluvieux

Le bassin versant de Sebou se caractérise par un nombre des jours des pluies très importantes qui diffère d'une zone à l'autre (Fig. n°23):

- **Dans le Haut Sebou, et le Bv d'Inaouene**, le nombre de jours pluvieux est de 114 jrs/an en 1987-88 à Ait khabache, et dans le bassin d'Inaouene, le nombre de jours est de 79 jrs/an en 1995-96 à la station de Taza. L'écart annuel du nombre de jours des pluies est en fonction des spécificités climatiques et géographiques de chaque station comme l'effet de situation, d'altitude et d'abri orographique. Dans la zone de Taza, nous enregistrons 79 jours des pluies en 1995-96. À Bab Marzouka, on a marqué un nombre de jours des pluies important de 110 jours en 2012-13.

- **Dans le domaine rifain**, le nombre de jours annuel des pluies est de 122 jrs/an à Jbel Ouedka et 114 jrs/an à Tabouda durant l'année 1995-96. Dans la partie médiane du domaine rifain, le nombre de jours pluvieux est de 86 jrs /an en 2012-13 à Bab Ouender et vers la partie avale, le nombre de jours des pluies a atteint 80 jrs/an en 2008-09 à la station d'Ain Aicha. Le nombre important de jours que connaît le domaine rifain est dû essentiellement à l'exposition optimale aux types de circulation pluvieuse atlantique et l'effet d'altitude qui facilite l'ascendance orographique, ce qui intensifie la condensation atmosphérique (JANATI IDRISSE. A2004). Sur le versant orienté vers le Nord-Ouest du bassin versant de Sebou, nous

avons constaté que le nombre de jours pluvieux est marqué aussi, par une hétérogénéité régionale et chronologique.



Figures. n°23: Nombre de jours annuels des pluies dans le Bv de Sebou (1980-81/2012-13).

• **Au bassin du Beht**, le grand nombre de jours que connaît ce domaine est dû essentiellement à la bonne exposition au passage de type de circulation pluvieuse de secteur nord, et l'intervention de l'effet d'altitude. Elle peut également être liée à des situations pluvieuses orageuses d'altitude. À titre d'exemple la station d'Oueljet Soltane a enregistré un nombre maximum de 81 jours en 1995-96.

2.3.2. Répartition du nombre moyen des jours pluvieux à l'échelle saisonnière et mensuelle

La variation temporelle de nombre de jours des pluies dans le bassin versant de Sebou apparaît nettement d'une saison à l'autre et d'un mois à l'autre. Dans le tableau n°20 et la carte n°30, nous allons montrer cette variation temporelle et régionale de nombre de jours des pluies:

➤ **À l'échelle saisonnière**, la distribution saisonnière du nombre de jours de pluies se répartie comme suit:

• **Dans le Haut Sebou**, à la station d'Ait khabache, l'hiver participe avec 27,4% du bilan total des jours pluvieux annuel en raison de l'influence des flux perturbés de Nord-Ouest et de Sud-Ouest sur le bassin. La saison printanière est la plus importante avec 28,1% en raison de l'influence des situations pluvieuses de Nord-Ouest d'une part, et d'autre part des situations thermodynamiques d'altitude et convectives à la fin de printemps. La part de l'automne et de l'été, 26% et 19% respectivement est expliquée largement par l'activité des situations orageuses dans les montagnes du Moyen Atlas.

• **Dans le bassin d'Inaouene**, le grand nombre des jours pluvieux se place en hiver avec un taux de 35,3% des jours pluvieux à la station de Bab Marzouka, en raison de l'importance des flux perturbés humides qui ont affecté le bassin dans cette période de l'année. La deuxième saison humide est le printemps; 30,7% des jours humides, et 28,2% en automne qui connaît essentiellement des flux perturbés pluvieux de Nord-Ouest et une activité orageuse au début de la saison.

• **Dans le bassin d'Ouergha**, la plupart des jours pluvieux se situent en hiver avec un taux de 36% du total des jours pluvieux annuel à la station de Jbel Ouedka, 39% (22 jrs) à Bab Ouender, 37,3% à Tabouda et 38,2% à Ain Aicha. La deuxième saison humide est le printemps, où nous avons observé 33,4% à Jbel Ouedka, puis on a respectivement enregistré 32,4% à Bab Ouender, 31,9% à Tabouda, et 32,3% à Ain Aicha. La durée des jours des pluies dans cette saison est due à l'apport supplémentaire des situations pluvieuses de Nord et de Nord-Est qui s'activent en mars et avril.

• **Au bassin de Beht et la plaine du Gharb**, à la station d'Oueljet Soltane la saison d'hiver représente 38,6% des jours des pluies au cours de la période d'étude. Ce taux élevé est lié principalement à la fréquence des flux perturbés de Nord-Ouest. La période printanière atteint 33,4% des jours pluvieux. Ce taux descend à 24% au cours de l'automne qui est marqué par la diminution des situations humides frontales en faveur des situations orageuses au sommet du Moyen Atlas.

Dans la plaine du Gharb, le grand nombre des jours pluvieux enregistre un taux de 43% des jours humides, 27,5% au printemps, et 27,7% en automne à la station de Mechrâa Belksiri. Ces taux traduisent l'ouverture de la plaine vers les vents humides de l'Océan Atlantique.

Tableau. n°20: Nombre des jours pluvieux saisonniers dans le Bv du Sebou (1981-82/2013-14).

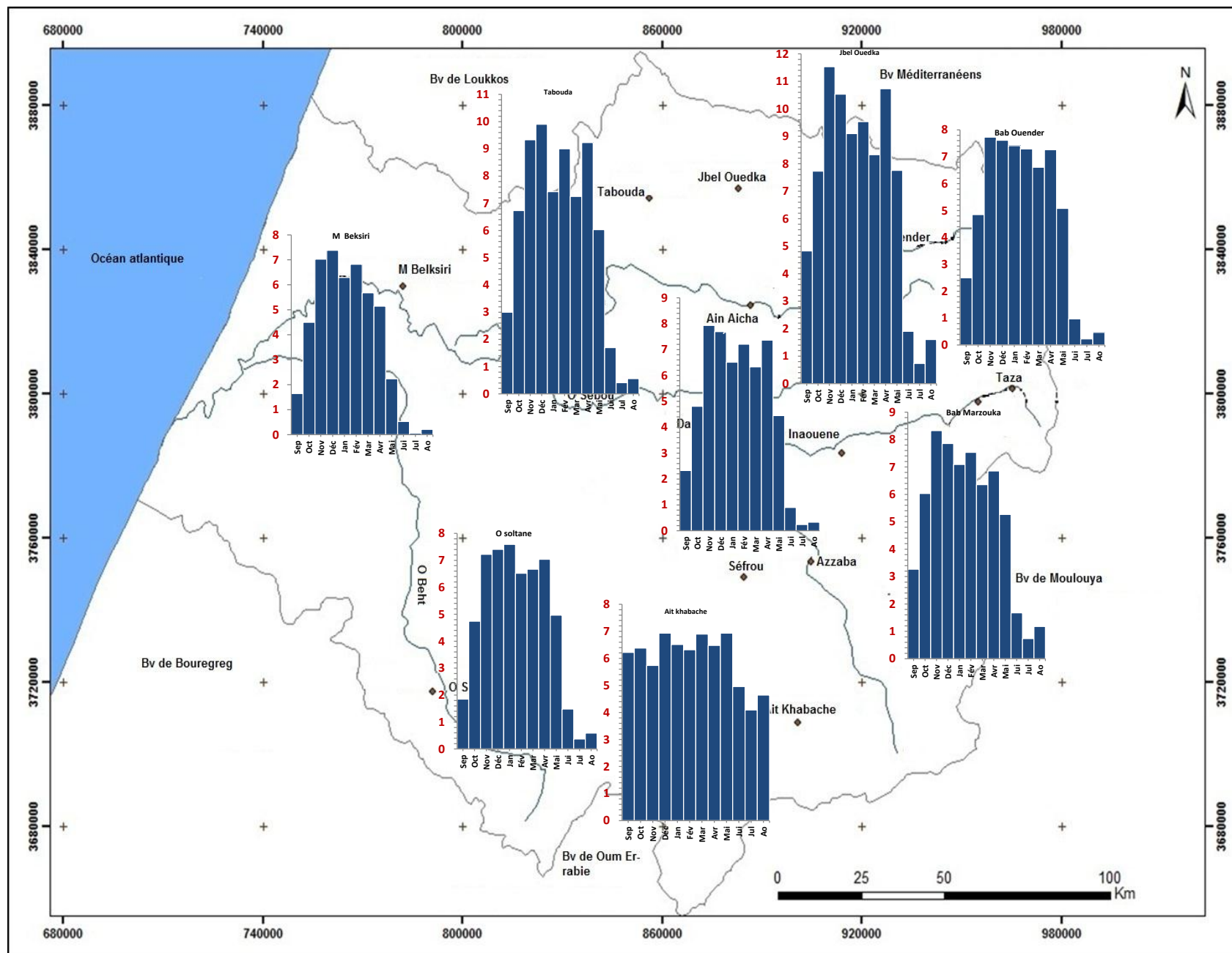
Stations	Automne	%	Hiver	%	Printemps	%	Eté	%
Ait khabache	18,34	25,5	19,76	27,4	20,31	28,1	13,69	19,0
Bab Ouender	15,08	25,8	22,71	38,9	18,95	32,4	1,67	2,9
Jbel Ouedka	20,09	25,0	29,16	36,3	26,82	33,4	4,23	5,3
Tabouda	19,06	27,0	26,33	37,3	22,51	31,9	2,67	3,8
Ain aicha	15,07	26,9	21,41	38,2	18,14	32,3	1,47	2,6
O Soltane	14	24,5	22	38,6	19	33,4	2	3,5
Bab Marzouka	17,6	28,2	22,0	35,2	19,2	30,7	3,6	5,7
M Belksiri	13,2	27,7	20,5	43	13,1	27,5	0,8	1,9

La période estivale dans le bassin versant de Sebou se caractérise par un nombre très faible de jours pluvieux avec seulement 2,9% à la station de Bab Ouender, 3,8% à Tabouda et 5,3% à Jbel Ouedka. En revanche, la station d'Ait khabache au Moyen Atlas a enregistré 19%, celle de Bab Marzouka dans le bassin d'Inaouene, 5,7%. Pour la station d'Oueljet Soltane dans le bassin de Beht on a seulement 5,7% et finalement dans la plaine du Gharb à Mechrâa Belksiri on relève pour cette saison 1,9% des jours pluvieux de la période étudiée. De ces résultats se dégage le secteur du Haut Sebou qui connaît un taux élevé des jours pluvieux estival comme le prouve la station d'Ait Khabache. Dans ce domaine Moyen-atlasique les orages de convection sont fréquents l'après-midi, ce qui augmente le nombre de jours pluvieux pendant cette saison.

➤ **À l'échelle mensuelle** (carte.n°30), les nombres moyens des jours de pluie mensuelle sont répartis dans les différents domaines du bassin versant de Sebou comme suit, il est à remarquer que cette moyenne n'est qu'un indicateur de l'importance mensuelle des jours pluvieux :

• **Au Moyen Atlas**, la moyenne des jours pluvieux dépasse 6,93 jours à la station d'Ait khabache. Par contre, le minimal moyen ne dépasse pas 4jours. Les jours humides sont plus fréquents en raison de l'ouverture vers les masses d'air de Nord-Ouest l'automne et d'hiver.

Le mois de novembre et de décembre sont considérés comme les mois les plus humides de l'année.



Carte. n°30: Nombre moyen des jours de pluies mensuelles dans le Bv du Sebou (1980-81/2013-14).

• **Dans le bassin d'Inaouene**, la pluviosité bénéficie de deux sources d'humidité : le Moyen Atlas au sud et le Rif au nord. Le maximum moyen mensuel du nombre moyen des jours des pluies est de 8,3 jours en novembre à la station de Bab Marzouka. En hiver, les deux mois de décembre et janvier représentent respectivement 7,9 jours, et 7,1 jours. En juin, les situations orageuses et thermodynamiques s'activent plus sur les sommets de montagnes 1,7 jour, que ce soit au Rif ou au Moyen Atlas.

• **Dans le Rif**, le maximum moyen mensuel du nombre de jours des pluies est de 10,73 jours en avril à la station de Jbel Ouedka, 7,73 jrs/mois à la station de Bab Ouender et 7,93 jours en novembre à Ain Aicha. La station de Tabouda a enregistré 9,9 jours en décembre. Nous avons observé que le nombre moyen mensuel de jours pluvieux augmente avec l'altitude car c'est un bassin exposé aux flux humides océaniques, ainsi la condensation croît progressivement vers les sommets de montagnes, ce qui normalement aura un effet sur la durée des séquences pluviométriques au niveau de ce versant rifain où elles seront plus importantes en amont qu'en aval.

• **La plaine du Gharb et le Bv de Beht**, le maximum moyen mensuel de nombre de jours des pluies est de 7,4 jours en décembre à la station de Mechrâa Belksiri, cela est dû à la proximité de l'Océan Atlantique. Pour le bassin du Beht, le nombre moyen dépasse 8 jours en janvier à la station d'Oueljet Soltane. En revanche, le minimal moyen excède un jour en août. Cette augmentation en hiver est due essentiellement aux flux perturbés de Nord-Ouest qui se développent pendant le mois de décembre avec une moyenne de 7 jours des pluies.

2.3.3. Le nombre des jours par classe d'intensité des pluies entre 1980-81 et 2013-14

Pour chaque station, nous avons considéré le nombre des jours selon des seuils donnés. Les tranches adoptées sont: de 0,9 à 2,9mm, 6 à 19,9mm, 20 à 49,9mm, 50 à 59,9mm et plus de 100mm qui sont présentés dans le tableau n°21:

Tableau. n°21: Nombre de jours des pluies par classes d'intensité.

Classes d'intensité	Ait khabache	Bab Marzouka	El Kouchet	Bab Echehoub	Ain Aicha	Bab Ouender	Jbel Ouedka	Oueljet Soltane
0,1 - 2,9	847	679	217	203	499	505	826	568
3 - 5,9	478	385	196	168	387	367	277	252
6 - 9,9	269	327	168	136	282	278	275	182
10 - 19,9	211	399	208	163	345	372	371	230
20 - 49,9	70	211	74	122	185	244	429	92
50 - 99,9	3	11	2	22	15	52	186	1
+ 100 mm	0	1	0	1	0	0	38	1
Total	1878	2013	865	815	1713	1818	2402	1326

La première impression que nous avons obtenue d'après ces chiffres, c'est qu'ils mettent en évidence une fois de plus, le grand nombre des jours des pluies. En fait, pendant 34 ans, la station de Jbel Ouedka, la plus arrosée, n'a pas dépassé 2402 jrs de chutes des pluies ; 80jrs/an en moyenne, de même la station de Bab Marzouka n'a pas excédé 2013 jours pendant 34ans (59,2 jrs/an), la station d'Ait khabache n'a pas dépassé 1878 jrs pendant 31 ans (60,5 jrs/an), et la station d'Oueljet Soltane pendant 26 ans a enregistré 1326 jrs avec une moyenne de 51 jrs/an.

Lorsque nous examinons la répartition de ces jours pluvieux par classe d'intensité, nous constatons que pour la plupart des stations, le nombre des jours pluvieux entre 0,1mm et 5,9 mm représente plus de 50% du total. La classe de 6 mm à 9,9 mm, constitue pour toutes les stations plus de 60% avec des effectifs particulièrement élevés à Ait khabache (84,88%) à Bab Marzouka (69,1%) à Ain Aicha (68,18%). En revanche, une atténuation des jours pluvieux concerne les apports de plus de 10mm à 49,9mm, qui constitue pour toutes les stations représentatives dans le bassin versant de Sebou moins de 40%: El Kouchet (32,6%), Bab Ouender (33,9%) et Oueljet Soltane (24,3%), cependant entre 50 et 100 mm les chiffres sont moins élevés à Bab Echehoub 2,8%, à Bab Ouender 2,9%, à Oueljet Soltane 0,2% et à Jbel Ouedka 9,3%. Alors que cette tranche constitue une vraie menace qui peut générer des crues inondables dans le bassin.

Par ailleurs, nous constatons un accroissement des jours pluvieux dans les tranches 10 à 19,9mm à Jbel Ouedka, Ain Aicha, Bab Marzouka et Oueljet Soltane, qui sont exposés aux vents humides de Nord-Ouest les plus fréquents. L'occurrence des pluies journalières située entre 5 et 9,9mm, paraît aussi importante sur les versants du Rif dans le Jbel Ouedka et Bab Ouender, qui sont des régions sensibles aux masses d'air humides de Nord-Ouest, et qui sont à l'origine du grand nombre des crues inondables au niveau du bassin versant de l'Ouergha. Cependant à la station d'Ait khabache, en raison du facteur d'abri, les influences maritimes de Nord-Ouest ne peuvent accéder facilement aux vallées du bassin de Haut Sebou.

2.3.4. Modalités et effets de la répartition journalière des pluies

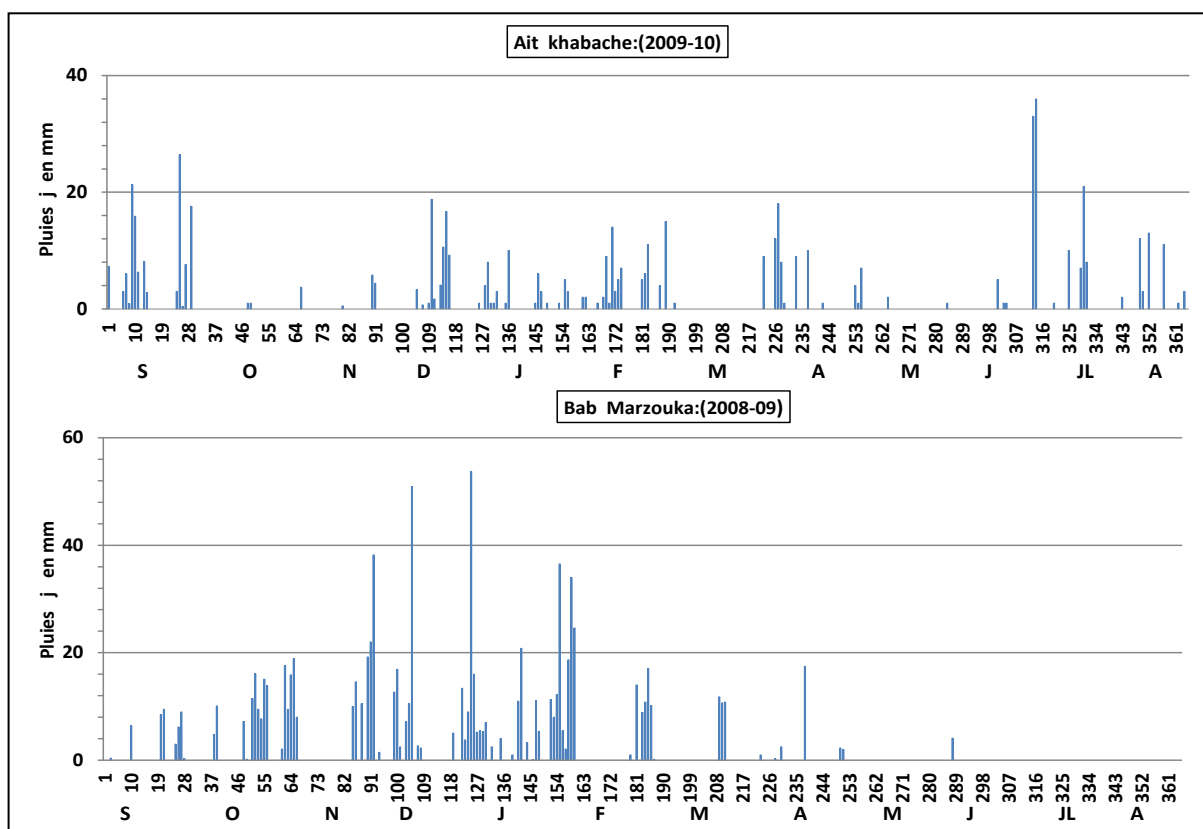
L'objectif de cette étude est d'approcher de la modalité de la répartition journalière de la pluviométrie à partir de la réalisation des hyétogrammes de quelques années choisies (JANATI IDRISSE. A 2004), et (NGADI. M 1995). En fait, les hyétogrammes représentatifs (Fig. n°24 et 26); tiennent compte du mode de répartition des jours pluvieux, leur organisation et leur regroupement en épisodes et saisons pluvieux qui sont représentés comme suit.

• **Dans le Haut Sebou** (Fig. n°24), les jours pluvieux s'organisaient en épisodes qui peuvent durer entre 3 à 7 jours à Ait khabache en 2009-10. Ces épisodes étaient très bien répartis au cours de l'année, où ils semblent se regrouper de façon à constituer quatre saisons pluvieuses: la première, très courte a débuté au mois de septembre pour durer jusqu'au début

d'octobre, la deuxième entre décembre et mars, la troisième est située entre avril et fin mai et la quatrième en juillet et août

L'accentuation de la pluviosité, pendant l'année hydrologique s'est effectuée progressivement, en effet l'intensité pluviométrique n'a pas dépassé une dizaine millimètre en automne ou en hiver ; elle était respectivement 26,4 mm le 25-09-2009 et 16,7 mm le 24-12-2009. À cause de l'effet d'abri, les épisodes pluvieux même s'ils sont plus prolongés leurs apports sont assez notables; en 9 jours du 6 au 14 septembre, la station d'Ait khabache n'a reçu que 64,3mm. Cependant en été cette intensité peut augmenter avec l'activité orageuse ; en 2 jours, le 10 et 11 juillet, on a enregistré 69 mm. En somme, cette station a connu 88 jours des pluies, presque 24,1% des jours pluvieux de l'année hydrologique en 2009-10. L'apport annuel de la pluviosité est de 597,1 mm en 2009-10.

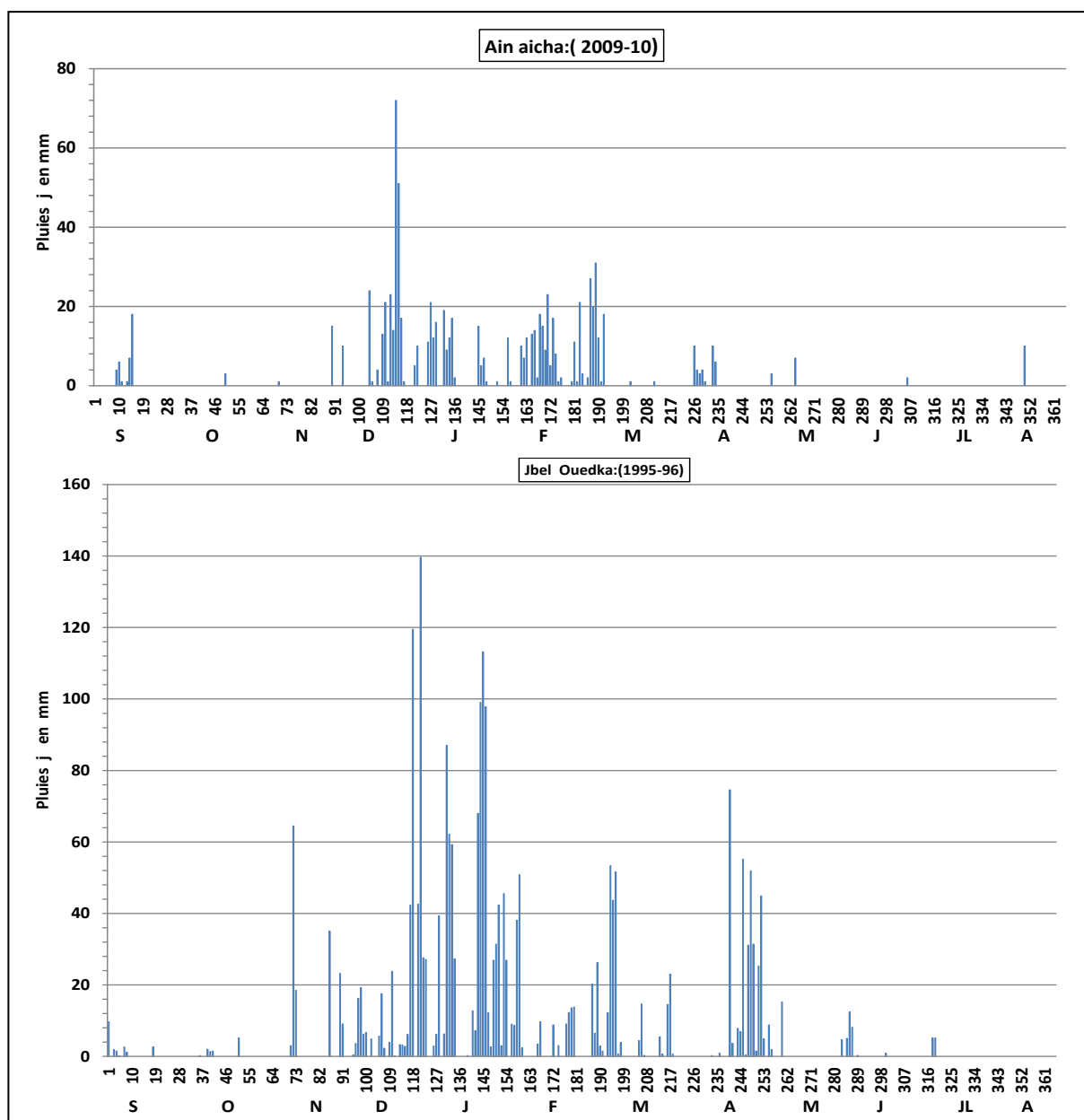
• **Au Bv d'Inaouene** (Fig. n°24), avec un apport pluviométrique annuel est de 894,3 mm en 2008-09, les jours pluvieux s'organisent en épisodes qui peuvent durer entre 6 et 9 jours comme à la station de Bab Marzouka en 2008-09. Ces épisodes étaient bien distribués sur l'année, surtout entre septembre avril (885,9mm), en se couplant de façon à constituer trois périodes pluvieuses: la première a commencé au mois de septembre jusqu'au début de novembre (211,3mm), la deuxième était très longue, durait de la fin de novembre jusqu'au début de février (557,8mm) et la dernière entre mars et avril (95,5mm).



Figures. n°24: Hyétogrammes des pluies journalières dans le Bv d'Inaouene et Haut Sebou.

L'intensité pluviométrique journalière étant moins marquée en automne avec des chutes inférieures à 20 mm, elle a augmenté en hiver en atteignant 38,2 mm le 01-12-2008, 50,9 mm le 14-12-2008, et 53,7mm le 01-01-2009. Les épisodes pluviométriques de 6 jours sont plus fréquents à titre d'exemple du 8 au 14 décembre 2008 à la station de Bab Marzouka a totalisé 100,7 mm. En général au cours de l'année hydrologique (2008-09) cette station a connu 82 jours des pluies, ce qui constitue un taux de 22,47 % des jours pluvieux dans le total annuel de la série étudiée.

• **Dans le domaine rifain** (Fig. n°25), les jours pluvieux s'arrangent en épisodes qui peuvent durer entre 4 à 9 jours; du 14 au 26 décembre 2009, on a enregistré 217mm à la station d'Ain Aicha, et du 22 décembre 1995 au 1^{er} janvier 1996 (11 jours) on a totalisé 414,2 mm à Jbel Ouedka. La bonne exposition du versant rifain aux masses humides océanique et la rugosité de son relief permettent d'avoir des chutes pluviométriques parfois considérables. Ce qui en témoigne les quantités journalières reçues par cette dernière station.



Figures. n°25: Hyétogrammes des pluies journalières dans le Bv d'Ouergha.

En effet, on a relevé des valeurs pluviométriques excédant 100 en 24h; 139,7mm le 30 décembre 1995 et 113,2 mm le 23 janvier 1996. Ainsi l'apport annuel a atteint 2464,1 mm en 1995-96 à la station de Jbel Ouedka, par contre, la station d'Ain Aicha étant plus basse en altitude et moins exposée n'a reçu que 850 mm en 2009-10. Par ailleurs, le nombre des jours pluvieux dans le bassin est de 122 à Jbel Ouedka, ce qui constitue 33,4% du total des jours pluvieux de la période étudiée. Ce taux diminue à 20,8% à la station d'Ain Aicha n'ayant reçue que 76 jours de pluies.

• **Au Bv de Beht** (Fig. n°26), les jours pluvieux s'organisent en épisodes qui peuvent durer entre 3 et 7 jours comme l'atteste l'examen de l'hyétogramme de la station d'Oueljet Soltane. Ces épisodes semblent bien répartis dans l'année hydrologique au cours de laquelle le déclenchement de la saison pluviométrique était plus tardif, puisqu'elle n'a commencé qu'en fin de décembre 1995-96. L'activité pluviométrique est plus virulente au mois de

janvier, février et avril. Les quantités journalières qui ont chuté sur cette station sont moins importantes à cause des effets d'altitude et d'abri topographique. C'est pour cette raison qu'elles n'ont pas dépassé 30 mm pendant toute l'année pluvieuse. À titre d'exemple: 13 mm le 02 septembre 1995 en automne, 29,1mm le 22 février 1996 en hiver, et 25,4 mm le 13 mars 1996 au printemps. On a recensé 79 jours de pluie à cette station dans l'année hydrologique 1995-96 qui ont apporté un apport pluviométrique annuel de 523,6 mm.

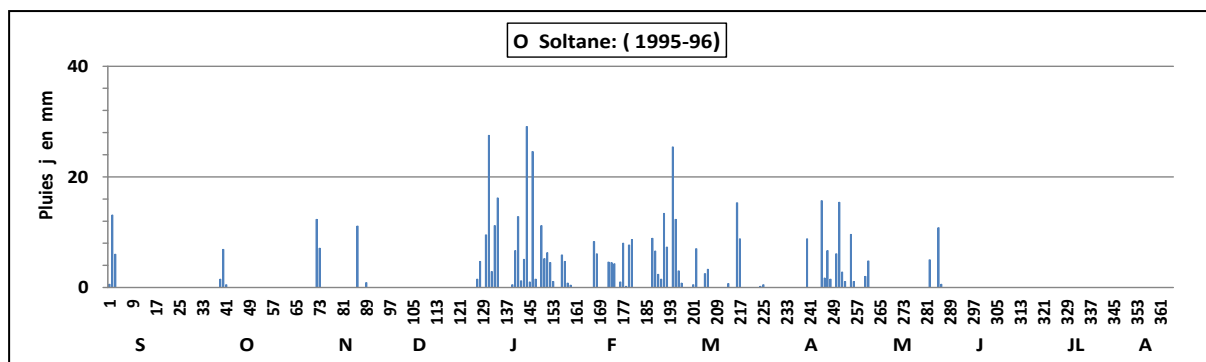


Figure. n°26: Hyétoigrammes des pluies journalières dans le Bv de Beht.

À l'examen des différents hyétoigrammes étudiés, nous constatons que les jours pluvieux sont plus concentrés au cours de l'année et le total d'un épisode pluviométrique peut constituer une part importante du total annuel. Qu'il s'agisse d'averses isolées ou ordonnées en épisodes, celles-ci peuvent se regrouper en saisons pluviométriques à n'importe quel moment de la période froide, ce qui reflète le caractère chaotique de la pluie (JANATI. I 1993). Mais nous avons observé qu'on ne peut dépasser que très rarement trois saisons de pluies au cours d'une année. Cela veut dire inversement que les épisodes secs sont très longs et peuvent se localiser à n'importe quel moment de la saison froide. Néanmoins en juin, juillet et août, le manque de pluie est général dans la plupart des années et des saisons.

2.4. Décomposition du régime en apport d'intensité des pluies dans le bassin

D'après PEGUY Ch. P. et MOUNIER. J, en 1968, qui ont adopté une technique d'analyse du régime d'apport d'intensité des pluies basées sur le classement des hauteurs pluviométriques suivantes des seuils journaliers donnés. Les classes utilisées sont : 0,1-2,9/3-5,9 mm représentant les pluies fines, 6-9,9 mm qui sont des pluies faibles, 10-19,9 mm sont des averses moyennes, 20-49,9mm sont des fortes averses, 50-99,9mm et plus 100 mm sont des averses très fortes.

Pour chacun des mois, nous avons cumulé progressivement le total de chaque classe, à partir de la classe la plus élevée et nous avons reporté les résultats sur un diagramme. Les courbes représentent le régime pluviométrique de la station et les différentes trames expriment l'apport de chaque type de pluie dans le total du mois au cours de l'année pour la période

1980-81/2013-14. Cependant, le pourcentage de chaque type varie selon les saisons et les sous-bassins suivants (carte. n°31 et annexe. n°2):

• **Au Haut Sebou**, la station d'Azzaba et d'Ait khabache se caractérisent par la faiblesse des totaux pluviométriques de cette période qui sont inférieurs à 1229mm par rapport aux autres régions du bassin versant de Sebou. Il est certain que les hautes montagnes atlasiques doivent enregistrer des volumes plus importants, cependant dans les vallées abritées malgré leurs altitudes importantes, les averses dépassant 50 mm sont très rares comme à Ait khabache qui est une station influencée par un obstacle orographique face aux influences maritimes.

Ainsi, la tranche (20 à 49,9 mm) et dans une moindre mesure la tranche (10 à 19,9 mm) constitue l'essentiel de l'apport pluviométrique des stations étudiées. En effet, le total pluviométrique du mois d'octobre à Azzaba est apporté par 13,4% des averses de 10 à 19,9 mm par jour, mais ce chiffre augmenté à Ait khabache en avril à 21,3%. En été, les averses peuvent dépasser ici plusieurs fois le seuil de 20mm par jour au mois d'août: 13% à Ait khabache en raison des situations orageuses formées au sommet du Moyen Atlas.

Les pluies fines entre 0,1 et 9,9 mm sont très fréquentes dans le total pluviométrique du Haut Sebou, et apportent des quantités d'eau notables. Pour la station d'Ait khabache, le total mensuel du mois de mars est de 145,3 mm au niveau de la tranche 6 à 9,9 mm, avec un taux de 16,4%, et 131,2 mm dans la tranche de 3 à 5,9 mm en février, ce qui constitue 12,3%. En aval du Haut Sebou à la station d'Azzaba, on a enregistré une quantité mensuelle de 248 mm au niveau de tranche 6 à 9,9 mm en octobre, avec un taux de 13,2%, et 247 mm dans la tranche de 3 à 5,9 mm en avril qui participe avec 15,7% du total de la tranche concernée. Le régime des pluies journalières dans le Moyen Atlas est influencé par les effets topographiques qui engendrent des états d'expositions différentes aux flux maritimes d'ouest. Le facteur d'altitude joue également mais surtout pendant les situations orageuses où les hauts sommets sont les plus arrosés.

• **Dans le bassin d'Inaouene**, l'analyse des pluies journalières dans ce bassin a aussi pour objectif de montrer les apports d'eau qui peuvent contribuer à la genèse des crues provoquant des inondations. À cet égard, nous avons observé à partir de la carte n°31 que la station de Bab Marzouka et Bab Echehoub représentent une variabilité spatiale au niveau des quantités d'eau tombées dans le bassin, et notamment dans les tranches qui dépassent 20 mm. Ces pluies sont responsables d'écoulement extrême de l'oued Inaouene, avec un cumul mensuel de la période qui dépasse 1031,7 mm en novembre à Bab Marzouka, et 100 mm pour une seule journée le 29 novembre 2010 à Bab Echehoub. Pour cette station, au mois de novembre les averses de 20 à 49,9 mm constituent 17,2%, mais cette valeur s'élève à 20,% à Bab Marzouka. Cependant, les averses d'été ne dépassent pas ici le seuil de 20mm par jour, et semblent plus faibles en raison d'une activité orageuse moins active au sein des vallées.

La zone intermédiaire entre les collines pré-rifaines et le Moyen Atlas se caractérise largement par des faibles pluies entre 0,1 et 9,9 mm. Elles amènent des quantités d'eau non négligeables à l'amont du bassin à Bab Echehoub avec un cumul mensuel de 134 mm dans la tranche de 6 à 9,9 mm en novembre, ce qui représente 1,6%, et 117 mm dans la tranche de 3 à 5,9 mm en décembre, avec un taux de 18,7%.

En aval du bassin, à la station de Bab Marzouka, nous notons un volume plus élevé que Bab Echehoub. La quantité pluviométrique s'élève à 443,8 mm dans la tranche 6 à 9,9 mm en novembre, ce qui constitue 16,2% du total mensuel de ce mois, également on enregistre 250,3 mm pour la tranche 3 à 5,9 mm en février, avec un taux de 15,3%. En tout cas, l'explication atmosphérique du régime des pluies journalières dans le bassin versant d'Inaouene, est en relation avec la prédominance des flux perturbés atlantiques de secteurs Nord-Ouest et Sud-Ouest qui peuvent atteindre toutes les régions du bassin pendant la saison froide, et sans négliger les situations thermo-convectives qui se produisent au cours de la saison estivale.

• **Au bassin de l'Ouergha**, la décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité des pluies au niveau spatial, illustre selon la carte n°31 une variabilité notable qui se dessine de l'amont vers l'aval au niveau de l'importance des tranches pluviométriques et leur participation dans le total mensuel des stations étudiées comme Ain Aicha, Jbel Ouedka et Bab Ouender.

Dans ce bassin malheureusement nous n'avons que la station de Jbel Ouedka qui est la seule représentative de l'abondance pluviométrique des montagnes rifaines. De ce fait pendant la période étudiée les cumuls journaliers ont frôlé 8000 mm ; 8265,8mm en novembre qui est le mois le plus pluvieux de la série étudiée. Pour les autres mois de l'hiver les totaux ont dépassé 4600mm ; 6326,5mm en décembre et 5180,5mm en février. Pour montrer la contribution des tranches étudiées dans l'apport pluviométrique du bassin, nous avons remarqué que les pluies journalières de plus de 50mm ont apporté 56,9% (4702,7mm) du total mensuel de novembre, 62,3%(2920,9mm) en janvier par exemple, ce qui montre l'importance de ces averses dans le bilan pluviométrique des sommets rifains. Si on prend en considération les valeurs de plus de 20mm par jour les taux sont beaucoup plus importants au sein de la période novembre-février durant laquelle leur contribution oscille en 75% et 88%. Cela montre aussi l'apport notable de la tranche 20-49,9 mm qui participe avec des taux qui varient entre 25 et 35% du cumul mensuel. Ces chiffres indiquent que le versant rifain est une zone de naissance des crues les plus inondables en affluent principalement du bassin de l'Ouergha qui contribue au alentour de 60% des ressources en eau superficielles du bassin de Sebou.

En ce qui concerne les autres types d'averses c'est-à-dire, celles de moins de 20mm par jour, malgré leurs notables quantités elles apportent généralement moins de 30% de l'apport en hiver; 28,8% en février par exemple. Néanmoins leur contribution augmente progressivement au printemps et en été; on a relevé 32,3% en avril, 48,3% en mai et 74% en juin. On

note que la plus faible valeur enregistrée est celle du mois de novembre, 14,8%. Ce taux montre les caractéristiques intenses de la pluviométrie journalières de ce mois où inversement les quantités de plus de 20 mm représentent 85,2% du total mensuel.

À la station d'Ain Aicha, on a relevé 401mm en novembre pour la tranche 50-99,9 mm, ce qui représente un taux de 35,8% du total mensuel. Au niveau climatique, le sous bassin de l'Ouergha est le plus arrosé dans le bassin versant de Sebou à cause de l'exposition de ses versants vers les flux humides atlantiques. Ce facteur explique l'abondance des pluies à Ain Aicha qui a reçu pour la tranche 20-49,9 mm un apport de 956,7mm en décembre ; 18,7% du total, 790 mm en novembre à Bab Ouender ; 21,5% du total. Les averses orageuses étant plus actives au sommet du Rif à cette dernière station en été, elles ont contribué en aout à raison de 43,3 % (168,5 mm) du total mensuel au sein de la tranche 20 à 49,9 mm.

Les pluies fines entre 0,1 à 9,9 mm sont significatives à l'amont du bassin à la station de Jbel Ouedka; elles ont cumulé 672,5 mm en décembre dans la tranche 6 à 9,9 mm, avec un taux de 25,2%, et 226,8mm au mois d'avril pour la tranche de 3 à 5,9mm; 16,9% du total mensuel. En aval du bassin à la station d'Ain Aicha, a enregistré 544,3mm en janvier au niveau de la tranche 6 à 9,9mm, qui a participé avec un taux de 25,8%, et 211mm en novembre dans la tranche de 3 à 5,9 mm qui a constitué 14,9% du cumul mensuel.

• **Dans le bassin de Beht et la plaine de Gharb,** à la station d'Oueljet Soltane et de Sidi Mokhfi les totaux pluviométriques se caractérisent par leurs faiblesses par rapport aux autres régions du bassin versant de Sebou. Dans le bassin de Beht, les tranches qui dépassent 20mm enregistrent l'essentiel des quantités pluviométriques. Le total des chutes pluviométriques journalières de la tranche 20-49,9 mm à la station d'Oueljet Soltane est de 855mm en décembre, 808,4 en janvier; on a respectivement un taux de 40,7% et 43,3% du total. Ces pluies ont un rôle important dans le débordement de l'oued Beht sur les zones alluviales de l'oued Beht.

Du point de vue climatique, le Beht est un bassin influencé par les vents humides de Nord-Ouest survenu de l'Océan Atlantique pendant la saison froide, et parfois sa pluviométrie est liée aux activités des situations orageuses automnales et estivales du Moyen Atlas. Celles-ci expliquent les pluies fines entre 0,1 et 9,9mm, qui sont très fréquentes sur le bassin pendant la période chaude de l'année. En janvier, la station d'Oueljet Soltane a cumulé 311,3 mm dans la tranche 6 à 9,9mm ; 16,7% du total, et 222,7mm dans la tranche 3 à 5,9mm avec un taux de 16,5%. En amont de Beht à la station de Sidi Mokhfi, les abats pluviométriques sont plus importants, puisqu'ils représentent 411,3 mm dans la tranche 6 à 9,9mm en janvier, avec un taux de 16,6% du total, et 322,3mm dans la tranche de 3 à 5,9mm en février avec 19,7% du cumul pluviométrique de ce mois.

Le Gharb est une plaine basse et ouverte aux flux maritimes atlantiques, mais les pluies sont moins abondantes que le versant rifain à cause de l'altitude. D'après le tableau relatif à la décomposition du régime en apport d'intensité donnée (annexe. n°2), on remarque que les totaux mensuels des mois les plus pluvieux ne dépassent pas 1900mm; 1838mm en novembre, 1861mm en décembre et 1810mm en février. La tranche 20-49,9 mm est la plus importante car elle constitue 36,6% de l'apport total de la période étudiée suivie par la tranche 10-19,9mm avec un taux de 27,2%. Les quantités journalières de la tranche 50-99,9mm affichent des taux réduits ; 18,7% en octobre et 16,2% en décembre. Cependant celles de 20-49,9 mm prédominent au sein des mois comme en particulier en décembre 45,5% (845 mm) et en janvier 56,2% avec 1109 mm. En revanche la tranche 10-19,9 mm semble plus dominante en novembre, 38,2% et en mars, 37,9%. En ce qui concerne le cumul journalier de moins de 10mm, elle participe aux alentours de 25% du total mensuel en hiver, mais leur contribution augmente au printemps à environ 40%.

Généralement, le bassin versant de Sebou reçoit des pluies très importantes dans toutes les tranches pluviométriques au cours de l'année, mais les tranches qui dépassent 20mm par jour, sont des seuils qui contribuent au déclenchement de l'écoulement et de débordement des eaux. Cependant il faut prendre en considération les conditions topographiques et géologiques de chaque sous bassin versant de Sebou (Ouergha, Inaouene, Beht et Haut Sebou), dont l'altitude et le degré de perméabilité jouent un rôle notable sur l'apport pluvial et son impact hydrologique. Ainsi les crues sont générées d'abord par le facteur climatique, mais aussi par la nature du substrat qui participe de son côté, à aggraver le phénomène d'inondations dans le bassin.

Conclusion de 2^{ième} chapitre:

Ainsi le traitement et l'analyse des données pluviométriques nous ont permis de comprendre les régimes pluviométriques dans le bassin du Sebou. Comme nous l'avons indiqué plus haut, le bassin est marqué par une forte irrégularité interannuelle des pluies, avec l'alternance d'années humides et sèches. Le régime des situations pluvieuses de plus de 20 mm par jour, montre la grande efficacité des flux perturbés de Nord-Ouest et de Nord dans la saison hivernale, avec une évolution d'évènements orageux, entre mai et octobre. Les probabilités des pluies à la fréquence 90%, 75% et 50%, nous ont été utiles pour relever les valeurs qui sont susceptibles de générer des crues et des inondations dans le bassin. Celles-ci sont concentrées aux mois les plus pluvieux tels que, novembre, décembre et janvier pour les stations étudiées. Cependant dans les régions intérieures, les pluies décroissent au sein des vallées et augmentent progressivement sur les sommets montagneux du Moyen Atlas et du Rif.

Le contraste spatial des pluies est expliqué par l'influence du relief, l'effet d'abri orographique et aussi par la position des stations météorologiques par rapport aux perturbations atmosphériques humides. L'étude du nombre de jours des pluies a permis de différencier entre les apports pluviométriques des stations étudiées, lorsqu'ils sont associés aux classes d'intensité. Par ailleurs les pluies journalières accusent une faiblesse en nombre, en durée et en quantité. Les averses de plus de 50mm à la station d'Ait khabache dans le Haut Sebou, deviennent des phénomènes exceptionnels dans ces régions marquées par l'effet d'abri orographique, alors qu'à la station de Jbel Ouedka, station représentative des sommets rifains bien exposés aux flux perturbés atlantiques, les valeurs journalières supérieures à 100mm sont des chutes qui paraissent plus fréquentes, ce qui rend le bassin de l'Ouergha le principal fournisseur de crues inondables à l'oued Sebou en aval vers la plaine du Gharb.

CHAPITRE TROISIÈME:

Comportement hydrologique et bilan des ressources en eau de l'oued Sebou et de ses principaux affluents

Introduction:

Le traitement des données hydrométriques nous a été d'un grand recours dans notre étude statistique afin d'analyser la variabilité spatiotemporelle des débits, et de caractériser les régimes d'écoulement au sein du bassin versant de Sebou. Dans ce contexte, nous nous sommes basés sur les séries hydrométriques enregistrées au niveau de neuf stations de jaugeage appartenant à l'oued Sebou et ses principaux affluents entre 1980-81 et 2011-12. Au premier lieu, nous allons démontrer l'importance des apports d'eau annuels, saisonniers, mensuels et journaliers dans le bassin, puis nous allons déterminer la probabilité des débits exceptionnels associée aux crues qui représentent un risque d'inondations au sein des vallées alluviales du bassin. Finalement, nous allons calculer les bilans hydrologiques dans le bassin.

Afin de comprendre le comportement hydrologique de l'oued Sebou et ses principaux affluents, il est essentiel de connaître le degré d'irrégularité de son écoulement et son régime. En effet la variabilité pluviométrique que connaît le bassin au sein du climat méditerranéen aura sûrement un impact sur le changement annuel mensuel et journalier du débit, bien que d'autres facteurs puissent intervenir comme le type de substrat et le rôle anthropique dans la dénaturalisation de l'écoulement.

3.1. Étude des apports hydrologiques annuels de l'oued Sebou et de ses principaux affluents

L'analyse des débits moyens annuels et interannuels montre une irrégularité très nette dans l'ensemble des stations étudiées dans le bassin versant de Sebou (Fig. n°27-28) et Tab. n°22):

• **Au Moyen Atlas**, le régime hydrologique de l'oued Sebou à la station d'Azzaba augmente progressivement pour atteindre un débit moyen de $13,32 \text{ m}^3/\text{s}$ oscillant entre un minimum de $5,25 \text{ m}^3/\text{s}$ mesuré en 1999-00 et un maximum de $41,08 \text{ m}^3/\text{s}$ enregistré en 2008-09. La période qui s'étale entre 1980 et 1985 montre des faibles débits influencés par la sécheresse généralisée sur tout le Maroc. Par contre, de 2008-09 à 2011-12, cette période est caractérisée par des débits très importants causant des crues et des inondations en aval du bassin versant de Sebou (Inondation du 10-10-2008). Nous notons ici un coefficient de variation faible de 0,57 et un écart type de $7,71 \text{ m}^3/\text{s}$. Ces apports d'eau du Haut Sebou sont générées par les flux humides (NO et ONO; 55%, SO et OSO; 18,3%), et des situations orageuses: 18,8% durant la période d'étude, sans oublier les apports souterrains des nappes

karstiques et la fonte des neiges au sommet des montagnes du Moyen Atlas en particulier au printemps.

Tableau. n°22: Variabilité hydrométrique annuelle de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.

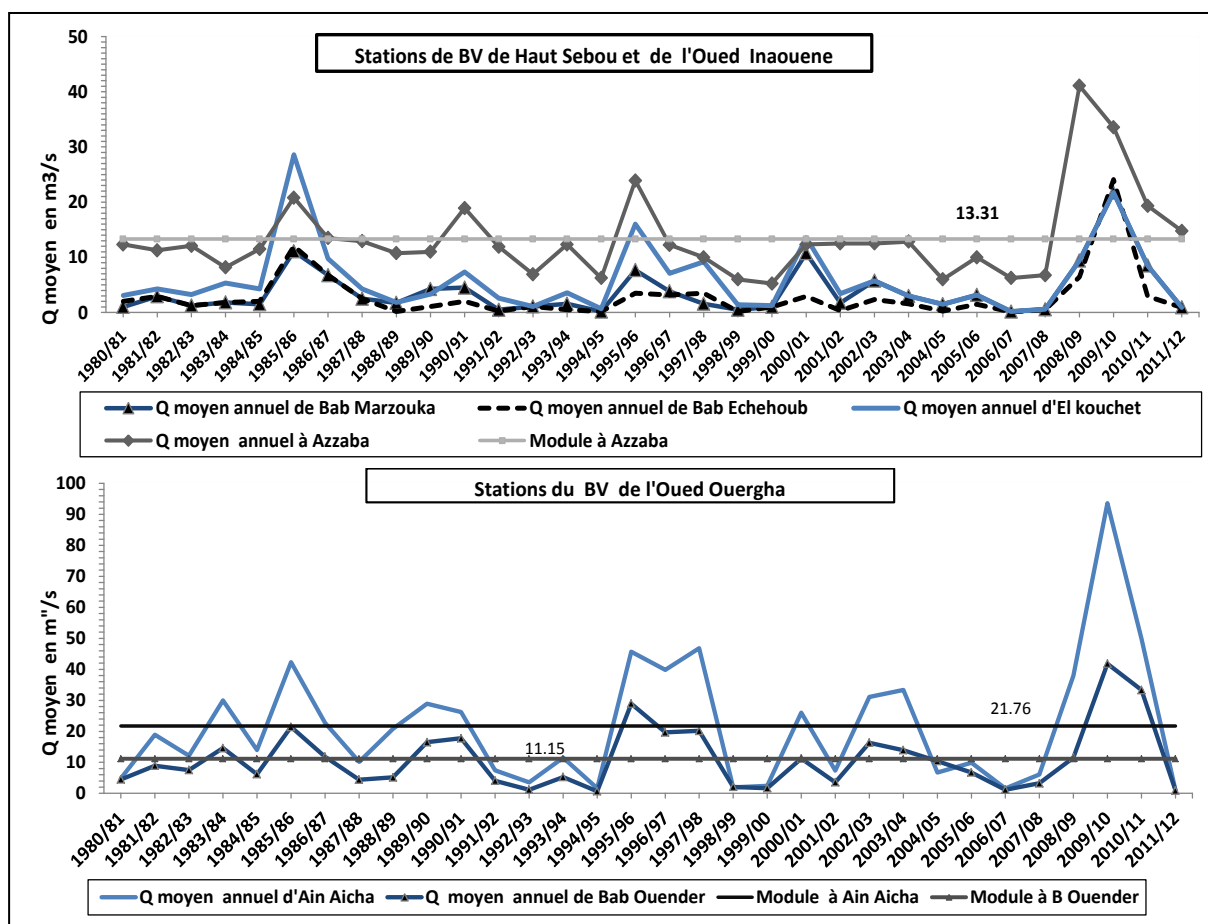
Cours d'eau	Stations	Périodes d'observation	Qm^3/s	Ecart type	Max m^3/s	Min m^3/s	M-m	M/m	M-M' /m	$\frac{m-M'}{M'}$	CV
Haut Sebou	Azzaba	1980-81/2011-12	13,3	7,7	111	2	109	55,5	7,3	-0,84	0,6
Inaouene	Bab Marzouka	1980-81/2011-12	3,9	4,6	82	0	82	82	20,2	-1	1,2
	El Kouchet	1980-81/2002-03	5,9	6,4	151	0	151	151	24,5	-1	1,1
	Bab Echehoub	1987-88/2011-12	2,7	4,5	64	0	64	64	22,5	-1	1,7
Ouergha	Ain Aicha	1980-81/2010-11	21,8	20,2	328	0	328	328	14,1	-1	0,9
	Bab Ouender	1980-81/2010-11	11,2	10	170	0	170	170	14,2	-1	0,9
Moyen Sebou	Dar Al Arsa	1980-81/2011-12	9,78	6,11	62	1	61	62	5,3	-0,9	0,6
Beht	Oueljet Soltane	1980-81/2011-12	6,52	5,73	93	0	93	93	12,5	-1	0,9
Bas Sebou	Mechrâa Belksiri	1980-81/2011-12	82,7	72,3	859	0	859	859	9,38	-1	0,87

• Dans le Bv d'Inaouene, les débits moyens annuels montrent une irrégularité inter-annuelle très marquée. Les lames d'eau écoulées varient énormément d'une année à une autre avec un minimum de $0,17m^3/s$ à la station de Bab Echehoub, $0,08m^3/s$ à Bab Marzouka et $0,17m^3/s$ à El Kouchet. Le maximum atteint $24,1 m^3/s$ à la station de Bab Echehoub en 2009-10 et $28,6m^3/s$ en 1985-86 à la station d'El Kouchet puis $21,8 m^3/s$ en 2009-10 à la station de Bab Marzouka.

À l'échelle de la dispersion des valeurs, le coefficient de variation est très élevé, il est situé entre $1,07m^3/s$ à la station d'El Kouchet et $1,67m^3/s$ à Bab Echehoub. En ce qui concerne l'écart type, il est de $4,55 m^3/s$ à Bab El Echehoub et $3,36 m^3/s$ à la station d'El Kouchet. Ces débits peuvent s'expliquer par la situation géographique du bassin versant d'Inaouene entre deux massifs géologiques différents : d'un côté, le Rif et le Prérif au nord avec des formations argilo-marneuses, ont des pentes abruptes (15-20%), qui favorisent l'écoulement superficiel et l'accélération de la réponse hydrologique aux pluies dans le bassin. Et d'un autre côté, le Moyen Atlas oriental au Sud avec des formations karstiques qui jouent un rôle régulateur du débit, ce qui ralentit la réponse hydrologique. En outre, le bassin d'Inaouene est plus exposé

aux flux perturbés de NO à ONO (65,7%) et aux flux humides de SO à OSO (17,2%). Ainsi, le domaine rifain contribue largement à l'élévation des débits de l'oued Inaouene pendant la saison froide.

• **Au Bv d'Ouergha**, le débit moyen annuel le plus important de la station d'Ain Aicha en 2009-10 est de $93,58\text{m}^3/\text{s}$, et $41,83\text{m}^3/\text{s}$ à Bab Ouender en 2010-11. Le minimum est observé en 2011-12; $0,92\text{m}^3/\text{s}$ avec un moyen annuel de $21,70\text{m}^3/\text{s}$ à la station d'Ain Aicha et à la station de Bab Ouender il est de $0,67\text{m}^3/\text{s}$ en 1994-95 avec $11,15\text{m}^3/\text{s}$ de moyenne annuelle.



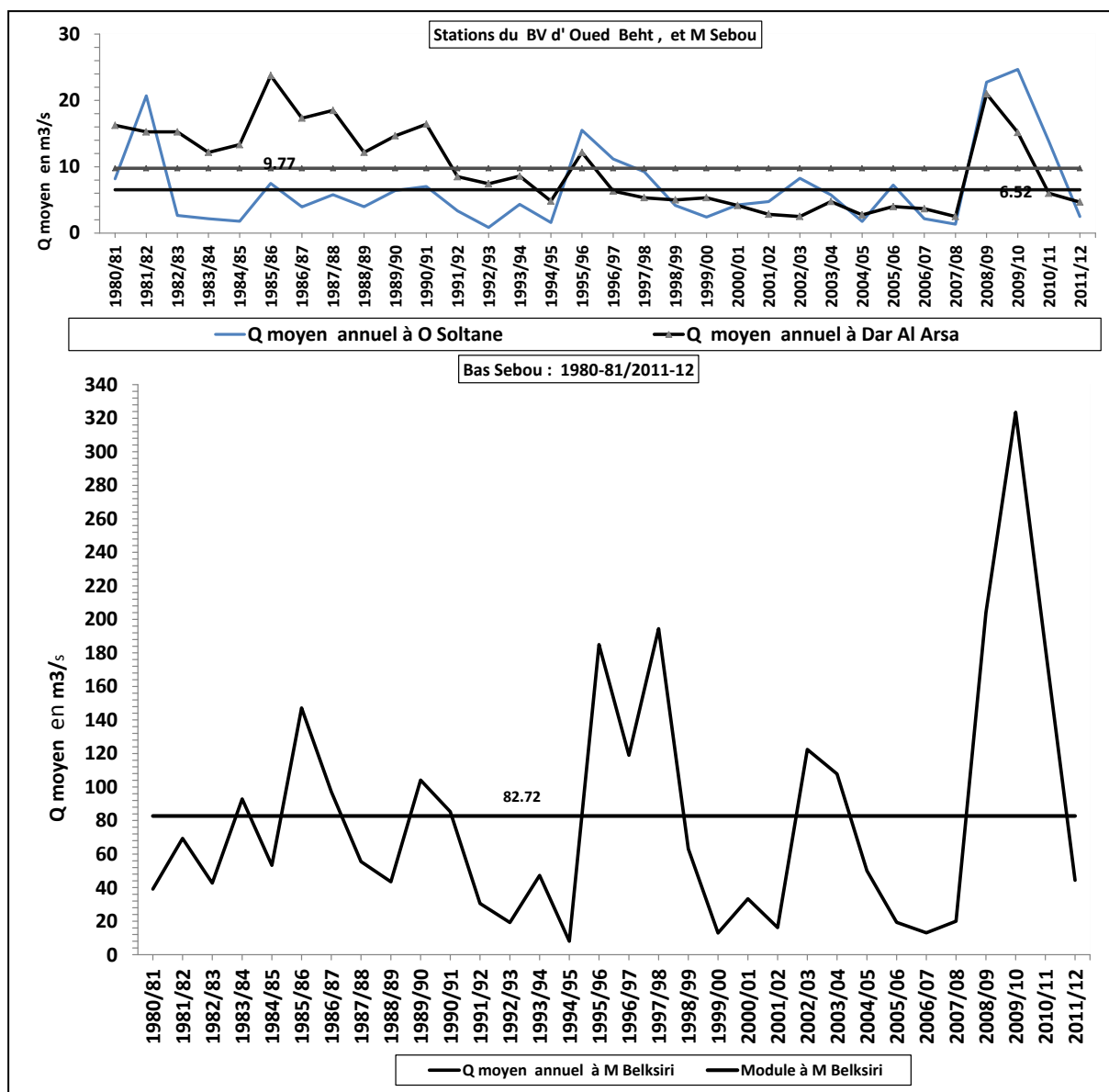
Figures. n°27: Débit moyen annuel de l'oued du Haut Sebou, Inaouene et Ouergha (1980-81/ 2011-12).

Les valeurs élevées des débits sont dues d'abord aux intensités pluviométriques qui caractérisent le versant rifain. En effet, le bassin de l'oued Ouergha reçoit d'une manière importante les cumuls journaliers de plus de 20mm et dont l'origine vient de l'efficacité dominante des flux de NO à ONO ; 61,9% du total, et SO à OSO ; 20,5% du Total. D'autre part la virulence de l'écoulement est exacerbée par l'importance des substrats géologiques imperméables et la nature des pentes très abruptes qui peuvent dépasser dans un certain endroit 30 à 35%.

• **Au Gharb, Beht et Moyen Sebou**, les débits moyens annuels varient considérablement d'une année à l'autre et montrent des écarts et des valeurs importantes comme l'indique le

tableau n°24 et la figure n° 28. Le débit maximum enregistré en 2009-10 est de $859\text{m}^3/\text{s}$ à la station de Mechrâa Belksiri, avec un minimum de $8\text{m}^3/\text{s}$ en 1994-95. Le volume des apports de cette station est le reflet de l'écoulement de l'oued Sebou et de ses affluents (Inaouene, Lébène, Beht et Ouergha et les opérations d'écêtement de barrage Al Wahda et Idriss I, ce qui aboutit à l'élévation du débit de cette station. La station d'Oueljet Soltane au niveau de l'oued Beht a connu un débit de $93\text{m}^3/\text{s}$ en 1985-86, avec un tarissement total pendant la période sèche, sachant que le bassin entre 1980-81 et 2011-12 a été influencé par les flux perturbés de NO à ONO qui ont représenté un taux de 62,1%, 18,8% pour les flux de SO à OSO, et une activité orageuse en amont du bassin sur le Moyen Atlas avec un taux de 8,9%.

Pour la station de Dar Al Arsa le débit oscille entre un maximum de $23,75\text{m}^3/\text{s}$ en 1985-86, et un minimum de $2,5\text{m}^3/\text{s}$ en 2002-03. Cette variation traduit la succession des années humides et sèches et également les opérations des écêtements des barrages (Allal Al Fassi, Idriss I et Kensara). Pendant les années pluvieuses, les débits des oueds (Moyen Sebou et Beht) sont plus virulents, par contre, au cours des années sèches, les débits diminuent notablement jusqu' à atteindre $0,82\text{m}^3/\text{s}$.



Figures. n°28: Débit moyen annuel de l'oued Moyen Sebou, Beht et Gharb (1980-81/2011-12).

En général, la période hydrologique de 2008-09 à 2010-11 est la plus importante dans la série étudiée en raison d'importants volumes d'eaux écoulées relatives à une fréquence accrue de l'activité cyclonique sur le bassin, ayant eu des conséquences considérables sur les inondations dans le bassin de Sebou. Par contre les débits les plus faibles sont dus à la sécheresse exceptionnelle qui était plus fréquente entre 1980-81 et 2007-08. Donc, les écoulements montrent leur forte liaison avec les pluies dans le bassin de Sebou où malgré l'effet de l'évapotranspiration, l'activité hydrologique est importante en année de fortes pluies inversement, en année sèche, les écoulements sont très médiocres.

3.2. Examen du régime hydrologique du bassin versant de Sebou

L'examen du régime hydrologique est une démarche essentielle pour connaître le système de drainage du bassin de Sebou. Cela nous permet de comprendre le comportement de l'écoulement au sein de l'année et de dégager les caractéristiques pour chaque sous bassin versant dont les particularités climatiques et géologiques sont différentes.

3.2.1. Débits moyens saisonniers

Le régime saisonnier de l’oued Sebou et de ses principaux affluents, est affecté par plusieurs facteurs. En effet, c’est un régime marqué par l’influence des pluies automnales et hivernales, qui sont en partie solides sur les montagnes. Cependant les pluies printanières sont renforcées par la fusion nivale, et l’activité des sources en particulier au Moyen Atlas. Sans oublier l’effet des barrages à l’amont du bassin. Il en résulte que les volumes d’eaux annuellement écoulés sont irrégulièrement répartis dans l’année. De ce fait, nous pouvons constater la présence jusqu’à quatre saisons hydrologiques (Tab.n°23):

Tableau. n°23: Débits moyens saisonniers de l’oued Sebou et de ses principaux affluents (1980-81/2011-12).

Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Azzaba	23,13	50,34	64,18	22,13
Bab Marzouka	4,81	27,53	13,38	0,6
El kouchet	6,85	39,22	23,04	2,1
Ain aicha	25,75	149,37	77,27	8,75
Bab Ouender	21,25	74,65	38,91	5,06
Dar Al Arsa	22,01	35,28	40,88	19,18
Oueljet Soltane	12,88	38,8	23	3,89
Mechrâa Belksiri	119,65	489,09	265,81	118,06
Bab Echehoub	5	20	7,47	0,19

➤ **Dans le Haut Sebou**, le régime saisonnier dans le Moyen Atlas se diffère d’une saison à l’autre, comme suit :

• **En automne**, le débit moyen atteint $23,13\text{m}^3/\text{s}$ (1980-81/2011-12), et augmente sensiblement de septembre: $6,63\text{m}^3/\text{s}$ à novembre: $8,41\text{m}^3/\text{s}$. Il en résulte des quantités écoulées restant toujours modestes malgré une saison pluvieuse avec 103,2mm tombée en 18 jours (1980-81/2013-14) dans le Moyen Atlas. Au début de la saison hydrologique, les premières pluies de l’automne sont loin de stimuler un écoulement à son niveau le plus bas pendant l’été qui est une saison marquée par un pouvoir évaporant de l’atmosphère très accentué. En effet, les sols sont desséchés, les nappes presque épuisées, et presque toute la pluie automnale est destinée à l’alimentation des sols et des nappes phréatiques.

• **En hiver**, les sols étant humectés sont relativement saturés pendant l’automne hydrologique, cependant la diminution de l’évaporation jusqu’en février agit sensiblement sur le bilan hydrique des sols. Ces facteurs déclenchent l’hiver hydrologique (NGADI. M, 1995). Le débit moyen de cette saison est de $50,34\text{m}^3/\text{s}$ (1980-81/2011-12), est sensiblement élevé par rapport à l’automne. En effet de $12,97\text{m}^3/\text{s}$ enregistré en décembre, nous passons à $22,06\text{m}^3/\text{s}$ en février ; cette valeur constitue le maximum de débit de la période pendant la saison

hivernale. Au cours de celle-ci les pluies moyennes atteignant 103,2mm à Ait Khabache, 97 mm à Azzaba, et 127,4 mm à Séfrou, elles sont responsables de l'augmentation du débit de l'oued Sebou au Moyen Atlas, sans négliger le débit apporté par l'activité des résurgences karstiques.

• **Au printemps**, les sols et les nappes étant bien rechargés en hiver entre mars et mai, les débits moyens connaissent une augmentation notable. Le maximum de débit est de l'ordre de $25\text{m}^3/\text{s}$ au mois de mars ; ceci est en relation avec la fonte nivale et à l'activité importante des résurgences. Le débit moyen de cette saison est de $64,18\text{m}^3/\text{s}$ (1980-81/2011-12), ainsi il se positionne au premier rang par l'importance de son débit.

• **En été**, le débit des oueds étant soutenu par les nappes phréatiques baisse à $6,25\text{m}^3/\text{s}$ en juillet et $5,41\text{m}^3/\text{s}$ en août. En effet, elles permettent à l'oued de Sebou à partir du Moyen Atlas de faire écouler un débit de $22,13\text{m}^3/\text{s}$, malgré l'importance de l'évapotranspiration. Avec la vidange progressive des nappes souterraines karstiques le débit baissé à $10,47\text{m}^3/\text{s}$, en juin pour atteindre $6,63\text{m}^3/\text{s}$ en septembre.

➤ **À l'oued Inaouene**, le régime saisonnier dans la zone intermédiaire entre le Moyen Atlas au sud et les collines de préif au nord, se traduit selon les saisons suivantes :

• **En automne**, le débit moyen d'automne selon les trois stations étudiées, les débits saisonniers à Bab Marzouka, El Kouchet et Bab Echehoub, affichent respectivement une moyenne de $4,81\text{m}^3/\text{s}$, $6,85\text{m}^3/\text{s}$ et $5\text{m}^3/\text{s}$ en 1980-81/2011-12. Ce débit augmente de $0,52\text{m}^3/\text{s}$ en septembre à $1,54\text{m}^3/\text{s}$ en novembre. Ces écoulements sont modestes malgré une activité pluviométrique importante qui a apporté une moyenne de 152,8 mm entre 1980-81 et 2013-14.

Le régime saisonnier automnal de l'oued Inaouene dépend de deux systèmes géologiques différents: le premier, issu du Moyen Atlas qui a un système karstique souterrain où l'écoulement provient des résurgences. Comme la recharge de ces nappes s'effectue par le phénomène de siphonage, l'activité du drainage est retardée au début de l'année hydrologique ce qui explique la faiblesse des écoulements issus des affluents Moyen-atlasiques. Le deuxième système, concerne le domaine rifain qui se caractérise par des terrains marneux imperméables, ce qui accélère l'écoulement et favorise l'augmentation des débits des oueds: Larbaa et oued Lahdar à cause du phénomène de colmatage des sols lors des chutes pluvieuses.

• **En hiver**, après l'humectation des sols pendant l'automne et la virulence de la pluviométrie au cours de cette saison, le débit moyen augmente pour atteindre au niveau des trois stations: $27,53\text{m}^3/\text{s}$ à Bab Marzouka, $39,22\text{m}^3/\text{s}$ à El Kouchet, au cours principal de l'oued Inaouène et $20\text{m}^3/\text{s}$ à Bab Echehoub qui contrôle le débit de l'oued Larbaa entre 1980-81 et 2011-12. En effet le démarrage de l'activité des sources et la hausse des apports

pluviométriques hivernaux; 235,6mm à Taza, 229,89mm à Bab Marzouka sont les principaux facteurs de cette augmentation du drainage dans le bassin.

➤ **À l'Oued Ouergha**, le régime saisonnier indique une variabilité hydrologique selon les saisons suivantes :

• **En automne**, le débit moyen affiché à Bab Ouender est de $21,25\text{m}^3/\text{s}$, $25,75\text{m}^3/\text{s}$ à Ain Aicha pour la période 1980-81/2011-12. L'écoulement connaît une augmentation à partir du mois de septembre; $1,84\text{m}^3/\text{s}$ à novembre; $20,41\text{m}^3/\text{s}$ à Ain Aicha. Le même rythme saisonnier se répète pour la station de Bab Ouender avec $8,69\text{m}^3/\text{s}$ en septembre et $10,68\text{m}^3/\text{s}$ en novembre. Cet écoulement non négligeable s'explique par une pluviométrie assez importante; 142,19 mm à Ain Aicha et 187,6 mm à Bab Ouender au cours de la période étudiée.

Le drainage dans le bassin de l'oued Ouergha dépend d'un système géologique où prédominent des formations argilo-marneuses imperméables ne permettant pas de constituer des réservoirs d'eaux souterraines importantes, ce qui favorise l'augmentation du débit de l'oued Ouergha grâce au phénomène de colmatage des sols, après le passage de pluies généralement concentrées dans le temps et l'espace. Un autre phénomène qui contribue à l'accélération de l'écoulement c'est les fortes pentes qui caractérisent les montagnes rifaines et leurs grandes intensités pluviométriques; par exemple nous avons pour cette saison une moyenne de 365,4 mm à la station de Jbel Ouedka.

• **En hiver**, le débit moyen de cette saison aux deux stations: Bab Ouender ($74,65\text{m}^3/\text{s}$), et Ain Aicha ($149,37\text{m}^3/\text{s}$), a enregistré des valeurs plus élevées. Les quantités pluviales reçues en moyenne, sont de l'ordre de 592,02 mm à Jbel Ouedka, 297,5mm à Bab Ouender, et 229,89mm à Ain aicha (1980-81/2013-14). Ces fortes précipitations sont en relation avec le décalage de la circulation polaire vers le sud pendant cette saison dont les vallées froides se creusant en direction du Maroc, permettant le passage fréquent des dépressions atlantiques dotées d'une capacité hygrométrique importante. Les sols ayant déjà été saturé en automne, l'écoulement devient plus virulent si on considère l'abondance pluviométrique des mois de décembre, janvier et février.

• **Au printemps**, les pluies étant aussi abondantes, car elles ont dépassé 186,1mm à Bab Ouender, 147,38mm à Ain Aicha, et 383mm à Jbel Ouedka pour la période 1980-81/2013-14. Ces pluies sont à l'origine d'un écoulement de l'ordre de $38,91\text{m}^3/\text{s}$ à Bab Ouender, et $77,27\text{m}^3/\text{s}$ à Ain Aicha. Le débit maximal de $36,59\text{m}^3/\text{s}$ enregistré en mars se trouve soutenu par la fonte nivale et l'activité des sources en particulier dans le bassin du Haut Ouergha.

• **En été**, le débit estival est dérisoire; $1,31\text{m}^3/\text{s}$ en juillet et $1\text{m}^3/\text{s}$ en août à la station de Bab Ouender, et respectivement $2,31\text{m}^3/\text{s}$ et $1,66\text{m}^3/\text{s}$ à Ain Aicha. En effet les pluies estivales n'ont pas excédé 9,8mm à Bab Ouender et 11,67mm à Ain Aicha. L'absence des

pluies et l'étiage des sources contribuent à la diminution du débit de l'oued Ouergha; $5,06\text{m}^3/\text{s}$ à la station de Bab Ouender, et $8,75\text{m}^3/\text{s}$ à la station d'Ain Aicha.

➤ **Dans le Moyen Sebou, Beht, et la plaine du Gharb**, le régime hydrologique est plus influencé par les facteurs anthropiques surtout pour les stations du Moyen Sebou et du Gharb dont le débit enregistré est influencé par les opérations d'exploitation des barrages dans l'irrigation.

• **En automne**, les débits moyens enregistrent des valeurs élevées pour chaque station : $22,01\text{m}^3/\text{s}$ à Dar Al Arsa, $43,47\text{m}^3/\text{s}$ à Oueljet Soltane et $119,65\text{m}^3/\text{s}$ à Mechrâa Belksiri. Ces débits connaissent une augmentation du mois de septembre ($2,88\text{m}^3/\text{s}$) à novembre ($6,49\text{m}^3/\text{s}$) à Oueljet Soltane, le même rythme saisonnier se répète dans la station de Dar Al Arsa, $9,19\text{m}^3/\text{s}$ en septembre et $7,38\text{m}^3/\text{s}$ en novembre. Quant à la station de Mechrâa Belksiri, elle passe de $0,09\text{m}^3/\text{s}$ en septembre à $3,22\text{m}^3/\text{s}$ en novembre. Ces faibles débits sont liés à l'action anthropique et les effets des barrages.

• **En hiver**, les différentes régions connaissent un débit moyen élevé dans les trois stations : ($38,8\text{m}^3/\text{s}$) à Oueljet Soltane, ($35,24\text{m}^3/\text{s}$) à Dar Al Arsa, et ($489,09\text{m}^3/\text{s}$) à Mechrâa Belksiri pour la période de 1980-81 à 2011-12. Évidemment, l'hiver est toujours marqué par des hautes eaux par rapport aux autres périodes de l'année, car les cumuls pluviométriques sont aussi importants : $174,6\text{mm}$ à Dar Al Arsa, et $176,7\text{mm}$ à Oueljet Soltane. La station de Mechrâa Belksiri a connu un cumul de $215,7\text{mm}$ à cause de l'ouverture de la plaine du Gharb aux influences océaniques humides.

• **En printemps**, les débits moyens printaniers sont soutenus par les pluies, qui ont dépassé $119,9\text{mm}$ à Dar Al Arsa, $125,4\text{mm}$ à Oueljet Soltane, et $119,8\text{mm}$ à Mechrâa Belksiri. Le débit maximal ainsi a enregistré $40,88\text{m}^3/\text{s}$ à Dar Al Arsa, $23\text{m}^3/\text{s}$ à Oueljet Soltane et $265,81\text{m}^3/\text{s}$ à Mechrâa Belksiri pour la période de 1980-81 à 2011-12. Le débit le plus élevé est situé au mois de mars, $119,09\text{m}^3/\text{s}$ à la station de Mechrâa Belksiri.

• **En été**, le débit des oueds étudiés fléchissent à $5,78\text{m}^3/\text{s}$ en juillet et $5,59\text{m}^3/\text{s}$ en août à la station de Dar Al Arsa, respectivement $1,03\text{m}^3/\text{s}$ et $1,27\text{m}^3/\text{s}$ à Oueljet Soltane, puis $40,91\text{m}^3/\text{s}$ et $38,56\text{m}^3/\text{s}$ à Mechrâa Belksiri. Le débit assez important de ces stations, est lié aux opérations d'écêtement des barrages Al Wahda, Idriss I et Allal Al Fassi. Cependant les pluies estivales ont un impact médiocre sur l'hydrologie du bas Sebou. Le système hydrologique par ailleurs dans ce secteur diffère d'une zone à l'autre, car l'oued Beht se caractérise par l'influence des formations karstiques qui joue un rôle de régularisation de l'écoulement, par contre au Moyen Sebou dominé par des formations argilo-marneuses, l'effet de colmatage agit sur les eaux provenant de la rive droite pré-rifaine en chargeant les eaux par les particules.

Ainsi, les variations du régime de l'oued Sebou et de ses principaux affluents sont relativement dues à la diversité des régions géologiques karstiques régulatrices du débit Moyen atlasique, et à la présence des formations argilo-marneuses et des pentes abruptes, dans le domaine rifain.

3.2.2. Débits moyens et coefficients mensuels

Comme tous les oueds du Nord-Ouest du Maroc, l'oued Sebou et ses affluents se caractérisent par une activité hydrologique hivernale importante traduisant l'influence des masses humides océaniques. En effet, appartenant au climat méditerranéen le régime pluvial du bassin à deux saisons au sein de l'année est fortement influencé par les flux perturbés océaniques entre novembre et avril. De ce fait, le régime hydrologique est bien calqué sur le régime pluviométrique dans le domaine Rifain qui se caractérise par une réponse hydrologique rapide à l'activité pluviale, par contre dans le domaine Moyen atlasique le régime d'écoulement est modifié par la fonte nivale et l'apport en eau des résurgences karstiques. Cependant les basses eaux estivales sont influencées par la sécheresse climatique et la forte évapotranspiration ainsi que par l'exploitation massive des eaux destinées à l'irrigation. Dans ce qui suit, nous allons interpréter les débits moyens mensuels et les coefficients mensuels de débits (CMD) (Tab. n°24 et carte. n°32).

• **Dans le Haut Sebou et Inaouene**, la période des hautes eaux se place en saison pluvieuse de décembre à février. Le maximum est en février pour les quatre stations Azzaba, Bab Echehoub, Bab Marzouka et El Kouchet. Les coefficients mensuels de débit sont assez élevés jusqu'à 3,22 en février à la station de Bab Echehoub dans le bassin d'Inaouene, néanmoins, le débit élevé enregistre à la station d'Azzaba avec un apport de $22,06\text{m}^3/\text{s}$ au Moyen Atlas. La régression des hautes eaux de ces oueds est manifestée discrètement en février, mais s'est accéléré en mars et avril; 1,65 au Haut Sebou ($22\text{m}^3/\text{s}$) et 1,71 ($4,66\text{m}^3/\text{s}$) à l'Oued Inaouene. Durant cette saison, les pluies moyennes mensuelles sont toujours supérieures à 65mm par mois. La saison des basses eaux de mai à novembre se caractérise par la faiblesse des apports pluviométriques qui sont inférieurs à 20mm.

Les débits sont un peu soutenus par les sources, en juin, le CMD atteint 0,78 avec un débit de $10,5\text{m}^3/\text{s}$ à Azzaba, il baisse à 0,1 ($0,41\text{m}^3/\text{s}$) à Bab Marzouka et 0,23 avec un débit de $1,41\text{m}^3/\text{s}$ à El kouchet, pour atteindre leurs minimums en août; le CMD touche un tarissement de 0,04 ($0,25\text{m}^3/\text{s}$) à El Kouchet et 0,02 ($0,13\text{m}^3/\text{s}$) à Bab Marzouka. Par contre dans la station d'Azzaba au Haut Sebou, le mois d'août connaît un coefficient de débit mensuel plus élevé par rapport aux autres stations; 1,4 qui traduit des perturbations orageuses estivales au sommet du Moyen Atlas qui a donné un débit de $5,41\text{m}^3/\text{s}$.

• **À l'Oued Ouergha**, les hautes eaux se situent entre décembre et mars à la station d'Ain Aicha avec un débit de $48,8\text{m}^3/\text{s}$ et ($26,43\text{m}^3/\text{s}$) pour la station de Bab Ouender. Le

coefficient mensuel de débit a enregistré un maximum au niveau de la station d'Ain Aicha : 2,49 en mars à la station de Bab Ouender est de 2,36 en décembre. Le recul des hautes eaux commence à partir du mois de février pour la station de Bab Ouender: 2,35, et de mars 2,49 à Ain Aicha. Vers le mois de juin, le CMD diminue à 0,08 en raison de la baisse de débit à 1m³/s à Bab Ouender et 0,07 avec un débit de 1,66m³/s en août à Ain Aicha.

• **Au Moyen Sebou, Beht et Gharb**, le régime hydrologique des trois stations étudiées est variable d'une station à l'autre. La répartition mensuelle des eaux écoulées à la station Dar Al Arsa montre la baisse des débits par rapport aux autres stations où le CMD atteint leur maximum à 1,75 avec un débit supérieur de 17,16 m³/s en mars. Le recul des eaux écoulées commence à partir du mois d'avril, ce qui fait un impact négatif sur le CMD qui baisse à 0,57 en août. Les hautes eaux se manifestent entre novembre et février où elles atteignent 81,13m³/s à d'Oueljet Soltane et 190,8m³/s à Mechrâa Belksiri, ce qui reflète positivement sur le coefficient mensuel de débit est de 2,57 à Oueljet Soltane et 2,3 à Mechrâa Belksiri. Les basses eaux commencent à partir du mois de février pour la station d'Oueljet Soltane et Mechrâa Belksiri, pour atteindre leurs minimums de 8,44 m³/s à Oueljet Soltane et 38,6 m³/s à Mechrâa Belksiri. Comme il est indiqué que les débits de ces stations, sont influencés notablement par les barrages du bassin de Sebou.

Globalement, l'oued Sebou et ses principaux affluents se caractérisent par un régime pluviométrique à deux saisons hydrologiques rythmées par le climat méditerranéen. Les pluies hivernales assurent des écoulements importants pendant cette saison bénéficiant d'une évapotranspiration potentielle réduite. Durant la saison chaude de l'année, la faible pluviosité combinée à une évapotranspiration importante, contribue à la baisse des écoulements d'où l'apparition des étiages en été, plus particulièrement aux oueds rifains. En effet avec une lithologie essentiellement imperméable et des réservoirs souterrains à faibles capacités d'emmagasinement des eaux, les écoulements sont moins soutenus par les sources. En revanche, le Moyen Atlas se caractérise par des substratums perméables qui permettent l'infiltration des eaux, ce qui régularise l'écoulement et allonge la saison des hautes eaux, mais également soutient notablement les débits d'étiages en été.

Tableau. n°24: Débits mensuels de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (1980-81/ 2011-12).

Stations	Type de débit	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
Azzaba	Qm³/s	6,6	8,09	8,41	12,9	15,31	22,06	25	22	17	10,5	6,25	5,41
	L/S/Km²	1,3	1,81	1,88	2,9	3,43	4,94	5,6	4,95	3,83	2,34	1,4	1,21
	CMD	0,5	0,6	0,63	0,9	1,14	1,65	1,87	1,65	1,28	0,78	0,46	1,4
Bab Marzouka	Qm³/s	0,9	1,72	2,31	6,3	10,59	10,66	7,75	3,88	1,75	0,41	0,06	0,13
	L/S/Km²	0,5	1,14	1,54	4,18	7,06	7,1	5,16	2,58	1,16	0,27	0,04	0,08
	CMD	0,2	0,44	0,59	1,62	2,74	2,76	2	1	0,45	0,1	0,01	0,02

El kouchet	Qm³/s	0,6	2	4,22	8,13	13,09	18	12,16	7	3,88	1,41	0,44	0,25
	L/S/Km²	0,2	0,77	1,64	3,16	5,09	7	4,73	2,72	1,5	0,54	0,17	0,09
	CMD	0,1	0,33	0,71	1,37	2,2	0,03	2,05	1,18	0,65	0,23	0,07	0,04
Bab Echehoub	Qm³/s	0,09	1,69	3,22	4,97	6,25	8,78	4,66	2,06	0,75	0,13	0	0,06
	L/S/Km²	0,05	1,07	2,05	3,16	3,98	5,59	2,96	1,31	0,47	0,08	0	0,03
	CMD	0,03	0,62	1,18	1,82	2,29	3,22	1,71	0,75	0,27	0,04	0	0,02
Ain Aicha	Qm³/s	1,8	3,5	20,4	46,3	48,8	54,3	36,59	24,3	16,3	4,78	2,31	1,66
	L/S/Km²	0,7	1,42	8,29	18,81	19,85	22,05	14,87	17,2	6,64	1,94	0,93	0,67
	CMD	0,08	0,16	0,93	2,12	2,24	2,24	2,49	1,68	1,11	0,75	0,1	0,07
Bab Ouender	Qm³/s	8,7	1,88	10,7	26,43	22	26,22	18,28	12,6	8	2,75	1,31	1
	L/S/Km²	1,5	1,07	6,08	15	12,52	14,93	10,41	7,19	4,55	1,56	0,74	0,56
	CMD	0,2	0,16	0,95	2,36	1,97	2,35	1,63	1,1	0,71	0,24	0,11	0,08
Dar Al Arsa	Qm³/s	6,2	8,44	7,38	9,5	10,47	15,31	17,16	13	10,6	7,81	5,78	5,59
	L/S/Km²	12,2	16,5	14,5	18,67	20,57	30,09	33,72	25,7	20,9	15,3	11,4	10,9
	CMD	0,6	0,86	0,75	0,97	1,07	1,56	1,75	1,32	1,08	0,79	0,59	0,57
Oueljet Sultane	Qm³/s	8,7	9,59	25,2	51,13	52,05	81,13	51,94	43,4	26,1	12,4	8,41	8,44
	L/S/Km²	3,7	4,14	10,9	22,12	22,53	35,1	22,47	18,8	11,3	5,36	3,63	3,65
	CMD	0,3	0,3	0,79	1,62	1,65	2,57	1,64	1,37	0,82	0,39	0,26	0,26
Mechrâa Belksiri	Qm³/s	33,5	35,31	50,8	126,3	172	190,8	119	74,9	71,8	38,6	40,9	38,6
	L/S/Km²	23,2	24,41	35,2	87,29	118,9	131,9	82,34	51,9	49,6	26,9	28,3	26,6
	CMD	0,4	0,42	0,61	1,52	2,07	2,3	1,43	0,9	0,86	0,46	0,49	0,46

3.2.3. Variabilité des débits mensuels

Le régime des écoulements de l'oued Sebou et de ses principaux affluents est très variable. Les débits les plus élevés se produisent en général entre décembre et février, inversement les étiages s'effectuent en d'août et en septembre. Cependant on relève une importante variabilité des débits mensuels dus à la caractéristique hydrologique spécifique de chaque année dans la série étudiée. (Tab. n°25 et carte.n°32).

Tableau. n°25: Irrégularité des débits mensuels de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (1980-81/2011-12).

Stations	Variabilité de débit	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
Azzaba	ET	6,9	9	7,8	11,2	15,9	24,4	25	13,2	9,1	6,1	5,1	5,3
	CV	1	1,1	0,9	0,9	1	1,1	1	0,6	0,5	0,6	0,8	1
	CI	24	43	30	42	83	99	107	49	43	17	9	11
Bab Marzouka	ET	5,8	7,2	5,8	9,7	16,4	18,7	15,6	6,3	5,6	5,6	5,6	5,6
	CV	7,4	4,1	2,5	1,5	1,5	1,8	2	1,6	3,1	13,7	89	44,5

	CI	9	28	12	36	75	75	82	18	6	4	1	2
El kouchet	ET	4,6	6,9	6,7	10,3	17,1	33	18,3	9,9	6	4,6	4,6	4,6
	CV	6	3	1,4	1,4	1,4	1,8	1,6	1,1	1,2	2,7	8,3	16,8
	CI	5	27	24	46	76	151	85	46	21	6	3	2
Bab Echehoub	ET	5,6	9,6	9,4	10,7	11,7	17,1	8,8	6,1	5,6	5,6	5,6	5,6
	CV	59,5	5,6	2,8	2,1	1,9	1,9	1,8	2,6	6	44,7	5,6	89,1
	CI	3	46	45	52	54	59	33	6	4	0	0	2
Ain Aicha	ET	5,8	6,4	27,5	58,9	72,1	79,3	47,3	19,2	18,4	7,2	6,8	5,8
	CV	3,1	1,8	1,3	1,3	1,5	1,5	1,3	0,8	1,1	1,5	2,9	3,5
	CI	11	18	92	218	325	328	228	67	72	20	24	12
Bab Ouender	ET	10,7	5,5	13,8	37	32,8	36,4	27,3	11	9,8	6,1	5,7	5,7
	CV	4	2,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	0,9	1,2	2,2	4,3	5,7
	CI	55	6	49	170	137	137	127	33	33	15	10	9
Dar Al Arsa	ET	5,6	8,2	6	7,2	9,9	15,5	17,9	11,4	9,2	7,2	5,9	5,6
	CV	0,9	1	0,8	0,8	0,9	1	1	0,9	0,9	0,9	1	1
	CI	12	34	15	26	44	54	60	39	25	23	12	12
Oueljet Sultane	ET	10,4	10,2	39,1	90	73,8	165,5	89,2	57,4	40,6	17,3	12,8	11,8
	CV	1,2	1,1	1,6	1,8	1,4	2	1,7	1,3	1,6	1,4	1,5	1,4
	CI	19	23	39	151	78	121	423	150	45	30	32	29
Mechrâa Belksiri	ET	35,1	36,1	50,6	166	225,5	251,6	176,5	70,8	74,8	29,3	41,2	40,1
	CV	1	1	1	1,3	1,3	1,3	1,5	0,9	1	0,8	1	1
	CI	143	132	209	628	830	844	855	314	292	121	187	201

3.2.3.1. Étude des coefficients de variation et d'irrégularité

À l'égard de la diversité géographique, topographique et climatique de bassin versant de Sebou, le coefficient de variation et d'irrégularité semblent très variés pour l'oued Sebou et ses principaux affluents (carte. n°32):

- **Dans le Moyen Atlas**, les débits moyens mensuels de la période de 1980-81 à 2011-12 augmentent à partir du mois de décembre pour atteindre leur maximum au mois de mars ($25\text{m}^3/\text{s}$) avec un coefficient de variation de 1, puis ils diminuent jusqu'à un minimum de $5,41\text{m}^3/\text{s}$ au mois d'août avec le même coefficient de variation. Pendant la période chaude de l'année, les averses orageuses peuvent perturber le régime hydrologique de l'oued Sebou donnant naissance à des crues torrentielles dévastatrices. C'est le cas de la violente crue du Haut Sebou enregistré le 10-10-2008, avec un débit maximum instantané de $2600\text{m}^3/\text{s}$ (AHBS, 2008).

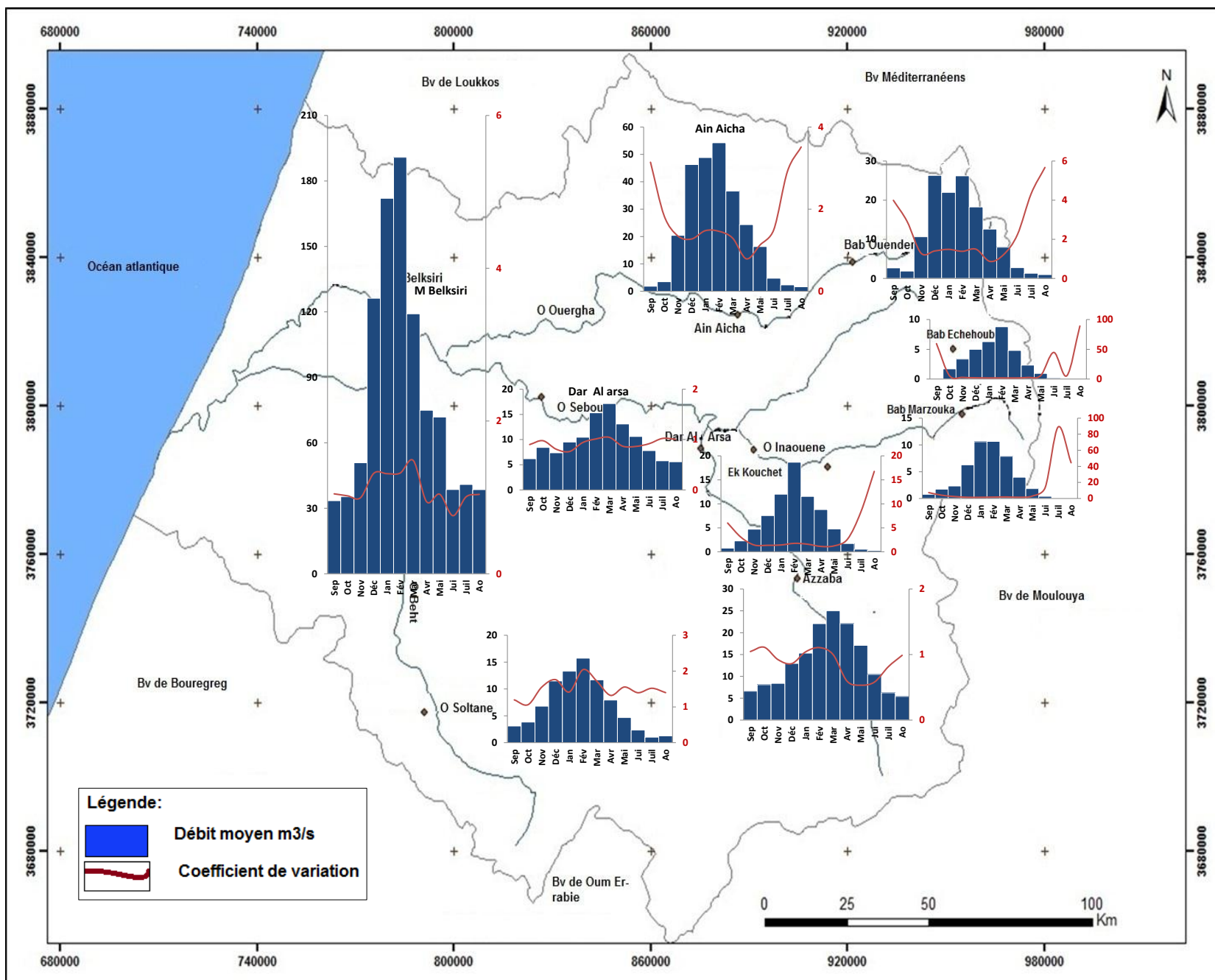
- **À l'oued Inaouene**, l'évolution des débits moyens mensuels durant la même période statistique montre bien les effets des étiages en juillet; nous avons respectivement $0,06\text{m}^3/\text{s}$ à Bab Marzouka avec un Cv très important de 89 en raison du faible débit de l'oued Inaouene pendant une longue période de la sécheresse, d'où un tarissement total à Bab Echehoub et un Cv de 6 à El Kouchet, $0,25\text{m}^3/\text{s}$ en août. Dès le mois de janvier, les pluies deviennent de plus en plus importantes pour atteindre leurs maximums en février. Celles-ci ruissellent sur des

terrains déjà saturés et viennent s'ajouter à la fonte nivale du Moyen Atlas, ce qui contribue à gonfler les débits de l'oued Inaouene. Ces derniers atteignent leur maximum en février avec : $8,78 \text{ m}^3/\text{s}$ à Bab Echehoub, $10,66 \text{ m}^3/\text{s}$ à Bab Marzouka et $18 \text{ m}^3/\text{s}$ à El Kouchet. La variation de débit de l'oued Inaouene au niveau de ces stations est presque égale à 2 à cause d'un fort écoulement soutenu par les résurgences du Moyen Atlas à cette saison froide pendant les années humides. En revanche, ces facteurs manquent durant les années sèches.

• **Dans le domaine Rifain**, le régime hydrologique connaît une augmentation du débit à partir du mois de novembre pour atteindre un maximum au sein de la saison froide. Nous avons successivement $26,3 \text{ m}^3/\text{s}$ à Bab Ouender en décembre et $54,25 \text{ m}^3/\text{s}$ à Ain Aicha en février. Le coefficient de variation baisse à 1,3 en mars à cause du support accru des résurgences du Haut Ouergha. En revanche le débit pendant la saison sèche diminue jusqu'à $1 \text{ m}^3/\text{s}$ à Bab Ouender et $1,66 \text{ m}^3/\text{s}$ à Ain Aicha en août avec un Cv un peu élevé (5,7) car des écoulements pendant les années sèches peuvent connaître des étiages très importants. Sans oublier les opérations d'écêtement des barrages Bouhouda et Asfalou à des fins d'irrigation en été qui peuvent modifier le régime hydrologique.

• **Au Moyen Sebou** à la station Dar Al Arsa, l'écoulement est moins important par rapport au Haut Sebou à cause de l'influence du barrage Idriss I et Allal El Fassi à l'amont de la station. Le débit maximum est de $17,16 \text{ m}^3/\text{s}$ en mars, par contre le débit minimum observé en août est de $5,59 \text{ m}^3/\text{s}$. Le coefficient de variation de débit dans l'oued Sebou au niveau de cette station est aux alentours de **1**, car l'écoulement de l'oued est régularisé par les lâcher d'eau des barrages susmentionnés, ce qui garde la durabilité de celui-ci dans le Moyen Sebou.

• **Dans la plaine du Gharb et le Bv du Beht**, le débit maximum du Sebou est respectivement $190,81 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Mechrâa Belksiri avec un Cv de 1,3 et $81,13 \text{ m}^3/\text{s}$ à Oueljet Soltane en février avec un Cv de 2 pendant la période humide de l'année. Le débit minimum descend à $33,50 \text{ m}^3/\text{s}$ en septembre à la station de Mechrâa Belksiri et $8,41 \text{ m}^3/\text{s}$ en juillet à la station d'Oueljet Soltane qui connaît des averses orageuses au niveau du Moyen Atlas. Le débit de la station de Mechrâa Belksiri semble plus influencé par les opérations d'écêtement des retenues d'eau en particulier au niveau du barrage Al Wahda.



Carte. n°32: Débits moyens et Coefficient de variation des débits de l’oued Sebou et de ses principaux affluents (1980-81/2011-12).

3.2.3.2. Fréquence des débits moyens mensuels

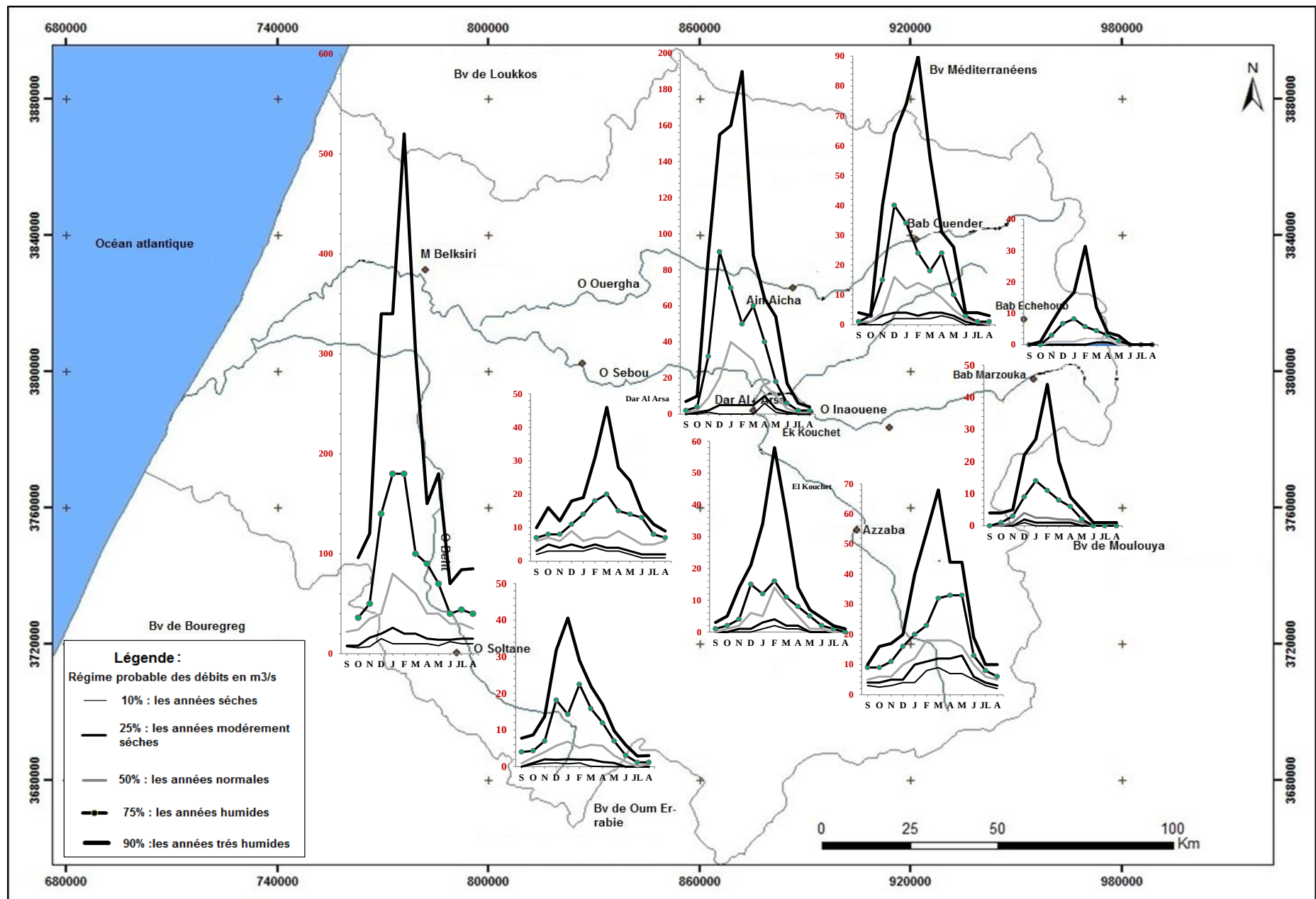
Le régime hydrologique mensuel moyen est également examiné par une étude fréquentielle. L'analyse du régime probable à 90%, 75%, 50%, 25%, et 10%, a permis de dégager plusieurs aspects de régime de l'oued Sebou et de ses affluents (carte.n°33 et annexe. n°3).

• **Dans le Haut de l'oued Sebou**, la répartition mensuelle de débit probable au niveau du Moyen Atlas, montre nettement une augmentation du débit à l'intérieur de la saison froide avec un minimum assez creusé en décembre: $4\text{ m}^3/\text{s}$ pour 10%, et $20\text{ m}^3/\text{s}$ pour 90%, tandis que le mois de mars se place en maximum principal avec $9\text{ m}^3/\text{s}$, à 10 % et $68\text{ m}^3/\text{s}$, à 90% des cas. La régression des hautes eaux se manifeste discrètement en avril $7\text{ m}^3/\text{s}$ à 10%, et $44\text{ m}^3/\text{s}$ à 90% des cas. Les débits paraissent un peu soutenus en juin; $5\text{ m}^3/\text{s}$ pour 10% et $19\text{ m}^3/\text{s}$ à 90% des cas, et reculent en juillet: $3\text{ m}^3/\text{s}$ à 10%, et $10\text{ m}^3/\text{s}$ à 90% pour atteindre leur minimum en août : $2\text{ m}^3/\text{s}$ à 10 %, et $10\text{ m}^3/\text{s}$ à 90% des cas.

L'écart entre les faibles, et les fortes valeurs probables est plus marqué à la station d'Azzaba à la plupart des mois de l'année hydrologique. Dans cette région, en prenant en compte les exemples cités: les fortes valeurs des mois humides ont essentiellement pour origine les situations pluvieuses issues des flux de Nord-Ouest (55%). Néanmoins, la baisse des valeurs aux mois d'hiver, est le reflet des obstacles orographiques (Jbel Tichoukte, 2787 m) qui imposent un effet d'abri.

• **Au Bv de l'oued Inaouene**, le régime probable est marqué par un maximum en février pour les fortes fréquences. Ici, la pente de la courbe à la fréquence 25%, nous renseigne que la station de Bab Marzouka montre une certaine régularisation des apports d'eau à $1\text{ m}^3/\text{s}$, et $4\text{ m}^3/\text{s}$ pour la station d'El kouchet. Pour la station de Bab Echehoub, le régime probable à la fréquence 50% est de $2\text{ m}^3/\text{s}$. À la fréquence 90%, nous avons le même comportement hydrologique entre les deux premières stations; $44\text{ m}^3/\text{s}$, mais avec une valeur de probabilité un peu élevée à la station d'El Kouchet; $58\text{ m}^3/\text{s}$. La baisse des apports d'eau dans le bassin versant d'Inaouene débute le mois de mars à la fréquence 10% dans la station d'El Kouchet; $1\text{ m}^3/\text{s}$ à 90% au mois d'août sans dépasser $2\text{ m}^3/\text{s}$. La hausse de l'apport d'eau dans le mois de février est due essentiellement aux influences humides, dont les situations de Nord-Ouest représentent 65,7% du bilan total des situations pluvieuses.

• **Pour l'oued Ouergha**, le régime probable est caractérisé à travers la courbe de fréquence à 90%, d'une hausse des apports d'eau à la station d'Ain Aicha au mois de février; $190\text{ m}^3/\text{s}$, et à la station de Bab Ouender; $90\text{ m}^3/\text{s}$. Dans cette région, les faibles probabilités caractérisent les débits à la fréquence au non dépassement de 10% des cas étudiés. Le recul des apports d'eau commence en mois de mars; $88\text{ m}^3/\text{s}$ jusqu'à $4\text{ m}^3/\text{s}$ en août au niveau de la courbe de 90%. En effet, même si le mois de février est le plus pluvieux de l'année dans le bassin versant de l'oued Ouergha, il est probable qu'il n'écoule que $6\text{ m}^3/\text{s}$ pendant les années les plus sèches.



Carte. n°33: Régime probable des débits de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (1980-81/2011-12).

Le régime probable de l'oued a bénéficié beaucoup des flux perturbés humides, provenant de Nord-Ouest (61,9% de bilan total). Le haut débit des deux mois de février et mars, peut-être expliqué par la fusion nivale sur les sommets de montagnes rifaines et à l'apport pluvial hivernal très important dans ce bassin.

• **Au Bv de l'oued Beht**, la distribution mensuelle des débits probables montre clairement une augmentation pendant la saison froide. Elle débute au mois d'octobre: $1\text{m}^3/\text{s}$ à 10%, et $41\text{m}^3/\text{s}$ à 90% en janvier. Mais le mois de février se place en maximum principal avec $29\text{m}^3/\text{s}$ à 90% des cas. Nous observons également que l'écart entre les faibles et les fortes valeurs probables est plus marqué à la station d'Oueljet Soltane entre tous les mois de l'année hydrologique. Dans le bassin de Beht, et en prenant en compte ces exemples, les fortes valeurs des mois humides sont essentiellement dues aux situations pluvieuses émanant des flux de Nord-Ouest (62,1%), qui ont contribué beaucoup à l'augmentation du débit de l'oued durant la saison froide.

• **Au Moyen Sebou et à la plaine du Gharb**, le régime probable aux deux régions est caractérisé sur les deux courbes de fréquence à 90%, par une hausse des apports d'eau à la station de Mechrâa Belksiri en mois de mars; $300\text{m}^3/\text{s}$, et $46\text{m}^3/\text{s}$ à la station Dar El Arsa. Dans ces régions, les faibles probabilités caractérisent les débits à la fréquence 10% au mois d'octobre; $6\text{m}^3/\text{s}$ à la station de Mechrâa Belksiri.

Le régime probable de l'oued Sebou et de ses principaux affluents a bénéficié beaucoup des flux perturbés humides de Nord-Ouest provenant de la façade maritime atlantique. Le haut débit de l'oued Sebou au niveau de la plaine du Gharb, est dû principalement aux apports d'eau des affluents (Oued Inaouene, Lébène, R'dat et Ouergha ...), ce qui a eu des effets sur les quantités d'eaux charriées par les crues responsables des inondations dans cette plaine.

3.3. Les apports moyens journaliers

Au niveau journalier, les variations sont plus accusées qu'au niveau mensuel. Ainsi, nous pouvons remarquer un contraste important entre des jours de forte hydraulité et d'autres de faible hydraulité qui correspond à l'alternance des séquences pluviométriques d'intensités variables. Dans les axes suivants, nous allons traiter les années de forts et faibles débits, en essayant de dégager le déroulement de leurs saisons hydrologiques à travers l'élaboration des hyétogrammes hydrométriques.

3.3.1. Régime journalier pour quelques années humides

Le débit journalier durant l'année pluvieuse diffère dans le bassin versant selon les principaux affluents de Sebou :

• **Dans le Haut Sebou** (Fig. n°29), la répartition journalière pluies/débits à la station d'Azzaba pour l'année 2008-09, présente trois saisons hydrologiques distinctes: l'automne

hydrologique débutant le 9 septembre 2008 (5,8 mm) le débit est augmenté rapidement le 11 septembre jusqu'à $126\text{m}^3/\text{s}$ à cause des pluies notables, soit 14,1mm en 2 jours à la station étudiée. Ces valeurs sont surement plus élevées sur les montagnes. Cependant, malgré des ressauts de débits, la décrue s'effectue rapidement, car l'aspect orageux et intense de la pluie automnale et les caractéristiques sèches du sol n'ont pas permis une bonne infiltration. Cependant, les nappes étant efficacement alimentées par les pluies d'automne, soit 284,4mm d'apport. l'hiver hydrologique s'est annoncé vraiment avec un très haut débit qui dépasse $225\text{m}^3/\text{s}$ après des épisodes pluviométriques très importants du premier à la mi-décembre 2008; le total pluviométrique hivernal étant de 260mm pendant 37 jours pluvieux. Ainsi les apports pluviométriques précédents ont alimenté les réservoirs potentiels karstiques qui ont soutenu le débit du 11 mars 2009 qui a atteint $149\text{m}^3/\text{s}$.

Le printemps hydrologique a débuté par une saison d'instabilité de l'écoulement, malgré le pouvoir de régularisation des zones karstiques traduisant quand même la dépendance de l'oued Sebou vis-à-vis de l'apport pluvial qui a dépassé 56,2mm pendant 17 jours de pluie.

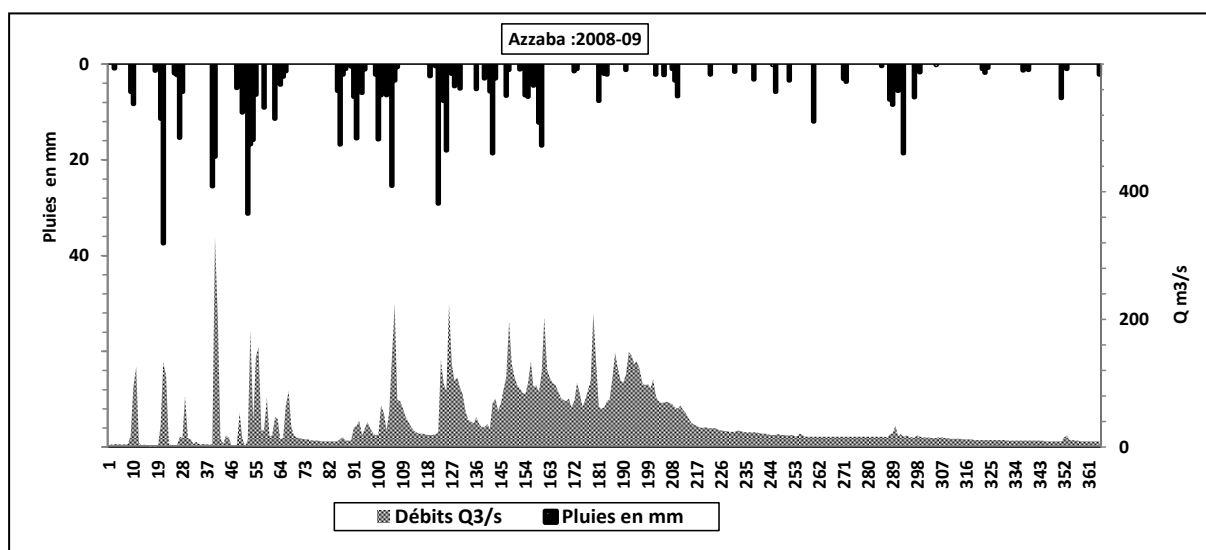


Figure. n°29: Hyétogrammes hydro-pluviométriques des années pluvieuses dans le Haut Sebou.

La prédominance de la stabilité atmosphérique et la médiocrité pluviométrique à partir du mois de mai, la décrue s'est effectuée depuis le premier de ce mois en passant de $20\text{m}^3/\text{s}$ à $9\text{m}^3/\text{s}$ à mi-août. Cette décrue tout de même a été bien soutenue par les sources karstiques qui ont gardé un écoulement régulier d'étiage aux alentours de $10\text{m}^3/\text{s}$, une caractéristique hydrologique différente de celle du domaine rifain.

• **Au Bv d'Inaouene** (Fig. n°30), la distribution pluie/débit de l'oued Inaouene à deux stations et en deux périodes différentes, apparaît à travers la figure d'évolution des courbes de la station Bab Marzouka en 2009-10. Sur cet affluent de l'oued Sebou, l'automne hydrologique, semble faiblement pluvieux; 86mm au total en 11 jours de pluie en 2009. L'oued Inaouene cependant n'a écoulé aucun débit, or, l'apport pluvial était médiocre car le bassin était asséché par l'évaporation liée aux hautes températures estivales. En saison hivernale, le

déclenchement de l'écoulement s'effectue le 20-12-2009 ($5\text{m}^3/\text{s}$) pour atteindre un débit maximum de $498\text{m}^3/\text{s}$ le 14 novembre 2010 à la station de Bab Marzouka.

Le printemps est une saison de décrue de l'oued Inaouene, malgré la régularisation des sources karstiques de Moyen Atlas oriental (système de chiffonnage). Car après un hiver hydrologique pluvieux les séquences pluviométriques de fin février et du début mars ($55,4\text{mm}$ le 09-03-2010) sont à l'origine de la crue maximale de l'année qui a atteint un débit de $888\text{m}^3/\text{s}$ à Bab Marzouka le 09-03-2010. Cependant avec l'établissement de la sécheresse climatique depuis la fin du mois de mars la décrue de l'oued Inaouène s'est instauré rapidement jusqu'au débit d'étiage qui a caractérisé la période une grande partie de la saison printanière et la totalité de la saison estivale.

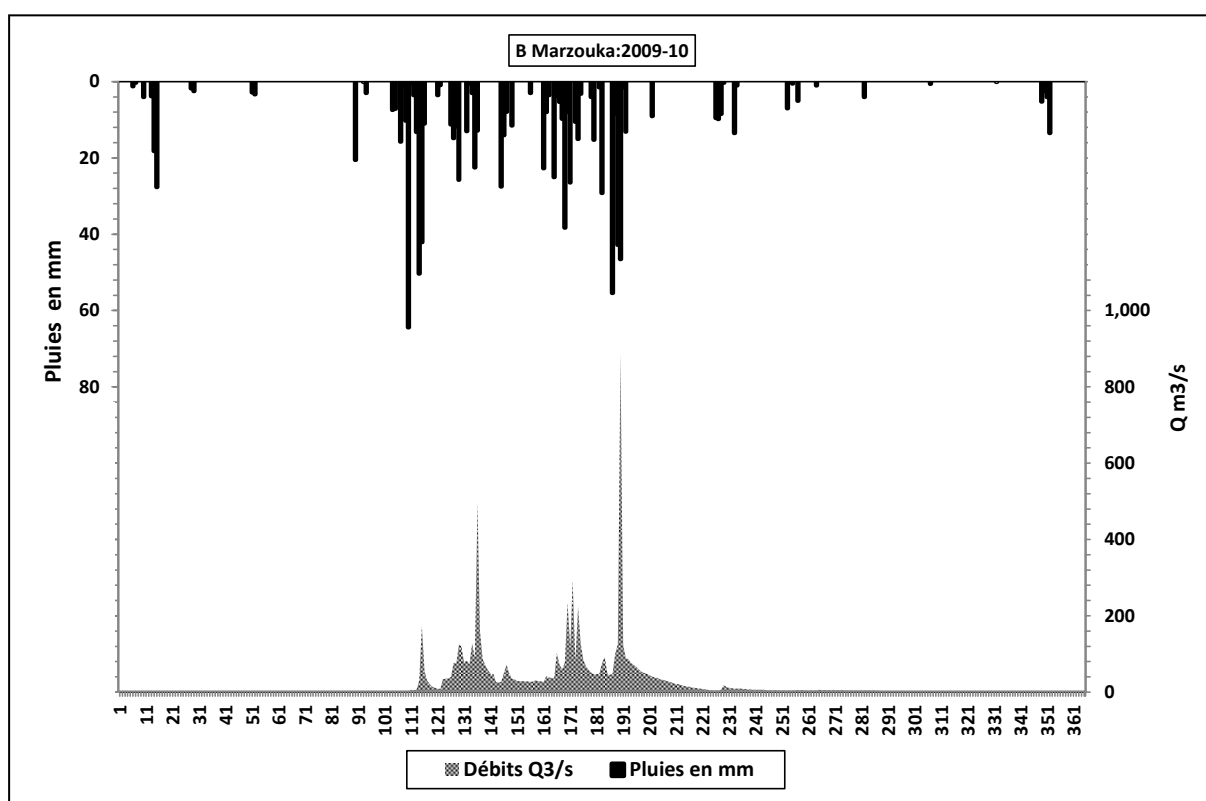
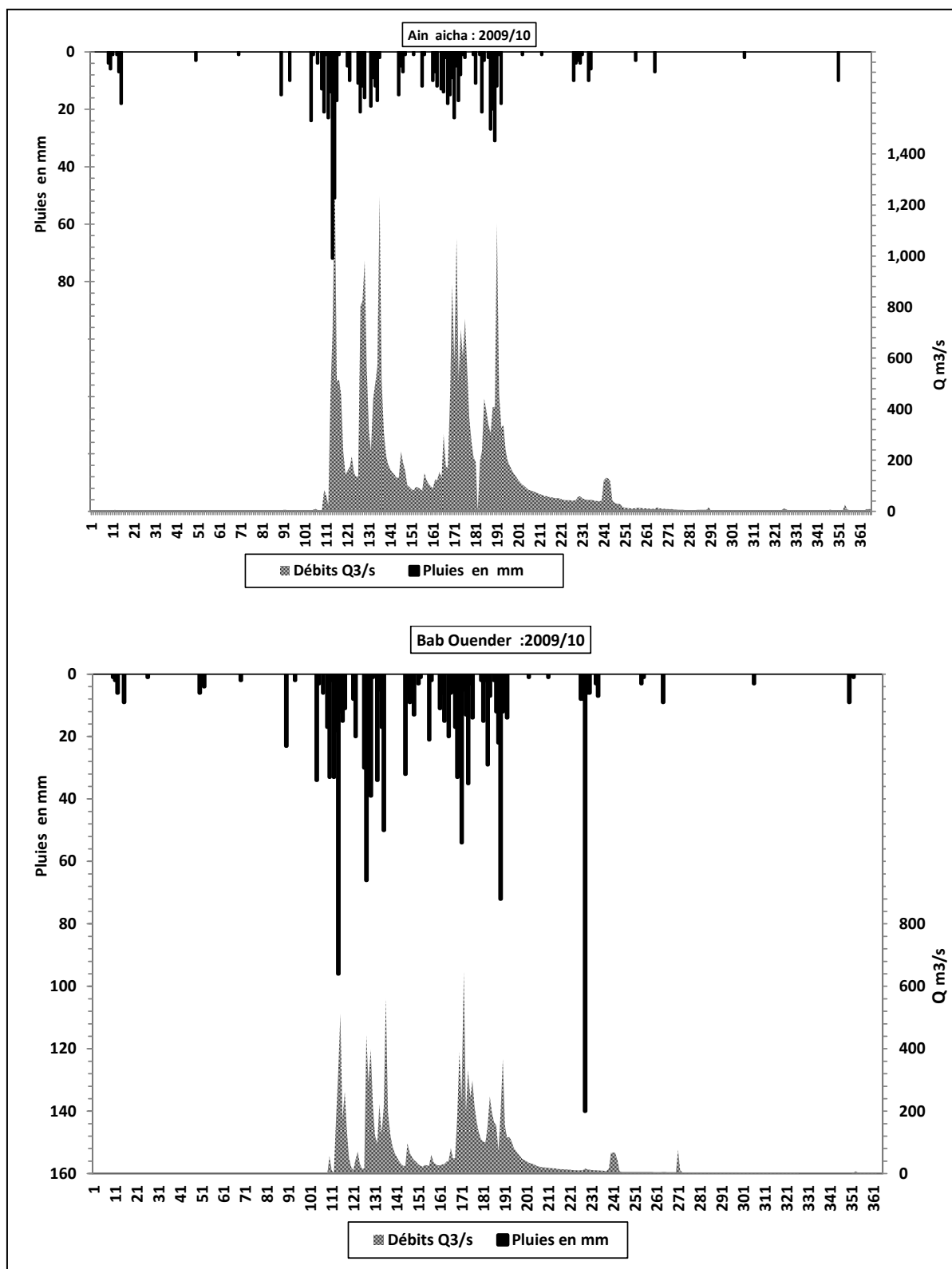


Figure. n°30: Hyétogrammes hydro-pluviométriques des années pluvieuses au Bv d'Inaouene.

• Dans Bv l'oued Ouergha (Fig.n°31), l'année 2009-10 est considérée l'une des années les plus pluvieuses dans le bassin avec 850mm en 79 jours de pluies à Ain Aicha et 1347mm en 83 jours à Bab Ouender. Cette année présente une bonne répartition des jours pluvieux qui sont regroupés à leur tour en épisodes dont l'apport pluviométrique n'était pas très excessive. En effet, ces épisodes ont constitué trois saisons: une de très faible pluviosité de mi-septembre à la fin de novembre (56mm), avec un débit automnal de $5\text{m}^3/\text{s}$.

La deuxième plus concentrée de mi-décembre jusqu'à la fin de février (596mm), est responsable de la montée successive du débit journalier moyen à $1297\text{m}^3/\text{s}$ le 24-12-2009 après un passage pluvieux qui a apporté 72mm le 23 du même mois. La troisième saison s'étale entre mars et le 21 avril (176mm), où le débit de la crue printanière a atteint $1127\text{m}^3/\text{s}$

le 10-03-2010 après l'avènement d'épisodes pluvieux de 4 jours; 90mm à la station d'Ain Aicha.



Figures. n°31: Hyétogrammes hydro-pluviométriques des années pluvieuses au Bv de l'oued Ouerga.

À la station de Bab Ouender, l'année hydrologique 2009-10 est également exceptionnellement pluvieuse. En conséquence, les épisodes constituent trois saisons: la première commence de la mi-septembre jusqu'à la fin de décembre et se caractérise par une très faible pluviosité (54mm) avec un débit qui tend vers $1\text{m}^3/\text{s}$. La deuxième saison débute de la mi-décembre jusqu'à la fin du mois de février. Cette période hivernale a connu une concentration des épisodes pluvieux avec un total de 913mm qui ont augmenté le débit de l'oued Ouergha jusqu' à atteindre sa crue maximale de l'année à cette station de $647\text{ m}^3/\text{s}$ le 19-02-2010.

La dernière saison s'est déclenchée du premier mars à la fin du mois d'avril. Cette période printanière se caractérise par un total pluviométrique de 354mm, et un débit très important en mois de mars; $367\text{m}^3/\text{s}$ le 08-03-2010, et après cette date, le débit a baissé vers un étiage hydrologique de 2 à $3\text{m}^3/\text{s}$ en été.

Enfin du compte, le bassin versant de l'Ouergha, pendant l'année hydrologique 2009-10 a connu une des saisons hivernales les plus pluvieuses, qui est susceptible d'engendrer des crues et des inondations dans le bassin de Sebou, en particulier dans la plaine du Gharb. Ainsi l'oued Ouergha a connu pendant cette année quatre crues qui ont charrié un débit journalier excédant $1000\text{ m}^3/\text{s}$ à la station Ain Aicha et plus de $400\text{m}^3/\text{s}$ à Bab Ouender, ce qui montre la menace qu'elle peut y avoir pour les zones avals du bassin.

• **Dans le Bv de l'oued Beht** (Fig. n°32), l'année 1995-96 est également exceptionnellement pluvieuse, les épisodes humides se répartissent entre trois saisons, qui ont reçu un apport pluvial de 214,1mm en 79 jours représentant un taux de 21,6% du total de l'année hydrologique. Les épisodes pluvieux en automne débutent en septembre jusqu'à la fin de novembre, avec un apport pluvial très faible (60mm) et un débit qui n'a pas dépassé $28\text{m}^3/\text{s}$ le 04-09-1995. Cependant malgré ce saut précoce du débit celui-ci revient vers l'étiage hydrologique, suite à la sécheresse climatique qui a caractérisé cette saison. Avec le retour de la pluie pendant l'hiver hydrologique qui s'étale de janvier à fin de février (249,5mm), l'oued Beht a manifesté un écoulement plus important; le débit journalier maximal de l'année a atteint $247\text{ m}^3/\text{s}$ le 22-01-1996.

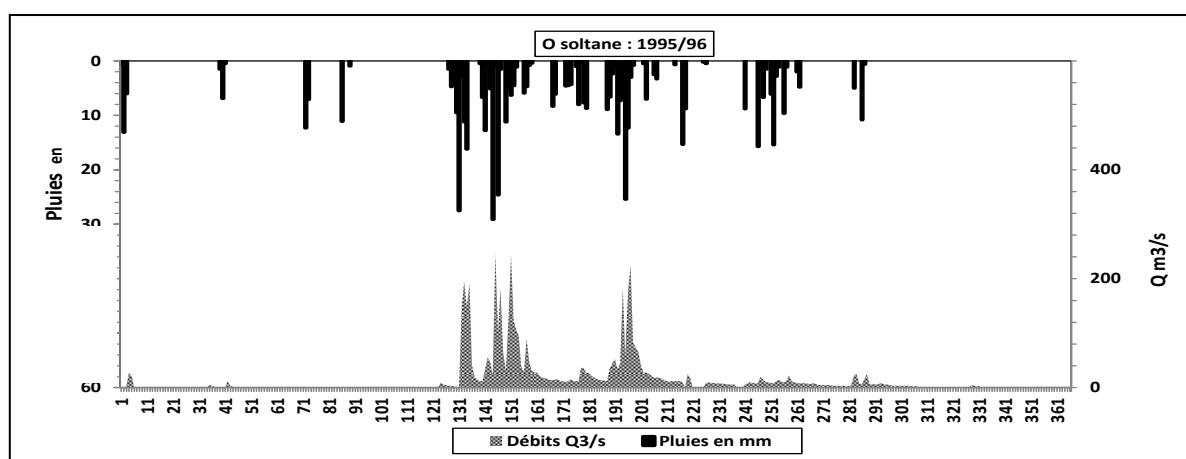


Figure. n°32: Hyétochrome hydro-pluviométrique des années pluvieuses dans le Beht.

Après un relâchement hydrologique pendant le mois de janvier, les pluies notables de la fin de février ont produit une crue qui a apporté $244\text{m}^3/\text{s}$ le 29-02-1996. De même pour la première moitié de mars où elles sont à l'origine d'un autre événement hydrologique caractérisé par une crue où le débit moyen journalier a augmenté jusqu'à $226\text{ m}^3/\text{s}$ le 15-03-1996. Au printemps, malgré des chutes pluvieuses non négligeables en avril la courbe baisse jusqu'à un débit moyen journalier minimum de $2\text{m}^3/\text{s}$ en été hydrologique. Cela peut être dû au prélèvement de l'évaporation et à la consommation d'eau croissante pour l'irrigation.

3.3.2. Régime journalier pour quelques années sèches

Bien que les années humides sont les plus touchées par les crues. Les années sèches ont leurs parts dans l'oued Sebou et ses principaux affluents:

- **Au Haut Sebou** (Fig.n°33), la station d'Azzaba en 2004-05 présente l'année la plus sèche avec un régime de deux saisons: une longue saison d'indigence et un autre d'abondance relativement court. De ce fait, l'oued Sebou au Moyen Atlas se caractérise par un rythme d'écoulement moins irrégulier. La courbe de pluie/débit traduit la capacité de régularisation du débit de Haut Sebou pendant les sécheresses hivernales, car il est soutenu par les sources karstiques (entre 4 et $8\text{m}^3/\text{s}$). Au passage des épisodes pluvieux, on relève des sursauts de $29\text{m}^3/\text{s}$ le 10-12-2004, suite à une averse journalière où on a enregistré 20,4 mm à Azzaba.

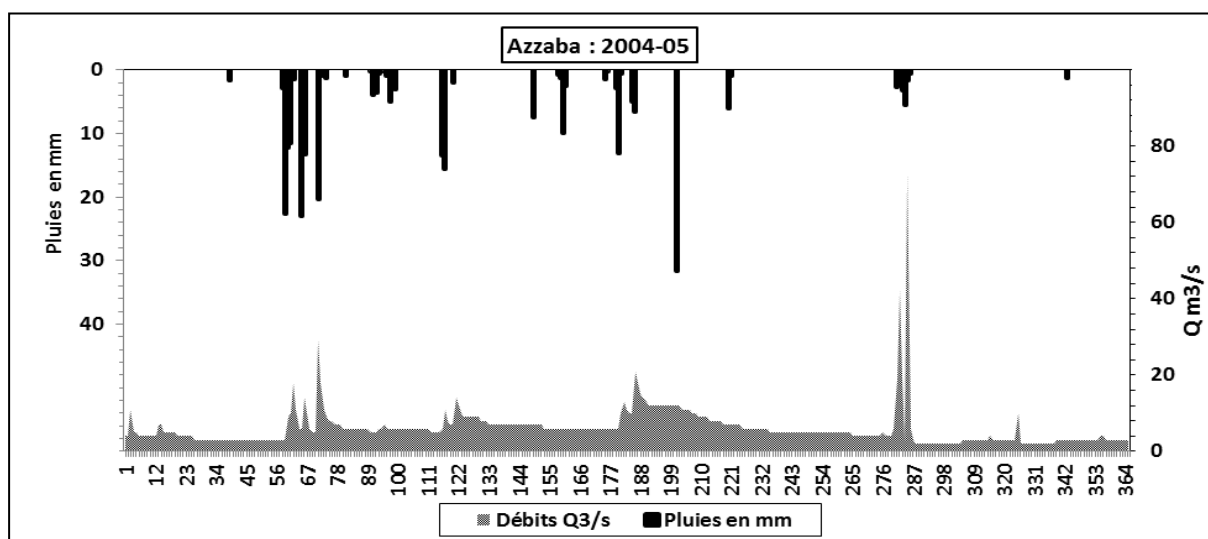


Figure. n°33: Hyétogramme hydro-pluviométrique des années sèches dans le Haut Sebou.

L'automne hydrologique, s'étale de la fin d'octobre à la fin de novembre avec un apport pluvial de 116,2 mm durant 13 jours de pluies. Le débit de pointe de la crue automnale est de $29\text{ m}^3/\text{s}$ le 10-11-2004 après le passage d'un orage où il est tombé 20,4 mm le même jour. En hiver hydrologique de décembre à février, la faiblesse de l'apport pluvial avec seulement un cumul de 85mm durant 19 jours de pluies, le débit semble presque régulier et n'a pas dépassé $14\text{m}^3/\text{s}$ le 30-12-2004. Au cours du printemps hydrologique, le bassin recevant un apport pluvial de 50,1mm pendant 5 jours, le débit est monté brusquement à $21\text{m}^3/\text{s}$ le 5-03-2005. Cependant en été hydrologique, pendant le passage d'un orage, un apport pluvial orageux sur

les montagnes du Haut Sebou a été à l'origine la crue maximale de l'année avec à peu près $75\text{m}^3/\text{s}$ le 11-06-2005.

• **Dans le Bv d'Inaouene** (Fig. n°34), l'analyse du débit de l'année sèche relève une très grande variabilité de l'écoulement de l'oued Inaouene. La station de Bab Marzouka en 1991-92 se caractérise par une prédominance des étiages toute l'année, à l'exception de quelques remontées brèves et rapides.

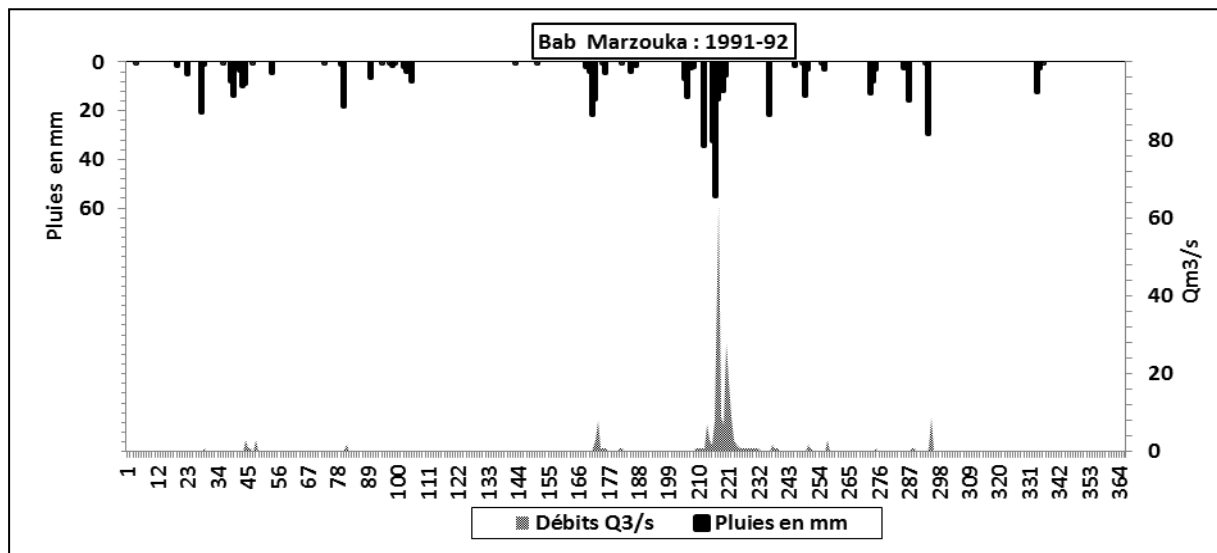


Figure. n°34: Hyétogramme hydro-pluviométrique des années sèches dans le Bv d'Inaouene.

La plus importante est celle du printemps où le débit journalier s'élève à $55,2\text{ m}^3/\text{s}$ le 04-04-1999 et $63\text{m}^3/\text{s}$ le 05-04-1992 à Bab Marzouka. Cela est dû à un cumul pluviométrique assez important au sein du bassin versant d'Inaouene à Bab Marzouka; 499,4 mm en 1991-92 pendant la saison humide. Cependant, la longévité des épisodes secs et le besoin de recharge des réservoirs karstiques n'ont pas permis à l'oued Inaouene d'écouler un débit important, d'où un tarissement total de l'oued est survenu durant la saison estivale.

• **Au niveau du Haut Ouergha** (Fig. n°35), la courbe d'Hyétogramme de l'année sèche (1999-00) à la station d'Ain Aicha montre une petite hausse de débit à $14\text{m}^3/\text{s}$ le 21-10-99 après le passage de quelques chutes de pluies apportant 25mm.

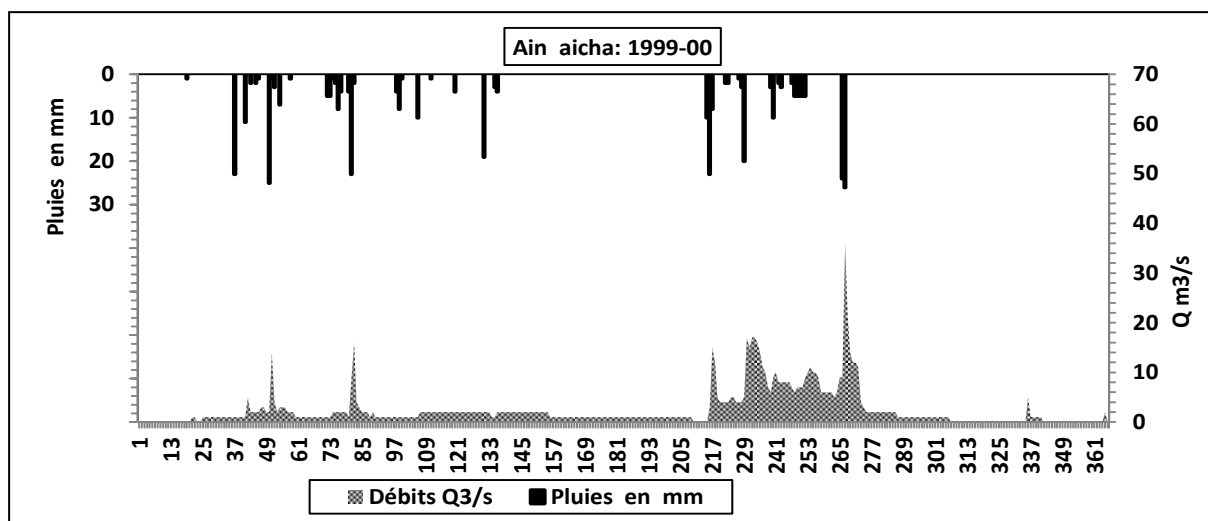


Figure. n°35: Hyétogramme hydro-pluviométrique des années sèches dans le Bv d'Ouergha.

En hiver la prédominance des périodes sèches où se sont alternées quelques épisodes pluvieux à moins de 25mm par jours à Ain Aicha, l'oued Ouergha s'est approché de son niveau d'étiage, car le débit journalier est resté inférieur à $5\text{m}^3/\text{s}$ pendant toute cette saison. Le drainage va reprendre son activité pendant le printemps hydrologique suite à des pluies notables surtout au sommet du Haut Ouergha. Cependant, l'apport pluvial restant faible le débit n'a pas pu atteindre $40\text{m}^3/\text{s}$ pendant cette saison. Avec l'absence de pluies en été l'oued Ouergha est rentré en étiage avec un écoulement très bas restant en dessous de $2\text{m}^3/\text{s}$.

• **Au Bv de l'oued Beht** (Fig. n°36), le débit journalier à la station d'Oueljet Soltane en année sèche 2004-05, présente un régime contrasté entre deux périodes pluvieuses et sèches. Dans ce contexte, les phases hydrologiques de l'oued débutent en automne où on a enregistré 19,5mm le 09-10-2004. L'oued Beht ayant réagi à ces pluies sur le Moyen Atlas occidental a vu son débit augmenté à $38\text{m}^3/\text{s}$ le 06-11-2004. Ces pluies sont causées par de flux perturbés venant de Nord-Ouest le 05-11-2004 en donnant 18,2mm à la station Oueljet Soltane.

En Hiver les épisodes pluvieux n'ont pas été favorables du point de vue hydrologique où les deux sursauts de débit ont charrié moins de $24\text{m}^3/\text{s}$; $22\text{m}^3/\text{s}$ le 27-02-2004 après le passage d'événements pluvieux du 25 au 26-12-2004, qui a apporté seulement un cumul de 32,8 mm. Le début de la saison printanière était une phase d'activité hydrologique de faible importance, où le débit journalier restait en dessous de $26\text{m}^3/\text{s}$, enregistré le 01-03-2005. À partir du mois d'avril oued Beht a regagné son débit d'étiage à moins $2\text{m}^3/\text{s}$ qui a duré presque toute la saison chaude. Cependant pendant le mois de juin l'avènement d'un orage sur le Moyen Atlas est à l'origine d'une augmentation du débit journalier jusqu'à $50\text{m}^3/\text{s}$, la valeur la plus importante de l'année.

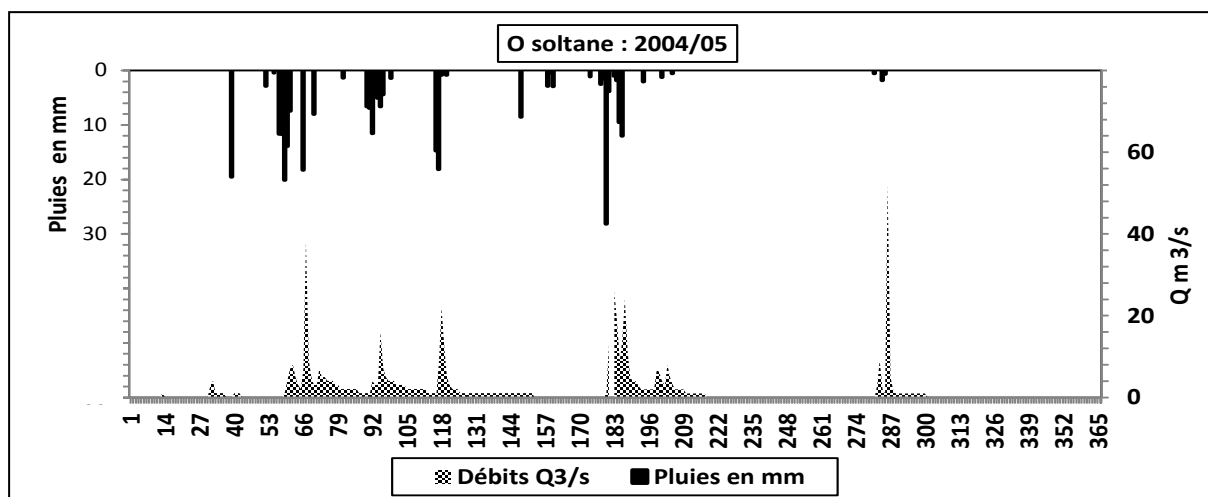


Figure. n°36: Hyétogramme hydro-pluviométrique des années sèches dans le Beht.

3.3.3. Étude des débits moyens journaliers classés

La courbe des débits classés représente des débits moyens journaliers en mode décroissant au sein d'une année d'observation pour chaque station étudiée. Nous avons choisi des années de forte hydraulicité et d'autres de faibles débits. Nous avons dans ce cas conservé les années étudiées pour suivre les variations quotidiennes des débits dans le bassin de Sebou.

3.3.3.1. Étude des débits classés dans une année humide

Le tableau n°26 et la figure n°37 représentent la variabilité des débits classés dans les années de forte hydraulicité de l'oued Sebou et de ses principaux affluents, comme suit :

Tableau. n°26: Débits classés²⁰ pour l'année humide 2009-10 à l'oued Sebou et ses principaux affluents.

Stations	DCM ₁₀	DC ₃₀	DC ₉₁	DC ₁₈₂	DC ₂₇₄	DC ₃₃₅	DCE ₃₅₅
Azzaba	164	106	33	14	8	7	6
Bab Marzouka	124	74	24	2	0	0	0
Ain Aicha	712	391	90	5	2	1	0
Dar Al Arsa	71	42	10	6	4	1	1
O Soltane	234	66	19	6	4	2	2
M Belksiri	1109	978	523	190	96	30	20

• **Au Haut Sebou**, le débit classé maximal supérieur (DCM) à la station d'Azzaba, est de $164 \text{ m}^3/\text{s}$ en 2009-10, qui est douze fois le module annuel de $13,32 \text{ m}^3/\text{s}$. L'écoulement de l'oued Sebou au Moyen Atlas au niveau de 11mois (DCE 335) a connu un drainage

²⁰DCM : Débit atteint ou dépassé pendant 10 jours ;
DC1 : Débit atteint ou dépassé pendant 30 jours ;
DC3 : Débit atteint ou dépassé pendant 91 jours ;
DC6 : Débit atteint ou dépassé pendant 182 jours ;
DC9 : Débit atteint ou dépassé pendant 274 jours ;
DC11 : Débit atteint ou dépassé pendant 335 jours ;
DCE : Débit caractéristique d'étiage : 355 jours ;

superficiel moins important qui est très proche de $7\text{m}^3/\text{s}$. Nous signalons que cette phase éphémère d'importants débits est liée, d'une part, à la vitesse de translation des eaux vers l'aval en raison des profils en long de l'oued Sebou au Moyen Atlas, d'autre part à la faible capacité de rétention des nappes alimentées par les failles en secteur de Haut Sebou. La régularisation de débit en été hydrologique due principalement aux sources karstiques où en 335 jours les quantités d'eau n'ont diminué que très lentement, le DCE est resté supérieur à $6\text{m}^3/\text{s}$.

• **Dans le Bv d'Inaouene**, la période d'étude a été caractérisée par un débit maximum de $124\text{m}^3/\text{s}$ réalisant 31,9 fois le module annuel de $3,89\text{m}^3/\text{s}$, et le DC de 30 jours est de 19 fois le module à la station de Bab Marzouka en 2010-09. Le débit caractéristique d'étiage de 11 mois s'oriente vers un tarissement total en été hydrologique. Le comportement hydrologique classé de l'oued Inaouene est influencé d'une part, par un régime soutenu par les sources karstiques du Moyen Atlas oriental, et d'autre part, par l'écoulement irrégulier provenant du domaine rifain argilo-marneux pendant les périodes pluvieuses.

• **Au Bv d'Ouergha**, la courbe de débit classé relatif à une année humide d'observation à la station d'Ain Aicha prise comme référence est caractérisée par un DCM où 10 jours ont connu un volume d'eau écoulée égale ou supérieure à $712\text{m}^3/\text{s}$, ce qui représente 32,7 fois le module annuel est de $21,76\text{m}^3/\text{s}$. Pendant 30 jours le débit de l'oued a été supérieur à $391\text{m}^3/\text{s}$. Cependant en 6 mois le débit n'a pas descendu en dessous de $90\text{m}^3/\text{s}$, et en 9 mois il s'est établi à $5\text{m}^3/\text{s}$. Entre la DC 274 et la DCE le débit est inférieur à $2\text{m}^3/\text{s}$. Nous avons remarqué que la baisse du débit est due au système de colmatage dans le versant rifain où se conjuguent les fortes pentes des montagnes du Haut Ouergha qui sont capables d'entraîner une évacuation rapide des eaux vers l'aval.

• **Dans le Bv de Beht, Moyen Sebou et la plaine du Gharb**, le DCM à la station de l'Oueljet Soltane indique un maximum de $234\text{m}^3/\text{s}$ qui représente 35,9 fois le module annuel de débit qui est de $6,52\text{m}^3/\text{s}$. En six mois (274 jours) le débit reste proche de l'étiage, car il a drainé moins $6\text{m}^3/\text{s}$. Ainsi c'est en été hydrologique que le bassin a connu son DCE de $2\text{m}^3/\text{s}$. Au Moyen Sebou, la station Dar Al Arsa enregistre un DCM de $71\text{m}^3/\text{s}$ qui dépasse 7,2 fois le module annuel de $9,78\text{m}^3/\text{s}$. Le DC de 30 jours est de $42\text{m}^3/\text{s}$ qui 4 fois le module. Le débit caractéristique de 274 jours est égal ou supérieur à $4\text{m}^3/\text{s}$. L'été hydrologique se caractérise par un DCE qui est au-dessus de $1\text{m}^3/\text{s}$.

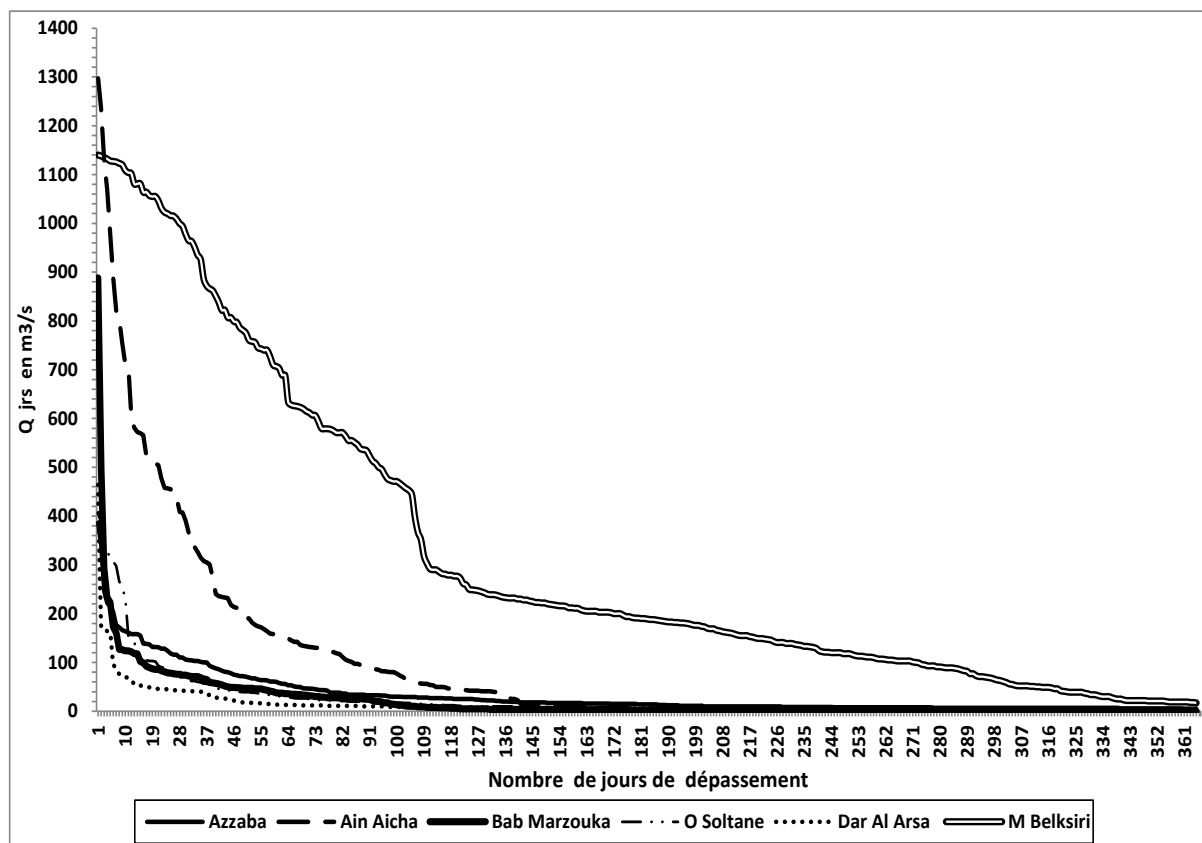


Figure. n° 37: Courbes des débits classés des années humides de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (2009-10).

Pour la station de Mechrâa Belksiri à la plaine du Gharb, le DCM de $1109 \text{ m}^3/\text{s}$ surpasse 13,4 fois le module annuel ($82,72 \text{ m}^3/\text{s}$), et le DC30 jours s'établit à $978 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui constitue 11,8 fois le module de l'oued Sebou. Le débit caractéristique de 274 jours, reste plus élevée au bas Sebou; $96 \text{ m}^3/\text{s}$. L'été hydrologique dans le bassin, se détermine par un DCE ayant une valeur importante de $20 \text{ m}^3/\text{s}$. L'importance de ce débit classé aux deux dernières stations est due au système de gestion des eaux des barrages: Al Wahda, Idriss I et Allal Al Fassi, qui joue un rôle de régularisation des eaux en modifiant le comportement hydrologique naturel du cours moyen et bas de l'oued Sebou.

On peut conclure que les diverses courbes des débits classés insistent sur le caractère irrégulier de l'écoulement au niveau des affluents du Sebou. Or presque la majorité des eaux écoulées s'effectuent en trois mois seulement. Inversement les débits proches de l'étiage se développent à peu près sur huit mois. Et les débits d'étiage sur un mois durant lequel les oueds peuvent entrer dans un état de tarissement au cours de la saison chaude, spécialement en été. En revanche, dans la saison fraîche humide, elles indiquent le caractère exceptionnel des maxima hydrométriques, puisque la plupart des événements hydrologiques intenses s'activent pendant une dizaine de jours de l'année.

3.3.3.2. Étude des débits classés d'une année sèche

Le tableau n°27 et la figure n°38 indiquent clairement la variabilité des débits classés dans les années de faible hydraulicité de l’oued Sebou et de ses principaux affluents, comme l’exemple suivant de l’année sèche 1991-92. Pendant cette année on constate bien l’effet de la sécheresse climatique sur l’écoulement en raison des volumes d’eau dérisoires charriés par l’oued Sebou et ses affluents.

Tableau. n°27: Débits classés des années sèches (1991-92) de l’oued Sebou et de ses principaux affluents.

Stations	DCM ₁₀	DC ₃₀	DC ₉₁	DC ₁₈₂	DC ₂₇₄	DC ₃₃₅	DCE ₃₅₅
Azzaba	48	33	15	6	4	3	3
Bab Marzouka	7	1	0	0	0	0	0
Ain Aicha	55	16	5	3	1	1	1
Dar Al Arsa	28	17	9	5	5	4	4
O Soltane	19	9	3	1	0	0	0
M Belksiri	121	49	28	17	13	10	7

• **Au Haut Sebou**, le débit classé maximal de 48m³/s représente 3,6 fois le module annuel de 13,32 m³/s à la station d’Azzaba en 1991-92. Le débit caractéristique de 11 mois est plus proche de l’étiage de 3m³/s. Nous avons noté que le débit classé d’une année de faible hydraulicité dans le Haut Sebou est soutenu par les résurgences karstiques du Moyen Atlas, ce qui régularise l’écoulement en été hydrologique durant lequel l’oued peut garder un débit de 3m³/s pendant 335 jours.

• **Pour l’oued d’Inaouene**, l’année étudiée est caractérisée par un DC₁₀ de seulement 7m³/s, c’est-à-dire 1,7 fois le module annuel de 3,89 m³/s, et un DC₃₀ inférieur à celui-ci à Bab Marzouka en 1991-92. Le débit caractéristique de 11mois s’oriente vers un tarissement pendant la saison estivale, mais celle-ci marque une tendance rapide vers l’arrêt total des écoulements. Le régime hydrologique classé de l’oued Inaouene de cette année sèche a été influencé par le manque des précipitations dans le bassin, ce qui a engendré un écoulement périodiquement très court de l’oued Inaouene qui n’a duré que 30 jours.

• **À l’oued Ouergha**, la courbe de débit classé relatif à cette année sèche à la station d’Ain Aicha montre que la DCM est égale ou supérieure à 55m³/s, ce qui représente 2,5 fois le module annuel de 21,8m³/s. Le débit caractéristique de 274 jours baisse vers 1m³/s seulement, une valeur caractérisant également la DCE de ce bassin. En six mois d’écoulement l’écoulement de l’oued à Ain Aicha a charrié moins de 3m³/s, représentant la DC de 182 jours qui est de 3m³/s, en raison du manque des pluies et des réservoirs de rétention des eaux. Ces données montrent également la forte variabilité des apports d’eau de l’oued Ouergha, ce que nous pouvons constater à travers la forme de la courbe de débit classé dont l’allure est très convexe, montrant l’absence des débits moyens qui sont capables de régulariser l’écoulement.

• Dans l'Oued Beht, Moyen Sebou et la plaine du Gharb, le débit classé supérieur à la station de Oueljet Soltane montre l'élévation du débit pendant la saison froide, qui peut atteindre un maximum de $19\text{m}^3/\text{s}$, ce qui représente 2,6 fois seulement le module annuel de $6,52\text{m}^3/\text{s}$. Par contre, pendant la saison chaude l'oued Beht, a connu un tarissement total en 1991-92 en raison de l'assèchement de plusieurs sources dans le bassin.

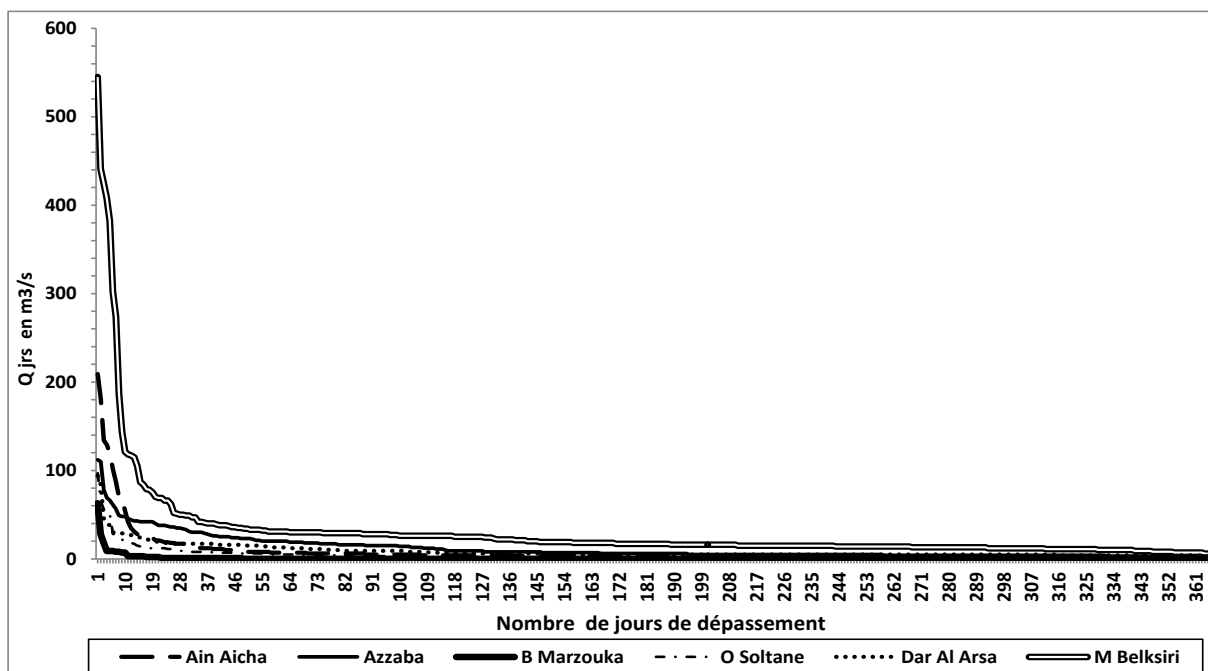


Figure. n°38: Courbes des débits classés des années sèches de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (1991-92).

Au Moyen Sebou, à la station de Dar Al Arsa durant la saison humide, le débit classé pendant 10 jours était égal ou supérieur à $28\text{m}^3/\text{s}$ ce qui représente 2,9 fois le module ($9,78\text{m}^3/\text{s}$), et en 30 jours le débit a descendu jusqu'à $17\text{m}^3/\text{s}$. En revanche, pendant la saison chaude l'oued Sebou s'est caractérisé par un DCE de $4\text{m}^3/\text{s}$.

Dans la plaine du Gharb le débit classé à cette année est caractérisé par un DCM plus au moins élevé en saison froide, de $121\text{m}^3/\text{s}$; 1,46 fois le module ($82,72\text{m}^3/\text{s}$). Pour la DC_{30} jours on a $49\text{m}^3/\text{s}$. Ce chiffre représente un apport hydrométrique inférieur au module annuel. Le débit classé à 274 jours est très dérisoire puisque l'oued en trois mois il a écoulé moins de $13\text{m}^3/\text{s}$. En saison chaude le drainage à la DCE_{335} reste égal ou supérieur à $7\text{m}^3/\text{s}$. Nous avons rappelé que l'importance du débit classé aux deux dernières stations est due, d'une part à leur position aval, donc elles réceptionnent les débits provenant de l'amont du bassin, et d'autre part, elles sont sous l'effet du système de gestion des barrages: Al Wahda, Idriss I et Allal Al Fassi.

En guise de conclusion, les diverses courbes de débits classés des stations étudiées pendant une année sèche de faible hydraulicité, signalent la gravité des étiages durant laquelle les oueds peuvent connaître un état de tarissement prolongée pendant la saison chaude de l'année. Ces débits d'étiage et celles qui lui sont proches, semblent caractériser la moitié des

jours de l'année dans les sous-bassins versants. Même on a constaté un tarissement total qui a duré plus de 9 mois dans le Haut Inaouene à Bab Marzouka et 6 mois au niveau de l'oued Beht à Oueljet Soltane. En revanche, à la DCM et la DC₃₀ l'écoulement est très faible à cause d'une insuffisance pluviométrique caractérisée par la baisse des intensités journalières, d'où une virulence moindre du drainage durant la période humide de l'année.

3.4. Bilan de l'écoulement dans le Bv de Sebou

Dans une étude hydroclimatique la connaissance du bilan hydrologique est un objectif très important afin de constituer une idée sur le fonctionnement du système hydrologique global du bassin de Sebou. Et pour cela il est essentiel de connaître les données de l'entrée du système et celles de sortie pour ainsi parvenir à dégager le coefficient et le déficit d'écoulement au sein même des sous bassins versants. Dans ce contexte, il s'avère primordial de constituer une carte pluviométrique récente qui nous permet d'abord de relever les disparités pluviométriques dans le bassin et de calculer la lame d'eau précipitée qui est le premier facteur à connaître dans la réalisation du bilan hydrologique.

3.4.1. Méthode d'élaboration de la carte pluviométrique

La recherche du bilan d'écoulement du bassin de Sebou est entravée par le manque des stations pluviométriques suffisantes qui peuvent couvrir la totalité du bassin avec une répartition optimale, ce qui représente une entrave pour la réalisation d'une carte pluviométrique récente du bassin de Sebou. Sous l'effet du nombre limité des stations disponibles compte tenu de la surface totale du bassin (40500 Km²) et leurs distributions inégales, nous avons essayé d'établir une carte qui prend en compte plusieurs paramètres selon lesquels on estime se rapprocher de la réalité de la spatialisation des pluies dans le bassin.

De ce fait nous avons pris en considération d'abord les données moyennes issues des stations pluviométriques disponibles et qui sont au nombre de 41 postes d'observation pour la période de 1980-81 à 2013-14. Puis après avoir effectué des corrélations avec l'altitude nous avons pu pour certaines zones comme le versant rifain estimer la pluviométrie moyenne selon ce paramètre. Nous avons aussi consulté toutes les anciennes cartes réalisées dans le bassin pour différentes périodes; celles qui sont réalisées par l'agence hydraulique du Sebou ou celles qui sont établies par des chercheurs qui ont travaillé sur le bassin de Sebou. Je cite en exemple la carte élaborée par JANATI IDRISI. A (2004) pour la période 1955-56/1976-77. Un autre facteur a été pris en considération, c'est la carte de la végétation qui nous donne des renseignements sur la fourchette pluviométrique qu'une telle espèce peut se développer dans son milieu bioclimatique.

En collectant ces informations, nous avons construit notre carte d'isohyète en dessinant les lignes d'égales pluies en tenant compte du facteur topographique, d'exposition des versants et de couverture végétale dans le bassin. Ainsi nous avons réalisé cet objectif (carte

n°34) qui nous permet de connaître la répartition spatiale des précipitations. Une étape qui va nous permettre de calculer le bilan hydrologique du bassin de Sebou et de ses principaux sous-bassins.

3.4.2. Analyse de la carte pluviométrique de la période étudiée

L'élaboration de la carte des pluies dans le bassin de Sebou à travers la méthode adoptée pendant la période d'étude de 1980-81 à 2013-14, montre que la répartition des pluies dans le bassin de Sebou est très différente spatialement selon le facteur latitude, altitude, exposition et continentalité. Ces facteurs expliquent en effet, les contrastes régionaux des précipitations où chaque sous bassin a une distribution propre selon l'importance de chaque facteur sur l'autre.

Cette distribution pluviométrique est également fonction des particularités de la circulation atmosphérique dont les influences humides parviennent au bassin selon des types de temps perturbés différents, car lors des situations perturbées non frontales (types de temps orageux ou situations thermodynamiques d'altitude), ces facteurs que nous venons de signaler n'ont pas beaucoup d'importance. Cependant, le facteur altitude joue un rôle décisif dans le contraste pluviométrique du bassin. Surtout entre l'amont et l'aval où celui-ci est très prononcé. Les montagnes du Moyen Atlas et du Rif sont bien arrosées, car elles constituent des zones d'interception et d'accumulation du système nuageux issu des perturbations humides atlantiques. De ce fait, ce sont les zones émettrices des crues inondables dans le bassin de Sebou.



Dans le bassin versant de l'Ouergha, l'influence d'altitude et d'exposition des versants apparaît nettement sur le versant rifain. Dans ces zones les apports pluviométriques sont considérables sur les sommets de montagnes. Ces quantités sont les plus élevées du bassin de Sebou grâce au redressement de la chaîne rifaine comme une barrière qui intercepte le système nuageux provenant de l'Océan Atlantique. Ainsi les fourchettes pluviométriques qui règnent aux hautes altitudes sont comprises entre 1200 et 1400mm de moyenne, dont 1362,41 mm à Jbel Ouedka avec une altitude de 1150m. Les températures sont modérées en été et plus froides en hiver, période durant laquelle elles tombent souvent en dessous de 0°C. La neige de ce fait peut résister plusieurs mois sur le sommet de Jbel Ouedka. La fourchette pluviométrique entre 1000 et 1200mm dans ce domaine peut descendre à une altitude plus basse; 1002 mm à la station de Ratba située à une altitude de 300m. Vers les altitudes inférieures sur les vallées rifaines et pré-rifaines, la fourchette pluviométrique dominante est celle qui se trouve entre 400 et 600mm; 531,1mm à Ain Aicha, 681mm à Bab Ouender.

3.4.2.2. Versant moyen Atlasique: intervention d' (Exposition-Abri) et altitude

Dans le Haut Sebou au Moyen Atlas, l'effet (exposition-abri) est primordial par rapport aux autres sous bassins de Sebou. Ainsi pour les marges nord-occidentales et orientales du Moyen Atlas, nous avons noté que ces zones reçoivent des quantités pluviométriques importantes sur les sommets montagneux des deux bassins Haut Sebou et Beht. Ces hauteurs, constituent des zones d'interception orographique des systèmes nuageux provenant de l'Atlantique. D'où une hausse des apports pluviaux vers plus de 1000mm sur les reliefs élevés de Jbel Hebri, le causse d'Ifrane, le Jbel Hayyane, Jbel Tichoukt et les montagnes du secteur oriental principalement le Jbel Bou Iblane (3304m). Ces zones altitudinales élevées sont favorablement exposées à différentes situations pluvieuses qui affectent le bassin du Haut Sebou. Les températures sont relativement douces en été et froides en hiver, période durant laquelle elles tombent souvent en dessous de 0°C. Par conséquent, la neige est fréquente et peut perdurer pendant plusieurs jours à haute altitude et sur les versants ombrés.

Par contre au sein des vallées et les secteurs abrités du Haut Sebou et ses affluents Guigou, Maâsre et Zloul, les pluies décroissent rapidement; à la station d'Ain Timadraine 397,8mm et à Azzaba, 327,5mm. Il est à noter que le phénomène d'abri peut être plus puissant dans le bassin, car à la station d'Ait khabache, malgré son altitude de 1630m, la moyenne pluviométrique n'est que 356,7mm, cela veut dire qu'elle est parfaitement moins exposée face aux flux perturbés océaniques, grâce à l'alignement de la chaîne du Tichoukte (2700m), qui bloque une grande partie des masses d'air humides provenant de l'Ouest.

3.4.2.3. Bassin d'Inaouène: effet de relief et d'altitude.

Au bassin de l'Inaouène l'exposition et l'altitude interviennent conjointement pour expliquer la répartition pluviométrique de ce bassin. Les tranches pluviométriques sont comprises entre 1200 et 1400 mm aux sommets montagneux de Tazekka, 1082 m d'altitude, qui bénéficie des flux d'air humides du Nord-Ouest pendant la saison froide et des situations orageuses en été. Au sein des vallées d'Inaouène, les fourchettes pluviométriques reculent à (400-600 mm); 560,3 mm en moyenne à Bab Marzouka sur une altitude de 368m et 551,8mm à Taza (458m). Enfin, les zones recevant les plus faibles pluies dans le bassin entre 200 et 400 mm, existent aux fonds des vallées, car elles sont plus abritées, même dans certaines zones (Oued Larbaa, Bouzemlan, et Amlil), les pluies sont inférieures à moins de 200 mm.

3.4.2.4. Secteurs du Gharb et du moyen Sebou: impact de la continentalité et d'abri

Au sein de la plaine du Gharb et le Moyen Sebou, on retrouve l'effet de la continentalité (éloignement de la mer) et d'abri. La partie médiane du bassin versant de Sebou est une zone transitoire. Elle est marquée par une pluviométrie plutôt moyenne. Le climat devient de plus en plus influencé par la continentalité tout en s'éloignant de la côte atlantique. Les pluies sont

assez moyennes et principalement concentrées en hiver. En effet les quantités des pluies entre 400 et 600 mm ont généralement diminué dans la vallée de l'oued Sebou et les collines Pré-rifaines et la Meseta (plateau de Zaïr) où elles ont baissé vers une fourchette pluviométrique entre 200 et 400 mm; 402,8 mm à Fès-Sais et 337,5 mm à Sidi Chahed.

Sur la côte atlantique, l'ouverture vers les vents marins humides, permettant des précipitations conséquentes avec des pluies moyennes oscillant entre 600 et 800mm. Cette fourchette se dégrade de plus en plus vers l'intérieur du bassin à cause de l'effet d'abri et de continentalité, puisqu'on a enregistré 581,6mm à la station de Mechrâa Belksiri et 482 mm à Had Kourt.

3.4.3. Examen des résultats du bilan hydrologique

Le calcul du bilan hydrologique²¹ (Tab. n°28) nécessite la connaissance des surfaces des sous bassins versants, le module annuel en m³/s des stations hydrologiques étudiées, le débit spécifique en Q/l/s/km², la lame d'eau précipitée et la lame d'eau écoulée. Ces composants nous permettent ainsi de dégager le déficit et le coefficient d'écoulement. Dans le tableau suivant, nous avons mis les résultats de ce bilan hydrologique du bassin de Sebou et ses principaux affluents que nous allons interpréter chaque paramètre par la suite et décrire les interactions qui le relie avec les autres éléments.

Tableau. n°28: Bilan de l'écoulement dans le bassin de Sebou (1980-81/2013-14).

Bv	Stations	S (km ²)	Qm ³ /s	Q/l/s/km ²	P (mm)	P' (mm)	D (mm)	Cr (%)
Haut Sebou	Ait khabache	1189	1,39	1,17	356,7	36,9	319,8	0,10
	Azzaba	4640	13,3	2,87	327,5	90,4	237,1	0,28
	El Merse	1004	1,14	1,14	395,3	35,8	359,5	0,09
	Pont du Mdez	3430	5,95	1,73	275,4	54,7	220,7	0,20
O Ouergha	Ain aicha	2460	21,8	8,86	531,1	279,5	251,6	0,53
	Bab Ouender	1756	11,2	6,38	681	201,1	479,9	0,30
	Galez	244	2,1	8,61	632	271,4	360,6	0,43
O Inaouene	Bab Marzouka	1500	3,9	2,60	560,3	82,0	478,3	0,15
	Bab Echehoub	989	2,7	2,73	567	86,1	480,9	0,15
	Tissa	792	6,1	7,70	678	242,9	435,1	0,36
Moyen Sebou	Dar Al Arsa	5239	9,78	1,87	422,7	58,9	363,8	0,16
	Pont de Sebou	5789	12,3	2,12	368,9	66,9	301,9	0,22
O Beht	Oueljet Soltane	2311,3	6,52	2,82	401,8	89,0	312,8	0,22
	Sidi EL Mokhfi	2254	4,9	2,17	539	68,6	470,4	0,13

²¹ : S (km²) = Superficie en km² ;
Q (m³/s) = Débit normale en m³/s ;
Q (l/s/km²) = Débit spécifique en l/s/km² ;
P (mm) = Précipitation tombé en mm ;
P', (mm) = la lame d'eau écoulée ;
D = P- P' = Déficit d'écoulement ;
Cr= P'/P = Coefficient d'écoulement ;

	EL Kansera	2241	5	2,23	338,88	70,4	268,5	0,21
M Belksiri	Mechrâa Belksiri	25487	82,7	3,24	484	102,3	381,7	0,21
	Had Kourt	782	4,5	5,75	496	181,5	314,5	0,37

3.4.3.1. Estimation de la lame d'eau précipitée dans le bassin

Après avoir établi la carte pluviométrique et extrait les différentes classes pluvieuses selon chaque sous bassin, nous procédions à la multiplication de la moyenne de chaque classe par sa surface relative. Puis nous avons additionné le résultat de chaque fourchette pluviométrique constituant le sous bassin considéré. Ensuite le total obtenu est divisé sur la surface totale du bassin. L'opération est donc faite pour tous bassins contrôlés par une station hydrologique. Ainsi, il a été possible de faire l'extraction de la lame d'eau précipitée selon chaque sous bassin, ce qui nous a permis de la calculer pour le bassin total jaugé par la station de Mechrâa Belksiri. La méthode de calcul de la lame d'eau précipitée est exprimée par la formule²² suivante:

$$Pmm = \frac{(S1.P1) + (S2.P2) + \dots (Sn.Pn)}{S \text{ km}^2}$$

D'après l'analyse de la carte de la spatialisation pluviométrique et les résultats de lame d'eau précipitée sera menée aussi à travers une comparaison entre deux périodes distinctes : période ancienne plus humide et notre période d'étude actuelle.

• **Dans le Haut Sebou**, nous avons remarqué que la lame d'eau précipitée semble très différente à cause de l'orientation des versants et l'effet d'altitude. Cela nous paraît évident à travers la localisation de la fourchette d'eau entre 1200 et 1400mm dans le sud du bassin au niveau de la zone montagneuse de Jbel Hayane (2409m). En revanche, la fourchette d'eau entre 1000 et 1200mm s'élargit dans les marges du bassin où se trouvent des altitudes significatives dans le Jbel D'Ifrane et Jbel Tichoukt (2794m).

Cette lame d'eau se situe entre 200 et 400mm dans ce domaine et ce à cause de la dominance d'une vaste zone de dépressions sèches au sein du bassin de Mdez, où la lame d'eau a diminué de 386,4mm entre la 1^{ère} période de 1955-56/1977-78 avec 661,8mm (JANATI IDRISSE. A (2017) et la 2^{ième} période de 1980-81 à 2013-14 pendant laquelle on n'a calculé que 275,4mm, ce qui donne un déficit de 58,3%. En somme, le Haut Sebou est considéré parmi les zones les plus humides dans le bassin de Sebou grâce l'exposition favorable de ses montagnes aux flux de NO, malgré leur régression durant les dernières années en conséquence des effets néfastes du changement climatique actuel.

• **Au bassin d'Inaouene**, la lame d'eau précipitée est passée de 869,8mm (1955-56/1977-78) (El Kouchet) à 560,3mm (1980-81/2013-14) (Bab Marzouka), créant un déficit entre

²² **Sn** : surface de catégorie des pluies entre les lignes égaux des pluies ;

Pn : Catégorie moyenne des pluies ;

Sk^{m2} : Surface global du bassin ;

les deux périodes de 309,5mm avec un taux de 35,5%. Cette baisse peut s'expliquer par la réduction de l'aire d'une catégorie entre 600 et 800mm. Cependant, une partie de cette fourchette d'eau reste confinée à la zone de Tazekka, en raison de l'effet d'altitude et l'exposition de ses pentes vers les courants d'air humide du Nord-Ouest.

Pour le bassin de Lebène, la lame d'eau précipitée est aussi passée de 797,5 mm à 687 mm, avec une réduction entre les deux périodes de 110,5mm, ce qui représente 13,8%. Ce manque est dû la limitation de la surface d'une catégorie entre 800 et 1000mm. Cela a donné lieu à l'augmentation de la fourchette des pluies de 400 à 600mm, principalement en raison de l'augmentation des zones d'abri aux fonds des vallées.

• **Dans le bassin d'Ouergha**, la réduction de la fourchette d'eau précipitée semble clairement entre les deux phases de comparaison, alors que la lame d'eau dans la 1^{ère} période de 1955-56/1977-78 était 938,7mm, en 2^{ième} période (1980-81/2013-14) elle n'est que 681mm, avec un écart de 257,5mm. Cette baisse a contribué à la réduction des zones dans lesquelles la moyenne est descendue entre 1000 et 1200mm en particulier dans le Haut Ouergha. La classe d'eau précipitée entre 1200 et 1400mm a également diminué et s'est limitée à Jbel Ouedka (1115m) et Jbel Dahdouh (2109m). En ce qui concerne le moyen de l'oued Ouergha, la lame d'eau précipitée est environ 531,5mm dans la station d'Ain Aicha, et donc en déclin significatif, en raison des diminutions pluviométriques dans le bassin. Cela a eu pour effet d'augmenter la fourchette d'eau de 400 à 600mm.

• **Au Moyen Sebou**, nous avons remarqué d'après la carte de la spatialisation des pluies dans le bassin de Sebou, que la fourchette d'eau précipitée a descendu de 600 à 400mm dans la vallée de l'oued Sebou, en raison de la continentalité et de l'éloignement de l'Océan Atlantique, ce qui donne une lame d'eau de 422,7mm à la station Dar Al Arsa. En plus, dans les collines marginales de Moyen Sebou, l'effet d'abri apparaît nettement sur la répartition des niveaux pluvieux de 200 à 400mm.

• **Au bassin de Beht**, les différentes fourchettes pluviométriques se dégradent de l'amont vers l'aval. Puisque les précipitations moyennes se concentrent entre 600 et 800mm dans les marges Sud-Ouest du Moyen Atlas à la station de Sidi Mokhfi (1075m), la lame d'eau précipitée calculée est de 539mm, en raison de l'effet d'altitude et l'exposition des versants nord atlasiques vers les flux humides de Nord-Ouest et de Nord. Vers l'intérieur du bassin, elle diminue entre 200 et 400 mm ; 401,8mm à la station d'Oueljet soltane

• **Au niveau de la station de Mechrâa Belksiri** qui contrôle presque les deux tiers du bassin de Sebou (25487 Km²), la lame d'eau précipitée a baissé de 757,2 mm dans la 1^{ère} période de mesure (1955-56/1977-78), à 484 mm en 2^{ième} période (1980-81/2013-14) avec un écart de 273,2mm qui représente 36% de diminution. Ce recul est dû essentiellement à la disparition de la fourchette entre 800 et 1000mm et la dominance de la classe d'eau entre 600

et 800mm, en raison des effets engendrés par les changements climatiques actuels sur les ressources en eau dans le domaine méditerranéen.

3.4.3.2. Étude de la lame d'eau écoulée dans le bassin

La lame d'eau écoulée se définit comme étant la hauteur de précipitations qui s'écoule en moyenne par unité de temps (mensuelle ou annuelle) ou « hauteur d'écoulement ». Tout comme la hauteur des précipitations, elle s'exprime en millimètres par unité de temps (nombre de secondes dans l'année). On parle dès lors de lame d'eau écoulée annuelle en multipliant le débit spécifique ($Q/l/s/km^2$) au coefficient 31,536.

D'après le tableau n°29, et l'étude de JANATI IDRISSE. A (2004) nous avons retiré des résultats de la lame d'eau écoulée selon les sous-bassins suivants:

- **Dans le Haut Sebou**, la lame d'eau écoulée semble très variable dans le bassin, puisque la fourchette d'eau écoulée dans le Mdez a diminuée de 78,6mm à 54,7mm entre les périodes comparatives (1955-56/1977-78) et (1980-81/2013-14). Pour le Haut Sebou à Azzaba, cette lame d'eau est descendue de 160,3mm à seulement 69,9 mm, un déficit de 56,6 %. Ce recul est dû au rétrécissement de l'aire des précipitations entre 800 et 1000mm et l'élévation de la fourchette entre 200 et 400mm. La surexploitation des ressources en eau dans le Haut Sebou pendant les dernières décennies, par le développement de l'irrigation, ont provoqué l'assèchement des Dayats (Dayat Awa) et des réservoirs d'eau souterraine en diminuant lame d'eau écoulée.

- **Au bassin d'Inaouene**, le déficit de la lame d'eau écoulée est très important, entre les deux périodes étudiées. Elle est passée de 194,7mm en (1955-56/1977-78) à 82mm en (1980-81/2013-14), avec un taux de baisse de 57,8%. Pour le bassin de Lebène, la faiblesse est aussi significative; de 305,8mm à 242,9mm d'où une réduction de 20,5%. Ceci est en rapport avec la disparition des espaces pluviométriques de 800 à 1000mm.

- **Dans le bassin d'Ouergha**, la lame d'eau écoulée a reculé de plus de 52,5%. En amont du bassin elle a diminué 423,8mm à 201,1mm, car il semble que les pluies moyennes de 1000 et 1200mm ont été les plus affectées. A la station d'Ain aicha on a calculé pour la période actuelle 279,5mm et 271,4 mm à la station de Galaz sur l'oued Amzaz. Il est clair que la minimisation de la fourchette pluviométrique 800-1000mm est responsable de cette lame d'eau écoulée.

- **Au Moyen Sebou**, la lame d'eau écoulée n'est que 58,9mm à la station Dar Al Arsa et 66,9mm au pont de Sebou. La faiblesse de celle-ci est en rapport avec la dominance de la classe pluviométrique 400-600mm et le rôle d'écêtement des barrages à l'amont du bassin de Sebou (Idriss I sur l'oued Inaouene et Allal Fassi sur l'oued Sebou).

- **Au bassin de Beht** la lame d'eau écoulée du bassin est principalement alimentée par le bassin de Tigrigra à la station de Sidi Mokhfi avec 68,6mm. Plus en aval on a calculé pour la station d'Oueljet soltane 89mm et à barrage El Kansera 70,4mm. Ce bassin appartenant au Moyen Atlas se différencie par ces hauteurs montagneuses moyennes et ces formations calcaires qui affectent une partie des précipitations vers l'écoulement souterrain.

- **Au niveau de la station de Mechrâa Belksiri** la lame d'eau écoulée s'est atténuée de 204,4mm en première période à 102,1mm en deuxième, avec un déficit de 49,9%. Cette baisse est due principalement à la diminution des précipitations ses dernières décennies et l'influence des ouvrages hydrauliques (barrages) sur l'oued Inaouene, Ouergha et Sebou, ainsi que le prélèvement des eaux d'irrigation dans le Moyen Sebou et dans le Gharb, et finalement il ne faut pas oublier le rôle de l'évaporation accentuée par le réchauffement climatique actuel.

3.4.3.3. Déficit d'écoulement dans le bassin et ses facteurs

Nous pouvons donner une définition selon (SAIDI. M 1995) sur le déficit d'écoulement ($D = P - P'$) qui constitue le troisième terme du bilan hydrologique après les pluies et les débits. Il exprime la différence entre la hauteur d'eau reçue par un bassin et l'écoulement superficiel issu de ce bassin pendant une même période. Il correspond théoriquement à la quantité d'évapotranspiration et à la quantité infiltrée vers les nappes souterraines. Mais cette partie d'eau infiltrée pourra ultérieurement être drainée par la rivière et ressortir grâce aux résurgences et sources, en constituant un débit de base pendant la période des basses eaux. Ainsi les facteurs anthropiques et les changements climatiques jouent un rôle déterminant dans le déficit d'écoulement d'un bassin versant en affectant ses ressources en eau.

3.4.3.3.1. Analyse du déficit d'écoulement

Dans les sous bassins versants du Sebou, les déficits d'écoulement varient naturellement d'une année à l'autre selon plusieurs facteurs.

- **Au bassin de Haut Sebou**, les déficits annuels varient entre 220,7mm à la station de de pont du Mdez et 359,5mm à la station El Merse et 489,9mm Pour la station d'Azzaba. En effet, la variabilité du déficit d'écoulement est due à la perméabilité différente des formations karstiques, ainsi qu'à la forte évapotranspiration qui contribue à la réduction des quantités importantes de ressources en eau. Ajoutant à cela, le facteur anthropique à travers l'intensité des irrigations au cours des dernières années (le développement des secteurs agricoles de rosacées), et la baisse des précipitations, notamment neigeuses, du fait des changements climatiques actuels.

- **Dans le bassin d'Inaouene**, les déficits d'écoulement entre la lame d'eau précipité et écoulée, sont plus différents entre 480,9mm à la station de Bab Echehoub sur l'oued Larbaa, 478,3mm à Bab Marzouka contrôlant le haut Inaouene et 435,1mm à la station de Tissa sur l'oued Lebène. Ceci est principalement lié à l'importance de l'évaporation en raison de la

température élevée de l'air et à l'assèchement provoqué par le vent de « Chergui » très chaud en été, dont la vitesse augmente à l'intérieur du couloir de Taza et des dépressions de la vallée de l'oued Lebène.

• **Pour le bassin d'Ouergha**, le déficit d'écoulement a enregistré 479,9mm à Bab Ouender dans le Haut de l'oued Ouergha, 360,6mm à la station de Galaz dans le bassin de l'oued Amzaz. Ce déficit est lié à la forte évaporation durant la saison estivale dans les dépressions rifaines, qui sont très chaudes à cette période de l'année. En plus il ne faut pas négliger les prélèvements d'irrigation dans les champs de cannabis et les plantations fruitières, ainsi que l'effet des retenues des barrages sur l'oued Ouergha et ses affluents (S'rat, Asfalou). Tous ont joué un grand rôle dans la diminution du volume des eaux de ruissellement.

• **Au bassin du Moyen Sebou et Beht**, le déficit d'écoulement est de 363,8mm à la station de Dar Al Arsa, 301,9mm à pont du Sebou. Ceci est en rapport avec l'élévation des températures estivales dans les zones intérieures du bassin de Sebou et l'infiltration des pluies dans la plaine du Sais et au Moyen Atlas, ainsi que le rôle des barrages Idriss I sur l'oued Inaouene et Allal Al Fassi sur l'oued Sebou.

Dans le bassin du Beht, le déficit a enregistré une valeur supérieure à la station de Sidi Mokhfi (470,4mm) et modérée à la station d'El Kansara (268,5mm). En effet le bassin se caractérise par des formations lithologiques différentes avec un substrat karstique perméable qui régularise le débit de l'oued Beht. Mais les prélèvements d'eau en faveur d'une irrigation accentuée sont principalement responsables du déficit important dans le bassin de Tigriga.

• **Au niveau du bassin de Sebou à la station de Mechrâa Belksiri**, le déficit d'écoulement est de 381,7mm. Ce déficit est dû essentiellement à la forte évaporation pendant la saison chaude, l'effet des barrages à l'amont du bassin de Sebou que nous avons cité précédemment et le rôle anthropique exercé à travers l'irrigation excessive des espaces agricoles, sans oublier les eaux d'inondation qui submergent la plaine du Gharb lors des grandes crues du Sebou.

3.4.3.3.2. Facteur anthropique et prélèvements d'eau dans le bassin

Tout d'abord, le bassin versant de Sebou durant plusieurs années a connu une anthropisation très vaste en raison des besoins en ressources en eau et la forte croissance démographique dans le bassin qui s'élevait, en 2014, à 11 163 338 habitants (soit 33% de la population totale du Royaume), dont la population urbaine représente 49% et rurale 51%. Ainsi le bassin referme plus de 70 centres urbains et environ 280 communes rurales.

Devant cette croissance démographique, les autorités locales ont réalisé des études sur les consommations d'eau dans le bassin à partir des besoins en eau potable urbaine et rurale, basées sur une analyse critique de l'ensemble des statistiques de consommations (par type d'utilisateur), de distribution et de production, des centres urbains et de la population rurale. Ces

études établies par l'ONEP²³, concernent l'exploitation et l'analyse critique de différentes sources d'information sur les dotations unitaires en milieu rural, et des rendements objectifs des réseaux de distribution notamment des grandes métropoles urbaines qui ont atteint en 2010 à Fès; 70%, Kenitra ; 80%, Meknès ; 72% et Taza; 75%. Cependant en 2020 ce rendement a été prévu d'atteindre 80% pour toutes les villes (PDAIRE, 2011). Ainsi, les besoins en eau potable ont augmenté d'une année à l'autre dans les deux milieux; urbain et rural, de 211 Mm³ en 2005 à 318 Mm³ en 2020 avec un taux d'accroissement de 33,6%, ce qui exprime que les ressources en eau dans le bassin que ce soit des ressources mobilisables dans les barrages et Dayats ou dans les sources, ont connu une surexploitation devant la croissance démographique et l'extension urbaine.

La synthèse des besoins en eau potable dans le bassin du Sebou est la suivante en Mm³:

Tableau. n°29: Besoins en eau potable du bassin du Sebou (en Mm³) (ABHS, 2011).

Type de consommation	2005	2010	2015	2020
Milieu urbain	181	209	227	244
Milieu rural	30	42	54	74
Total	211	251	281	318

Ensuite, l'exploitation des ressources en eau dans le bassin s'étale aussi sur le domaine industriel, puisque le bassin de Sebou abrite de nombreuses unités (Tab. n°30), dont la majorité est située à l'intérieur des centres, ou à leur périphérie immédiate. Ces dernières sont généralement alimentées à partir des réseaux d'eau potable, et par conséquent, leurs consommations industrielles sont déjà comptabilisées avec celles des centres urbains.

D'autres unités industrielles, dont le nombre est très limité, sont généralement situées plus loin des centres et sont alimentées en eau potable à partir de leurs ressources propres. Ces industries, dites isolées, sont de grosses consommatrices d'eau, prélevant, soit directement dans la nappe, soit à partir de ressources superficielles. Dans ce contexte, la consommation d'eau est passée de 29 598 m³/an en 2005 à 36 201m³/s en 2020 avec un taux d'accroissement de 18,2%. Cela traduit le besoin croissant du domaine industriel en ressources d'eau pour satisfaire les besoins de la production (Tab.n°30).

Enfin, le 3^{ème} domaine consommable des ressources en eau dans le bassin, c'est l'agriculture irriguée. En effet, le bassin de Sebou contient une aire irriguée de 357 000 ha qui utilisent des différentes techniques d'irrigation, à titre d'exemple, l'utilisation de la technique de « Seguia » et d'ouvrage de dérivation (pho. n°10) dans le Rif et le Moyen Atlas pour dévier l'eau gravitationnelle vers les champs agricoles. En revanche dans les plaines du (Gharb, Sais et Moyen Sebou), les paysans utilisent des techniques plus modernes (pho.

²³ : Office national d'eau potable;

n°11), dont le moteur-pompe, la goutte à goutte et le système d'aspersion pour arroser les grandes surfaces agricoles (PDAIRE, 2011).

Tableau. n°30: Consommation en eau par des unités industrielles isolées (ABHS, 2011).

Activité	Unité	Localité	Consommation en eau milliers de m ³ /an			
			2005	2010	2015	2020
Fabrication de pâte à papier	Cellulose du Maroc	Sidi Yahya	13002	14356	15850	17500
Fabrication de pâte à papier	Kenitra(CMCP)	Kenitra	13762	15195	15195	15195
Fabrication de pâte à papier	Meknès(FIFAP)	Meknès	296	327	327	327
Lait, fromages...	Centre laitière	Meknès	248	302	367	447
Fabrication des détergents	Cosuni	Ras El ma	36	40	44	49
Transformation des algues	Setexam	Kenitra	462	485	510	536
Conserve des légumes+ A12 huiles d'olive	Nora	Saba Ayoun	40	44	49	54
Huile d'olives	Lousra	Ain Taoujdate	40	44	49	54
Production de sucre	Sucrerie Bel Ksiri -Cas	Bel ksiri	320	337	354	372
Production de sucre	Sucrerie Dar El Gueddari	Bel ksiri	267	281	295	310
Fabrication de l'alcool éthylique	Sotramec	Allal Tazi	205	215	226	238
Tanneries	Tanneries	Allal Tazi	132	146	161	178
Huileries	Huileries	Allal Tazi	76	84	92	102
Production de vin	616727	677855	712	750	793	839
Total			29598	34100	34312	36201

Ces systèmes d'irrigation dans le bassin de Sebou ont gaspillé des volumes d'eaux superficielles très importantes que ce soit par infiltration dans le sol ou par évaporation, ce

qui impose à l'Agence Hydraulique de Sebou de lancer un accord (Contrat de nappe²⁴) entre les différents utilisateurs des ressources en eau dans la région de Fés-Meknés pour rationaliser la gestion des eaux dans un contexte de changement climatique afin d'éviter la surexploitation des ressources en eau dans le bassin de Sebou.



Photos. n°10: Système de gravité pour dévier les eaux vers les champs agraires irrigués par « Seguia » (Moyen Sebou).



Photos. n°11: Système d'aspersion d'eaux pour arroser les champs agricoles.

3.4.3.3.3. Résultat du bilan hydrique moyen des sols pour la période étudiée

Le bilan hydrique du sol est un des facteurs qui conditionne l'écoulement au sein des sous bassins versants, car c'est un facteur de modification de l'apport pluvial. La connaissance de ses composants est essentielle dans le fonctionnement du système hydrologique. Ainsi Evapotranspiration Potentielle (ETP) et Evapotranspiration Réelle (ETR) et le Déficit de la réserve Utile (DU), sont les principaux éléments à savoir pour calculer le bilan de l'eau des sols qui débouche vers la Déficience d'Evaporation (DE), exprimant la différence entre ETP et ETR.

²⁴ : Le Contrat de gestion participative de nappe, Conformément à la loi sur l'eau 36/15, est un nouveau mode de gouvernance des eaux souterraines qui repose sur la participation et l'engagement des partenaires régionaux et locaux dans la gestion de ces ressources selon une démarche participative et de concertation.

Ainsi l'évapotranspiration désigne la quantité d'eau qui pourrait être évaporée et transpirée par les plantes si les apports en eau étaient suffisants. Mais l'évapotranspiration potentielle c'est une quantité d'eau qui peut être évaporée suite à une température donnée, même s'il n'y a pas d'eau dans le sol. Ce terme regroupe l'évapotranspiration physique (du sol, de la surface d'eau...) et la transpiration des végétaux. Le bassin de Sebou reçoit des précipitations durant toute l'année, mais toute cette eau n'est pas utilisable puisqu'une partie est prélevée par ETP. L'estimation de cet élément climatique constitue un travail préalable au calcul du bilan hydrologique. Dans ce qui suit nous allons montrer la méthode de calcul d'ETP à travers la méthode de Thornthwaite puis nous allons décrire les résultats du bilan hydrologique.

3.4.3.3.1. Calcul d'ETP par la formule de Thornthwaite

C'est une méthode qui nous permet de calculer ETP en ne considérant qu'un seul paramètre, c'est celui de la température. Cette formule²⁵ s'écrit comme suit:

$$ETP = 16 * (10 * t/I)^a * F(\lambda)$$

Les valeurs de $F(\lambda)$ valables pour la latitude 34 étant (PEGUY, 1970):

Tableau. n°31: Coefficient de corrélation pour la latitude 34 °N.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Ma	Avr	Ma	Ju	Jil	Au
Coefficient de corrélation	1,03	0,97	0,87	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16

Cette formule a été appliquée pour quelques stations du bassin de Sebou: Azzaba, Ain Aicha, Bab Marzouka, Oueljet Soltane et Mechrâa Belksiri. D'après le tableau n°32, qui reproduit les valeurs de l'ETP mensuelles et annuelles calculées pour les stations mentionnées on peut relever une étroite relation entre l'ETP et les températures. Ainsi nous avons choisi de calculer les paramètres du bilan de l'eau selon les données moyennes de la période d'étude (1980-81/2013-14).

3.4.3.3.2. Analyse des résultats du bilan hydrique moyen des sols

À l'échelle annuelle, sur plus de 34 ans, le bilan hydrique est variable d'une année à l'autre, aussi; d'une station à l'autre (Tab.n°32). L'évapotranspiration réelle moyenne dans le bassin du Sebou varie de 262,1mm dans le sous bassin du Baht à 486,4mm dans le Haut Sebou. Étant donné que l'évaporation réelle est l'élément le plus important du déficit de l'écoulement, nous notons en fait qu'elle présente des quantités importantes, qui peuvent atteindre dans le Moyen atlas 486,4mm à la station d'Azzaba, 446,5mm dans le bassin

²⁵ t : étant la température moyenne mensuelle en °C ;

I : un indice thermique annuel, égal à la somme des indices mensuels : $I = \sum i$, et $i = (t/5)^{1,514}$

$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,492$;

Plus tard, l'auteur Serra a simplifié cette écriture en proposant : $a = 0,016 I + 0,5$;

$F(\lambda)$: un coefficient de correction dépendant de la latitude et de la durée d'illumination mensuelle ;

d'Inaouene, 403,9mm dans le bassin Ouergha, en raison des températures élevées au sein des vallées en été. Cependant, au bassin de Beht, on a enregistré une ETR moindre; 262,1mm à la station d'Oueljet Soltane, à cause de la proximité de la mer et l'effet d'altitude. Dans la plaine du Gharb en revanche qui connaît une hausse thermique estivale non négligeable, on a calculé 319,2mm à la station de Mechrâa Belksiri.

Au niveau mensuel, l'évapotranspiration diminue généralement entre le mois de novembre et mars, où l'évaporation réelle est égale à l'évaporation potentielle qui reste inférieure aux quantités de précipitations pendant cette période de l'année durant laquelle contribue de manière significative à l'écoulement d'eau dans le bassin de Sebou. La période entre avril et octobre connaît une élévation des températures de l'air, ce qui conduit à une augmentation du degré d'évapotranspiration potentielle, par conséquent, à l'épuisement des réserves d'eau au sol, sachant que les pluies diminuent progressivement pendant cette période jusqu'à atteindre le plus bas niveau en juillet et août. En contrepartie l'évapotranspiration potentielle augmente entre avril et juin.

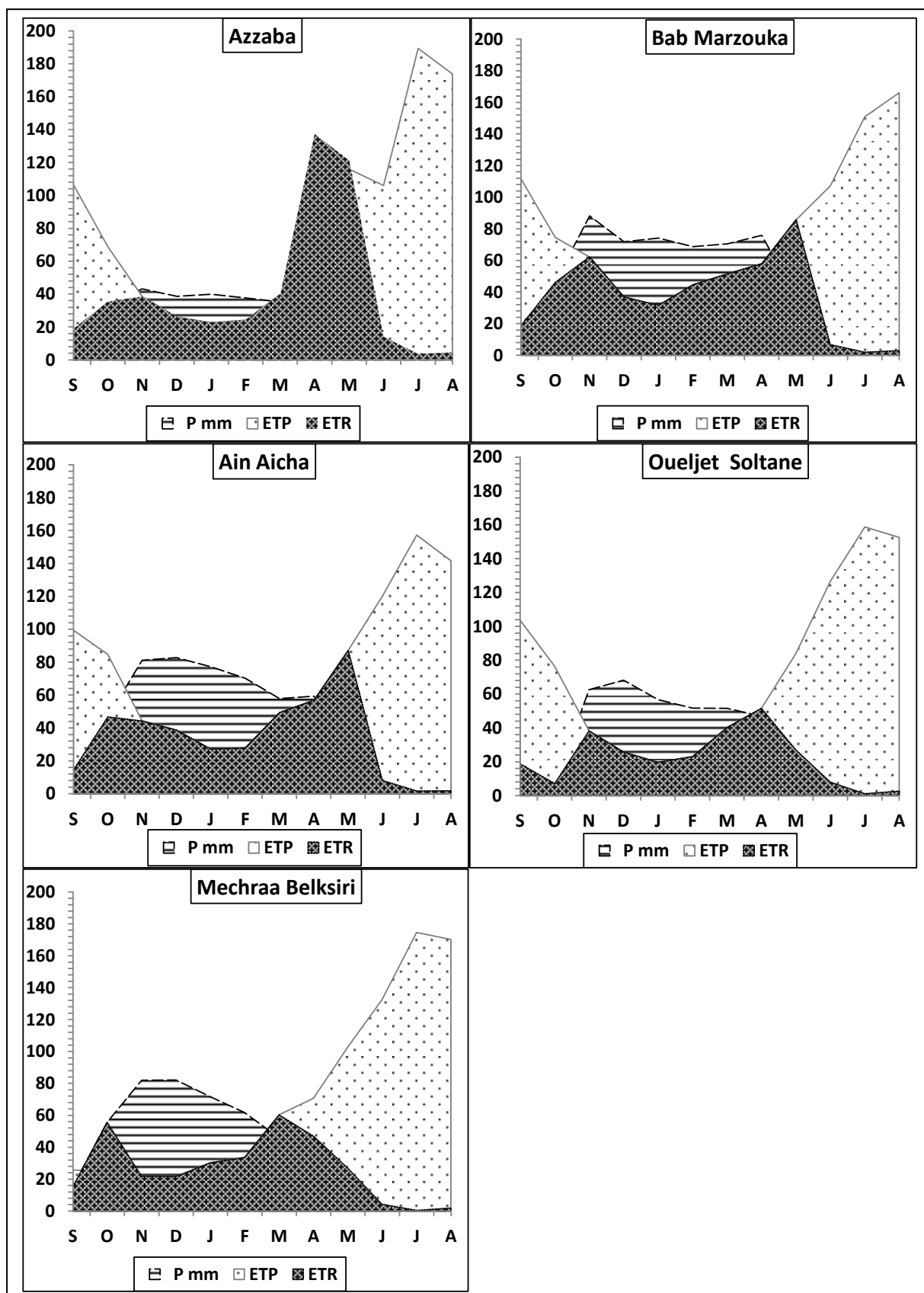
Tableau. n°32: Bilan hydrique du sol dans le Bv Sebou entre 1980-81 et 2013-14.

Stations		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Azzaba	P mm	18,9	35,4	43,2	38,7	40	37,7	35,2	42,2	28,3	8,8	3,6	4,6	336,6
	ETP	106,6	68,6	38,5	26,0	22,6	24,1	39,9	44,6	115,9	106	189,4	173,9	956,2
	ETR	18,9	35,4	38,5	26	22,6	24,1	39,9	137,5	121,2	14,1	3,6	4,6	486,4
Bab Marzouka	P mm	18,6	46,1	88,1	71,8	74	68,7	70,4	75,8	36,5	6,7	1,9	2,9	561,5
	ETP	111,9	74,6	62,2	36,8	31,5	44,6	51,5	57,9	85,8	107,2	150,9	166,1	981,0
	ETR	18,6	46,1	62,2	36,8	31,5	44,6	51,5	57,9	85,8	6,7	1,9	2,9	446,5
Ain Aicha	P mm	14,45	46,7	81	82,63	77,1	70,19	57,7	59,18	30,44	8,12	1,68	1,87	531,1
	ETP	99,3	84,7	44,3	38,7	27,1	27,8	49,3	56,8	87,1	119,9	157,2	141,5	933,7
	ETR	14,45	46,74	44,3	38,7	27,1	27,8	49,3	56,8	87,1	8,12	1,68	1,87	403,9
O Soltane	P mm	18,6	7	62,6	68,2	56,8	51,7	51,6	46,9	26,9	7,9	1	2,6	401,8
	ETP	103,6	76,4	38,2	25,6	19,6	23,0	40,2	51,5	84,1	126,6	158,8	152,6	900,3
	ETR	18,6	7	38,2	25,6	19,6	23	40,2	51,5	26,9	7,9	1	2,6	262,1
M Belksiri	P mm	15,3	55,6	82,1	82,2	71,7	61,8	45,9	47	26,9	4,3	0,5	2	495,3
	ETP	25,8	262,1	21,8	21,6	30,3	33,6	60,3	70,8	102,8	132,5	174,7	170,4	869,0
	ETR	15,3	55,6	21,8	21,6	30,3	33,6	60,3	47	26,9	4,3	0,5	2	319,2

Cependant, la diminution des quantités de précipitations des pluies et l'élévation significative d'évapotranspiration potentielle font que la quantité d'évapotranspiration réelle est parallèle à l'épuisement des réserves d'eau qui ont atteint des limites de moins de 0,5mm dans la plaine côtière et de 87,1mm en moyenne dans les collines prérimaires, comme indiqué par la station Ain Aicha. Au début de chaque année hydrologique, les mois de novembre et

décembre, selon les stations, forment généralement la période de remplissage des réserves d'eau.

La distribution de l'ETR diffère dans le bassin de Sebou, comme indiquée par la station d'Azzaba, où l'évapotranspiration en moyenne est inférieure à 38,5 mm en hiver, tandis qu'en fin du printemps et au début d'été, elle atteint plus de 137,5mm en mai et 121,2mm en juin. Pour les autres bassins, l'évapotranspiration s'élève à 85,5mm dans le bassin d'Inaouene, 87,1mm au prérief, et 51,5mm dans le bassin de Baht, puis 60,3mm dans la plaine du Gharb. Ceci est normal, étant donné que cette période coïncide avec le début d'augmentation de la température à un moment où il existe encore une importante réserve d'eau au sol.



Figures. n°39: Régime du bilan hydrique moyen de la période de 1980-81 à 2013-14.

3.4.3.4. Analyse du coefficient d'écoulement dans le bassin

Le coefficient ou le quotient d'écoulement est le rapport entre la lame d'eau écoulée et la lame d'eau précipitée. Il exprime en pourcentage la tranche d'eau précipitée qui ruisselle jusqu'à l'exutoire du bassin versant:

$$C_a = \text{Lame d'eau écoulée} / \text{Lame d'eau précipitée}$$

Les coefficients d'écoulement dépendent généralement de trois facteurs principaux:

- ✓ La pluie qui intervient par son intensité, sa répartition et sa durée.
- ✓ Les caractéristiques physiques d'un bassin versant, notamment sa superficie, sa forme, ses pentes, la nature et la perméabilité de son substratum, la végétation et l'état d'humidité du sol et la date des chutes pluviométriques.
- ✓ La température qui régit l'évaporation.

Concernant le bassin du Sebou-comme pour la plupart des oueds des bassins du Maroc-c'est l'intensité des pluies et le degré des pentes qui auront une influence décisive sur les coefficients de ruissellement; mais bien entendu, d'autres facteurs conditionnent également l'écoulement, comme la nature géologique du sol, la température, la forme et la longueur du bassin qui peut être prépondérante.

Sur la base des résultats obtenus à partir du tableau n°28, on peut dire que le coefficient d'écoulement a connu une baisse significative dans le bassin de Sebou et ses sous-bassins. C'est une baisse qui était clairement liée à la diminution de la lame d'eau écoulée, de plus de 47%, en raison de l'amenuisement de la lame d'eau précipitée avec un taux qui dépasse, principalement, 57,3%, comme nous l'avons vu précédemment. Ainsi le coefficient d'écoulement le Haut Sebou étant moins important sur les affluents Mdez, Maâser et Guigou entre (0,09 et 0,20), il gagne de l'importance à la station d'Azzaba qui se trouve en bas des grosses sources Ain Sebou et Ain Timdrine, ce qui favorise une augmentation du débit de l'oued avec un coefficient de 0,28, au cours de la période d'étude (1980-81/2013-14). La baisse de ce coefficient dans le Haut Sebou est en relation avec l'augmentation de l'infiltration dans le substrat karstique et l'exploitation croissante des ressources en eau dans l'irrigation des exploitations agricoles, ce qui limite l'écoulement superficiel dans ce domaine.

Dans le bassin d'Inaouène, le coefficient d'écoulement varie entre 0,15 et 0,36. Celui-ci semble atténuer dans le Haut Inaouène (0,15) en raison des fortes consommations d'eau notamment si en prend en considération les besoins de la ville de Taza. Au bassin de Lebène ce coefficient est élevé (0,36), ce qui veut dire qu'une grande majorité du débit de cet oued s'écoule rapidement lors des crues hivernales suite à la prédominance des formations marneuses imperméables. En plus il y a moins de consommations d'eau par rapport au bassin du Haut Inaouène.

Dans le bassin de l'Ouergha le coefficient d'écoulement varie entre (0,30 et 0,53). À la station de Bab Ouender qui contrôle le Haut du bassin, ce taux de 0,30 signifie que l'écoulement est moins turbulent à cause des formations géologiques diversifiées (calcaires, grès... qui retiennent une partie non négligeable des apports pluviométriques. Cependant en aval à Ain aïcha, le coefficient affiche le taux le plus haut du bassin (0,53), ce qu'il veut dire un fort déferlement des eaux vers l'aval. En effet en interceptant son affluent oued S'rat sur sa rive droite le débit de l'oued augmente notablement en raison de la violence des crues de ce bassin caractérisé par une vidange rapide des eaux. Au bassin d'Amzaz en aval sur la rive droite le coefficient reste également important à la station de Galaz, (0,43). Les fortes pentes abruptes, le substratum géologique imperméable et la consommation croissante des ressources en eau peuvent expliquer cette diminution par rapport au Haut Ouergha à Ain Aïcha.

Au bassin de Beht, le coefficient oscille entre 0,13 et 0,22 ce qui explique une bonne rétention des eaux pluviales dans le bassin à cause des formations géologiques perméables importantes. Au bassin de Tigriga, ce coefficient est l'une des plus bas du bassin (0,13) en raison des fortes consommations d'eau à des fins domestiques et agricoles, en plus la présence d'une forte infiltration vers les réservoirs karstiques pendant pluies hivernales.

Au Moyen Sebou, le coefficient d'écoulement semble plus réduit ; 0,16 à la station Dar El Arsa et 0,22 à Pont du Sebou. La diminution de lame d'eau précipitée par rapport au versant rifain et le rôle des barrages Idriss I sur l'oued Inaouene et le barrage Allal El Fassi dans le Haut Sebou qui modifie l'écoulement naturel sont responsables de cette situation.

En aval du bassin, à la station Mechrâa Belksiri l'oued Sebou enregistre un coefficient d'écoulement très modéré avec 0,21. Ceci est en relation avec plusieurs facteurs dont la baisse pluviométrique des trois dernières décennies puisque ce coefficient affichait 0,27 pendant la période 1955-56/1977-78. S'ajoute également le rôle des barrages du bassin qui sont des ouvrages hydrauliques destinés à la protection des zones avals contre les inondations et la mobilisation des eaux en faveur de l'irrigation agricole et la consommation domestique et industrielle.

Conclusion du 3^{ème} chapitre:

Le comportement hydrologique de l'oued Sebou et de ses principaux affluents se caractérise tout d'abord par une irrégularité interannuelle importante en réponse à la variabilité pluviométrique; les années ou les périodes humides sont les phases d'abondance hydrologique et les années où les périodes sèches sont les phases de disette hydrologique. Le régime hydrologique est également un régime d'écoulement hivernal sur le versant rifain, mais au Moyen Atlas, il est plus étalé pendant toute la saison pluvieuse en raison du soutien apporté par les réservoirs karstiques à l'écoulement. Au Moyen Sebou et à l'aval du bassin le débit reste fortement influencé par les activités d'écêtement des barrages, donc c'est un régime influencé par des actions anthropiques.

Au sein des années, le débit journalier au début de la saison pluvieuse est marqué par des montées et des descentes rapides de l'écoulement et ce en raison du caractère intense des pluies surtout en automne et au caractère asséché des sols. L'hiver, c'est la saison des grandes crues, mais également de recharge des nappes souterraine et le maintien des hautes eaux reste lié à la durée et à l'importance des séquences pluviométriques. La saison printanière est normalement une saison de régularité d'écoulement et de vidange des aquifères. Cette régularité provient d'abord du caractère moins intense des précipitations, mais aussi de l'activité croissante des résurgences qui soutiennent beaucoup le débit, en particulier dans le secteur Moyen-atlasique. En été, le drainage regagne généralement le débit d'étiage, cependant quelques averses orageuses concentrées dans le temps et l'espace peuvent être responsables des sursauts brèves de l'écoulement.

Ainsi d'après l'étude du bilan hydrologique, on a mis l'accent sur les divers paramètres qui jouent le rôle d'équilibre des ressources en eau dans le bassin de Sebou. Le premier facteur était les précipitations qui ont été étudiée à travers la recherche de la lame d'eau précipitée et les débits des oueds qui nous ont servi pour calculer la lame d'eau écoulée. Ces deux éléments nous ont permis de connaître le déficit et le coefficient d'écoulement dans le bassin. Les résultats de ce dernier montrent la modération du drainage au sein du versant Moyen-atlasique et dans le cours moyen et aval du cours principal d'oued Sebou (entre 0,09 et 0,28), mais un accroissement de celui-ci dans le versant rifain où le coefficient oscille entre 0,30 et 0,53, ce qui montre la grande sensibilité de ce domaine aux crues inondables dans le bassin de Sebou.

Conclusion de la 2^{ème} partie:

À travers cette partie, nous avons mis en évidence, les principaux facteurs atmosphériques générateurs des pluies dans le bassin de Sebou. Le facteur climatique est à l'origine de la présence de deux saisons au sein de l'année; sèche et pluvieuse qui sont en relation avec la situation planétaire de notre zone d'étude, aux bordures méridionales des champs d'influence aérologique du front polaire. L'intervention à ce niveau du phénomène de la divergence est responsable de la stabilité atmosphérique et la subsidence dynamique de l'air chaud mettant le bassin à l'écart de l'activité cyclonique une bonne partie de l'année. Les situations pluvieuses sont toujours liées à l'irruption en altitude des coulées polaires froides ; les phases de l'onde planétaire du courant d'Ouest expliquent l'alternance des séquences humides et sèches, une alternance variable d'ailleurs selon les années. Mais, les phases des crêtes planétaires sont beaucoup plus durables que les passages de vallées, ce qui conditionne une pluviométrie généralement en rapport avec la capacité hygrométrique des systèmes dépressionnaires selon les années.

L'apport pluviométrique étant donc concentré à la fois dans le temps et dans l'espace, est marqué par une importante variabilité surtout au sein des vallées. Cette variabilité a également un impact sur les fluctuations des débits interannuels, mensuels et journaliers, de l'oued Sebou et de ses principaux affluents. En prenant en compte les caractéristiques du climat méditerranéen, les débits moyens mensuels dépendent presque de la saison hivernale vue l'importance des crues survenues pendant cette phase de l'année. En effet, les mois d'écoulement élevés, notamment novembre, janvier et février sont d'après ces trente-deux années d'observation, les mois les plus sensibles aux crues. Ainsi le bassin reçoit des cumuls pluviométriques journaliers importants surtout au Rif ; par exemple à Jbel Ouedka on a enregistré 226mm en novembre 2002-03, 150mm à Bab Echehoub en 2009-10. Pendant toutes les années hydrologiques dépouillées, les mois de crues se situent souvent entre novembre et février, mais des fois aussi en mars et avril.

En ce qui concerne le régime hydrologique, la concentration des hautes eaux à la fin d'automne et au début d'hiver, indique la présence d'un régime hydrologique du type "pluvial" dans le bassin de l'oued Ouergha. Néanmoins ce régime devient plus printanier dans le bassin d'Inaouene et du Haut Sebou grâce à l'apport des sources karstiques du Moyen Atlas. Cependant, on remarque vers la fin de la saison printanière que la décrue hydrologique dépend des caractéristiques du substrat. Au Rif le substrat imperméable des formations schisteuses et marneuses sont à l'origine d'un colmatage très rapide des eaux d'averses qui s'écoulent rapidement vers l'aval et ne permettent pas l'infiltration vers les nappes souterraines. Au Moyen Atlas dominé par le substrat calcaire, les nappes karstiques soutiennent l'écoulement pendant la saison chaude de l'année. Néanmoins il ne faut pas oublier selon certaines années le rôle des orages qui peuvent être à l'origine d'un basculement du drainage

vers une phase de crues brusques engendrant même un risque d'inondation. Ainsi le système hydrologique karstique joue un rôle de régularisation du débit de l'oued Sebou et de l'oued Beht dont les étiages d'été sont moins graves par rapport aux affluents rifains de l'oued Ouergha. Ce schéma que nous venons de décrire peut varier selon les particularités pluviométriques et hydrologiques de chaque année.

Ainsi la connaissance du régime hydro-pluviométrique du bassin nous a été très utile dans notre objectif d'approcher l'étude des crues et des inondations de l'oued Sebou et ses principaux affluents. En effet, vu les caractéristiques du climat du bassin, son ouverture océanique, l'exposition optimale de ses versants faces aux flux maritimes humides et sa grande variabilité pluviométrique et hydrologique. Ce bassin de Sebou connaît pendant les événements pluvieux des phases de crues inondables. Ces risques d'inondation se sont aggravés de manière croissante, car c'est le bassin le plus agricole et le plus urbanisé du Maroc. Dans ce qui suit nous allons aborder une étude statistique des crues dans le bassin de Sebou, connaître leur genèse atmosphérique et montrer quelles sont les conséquences des crues inondables dans la plaine du Gharb tout en essayant de les spatialiser dans cette région et de montrer les modes de gestion et d'adaptation de la population face à ce risque climatique.

TROISIEME PARTIE:
ÉTUDE DES CRUES DU SEBOU
ET LEURS IMPACTS SUR LA PLAINE DU GHARB

Introduction:

Comme nous l'avons évoqué le bassin du Sebou était le théâtre des plus graves inondations que connaît le Maroc, compte tenu son potentiel hydraulique et son architecture physique qui fait que toutes les eaux provenant de son encadrement montagneux sont réceptionnées par sur une vaste plaine d'affaissement, la plaine du Gharb, qui représente la zone agricole la plus importante du pays. La connaissance du régime des crues, leurs fréquences, leurs genèses et leurs conséquences sur la plaine du Gharb sont une démarche essentielle dans la gestion des ressources en eau dans ce bassin.

Dans ce contexte, étudier les crues du bassin versant de Sebou passe par l'examen des pluies et des débits journaliers extrêmes qui sont un des facteurs générateurs des crues inondables au sein des vallées du bassin en particulier dans la plaine du Gharb. Puis il serait question de connaître les caractéristiques des pluies et des débits maximaux aux niveaux annuel et mensuel, ainsi que leurs fréquences dans le bassin. Ensuite, nous allons essayer de caractériser leurs régimes et leurs mécanismes au niveau de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.

Ainsi, la problématique des inondations dans la plaine du Gharb retiendra toute notre attention car, pas moins de 52 sites (ABHS, 2010) ont été identifiés comme les zones les plus exposées au risque de submersion des eaux dans le bassin. En effet, cette plaine se trouve parmi les sites les plus affectés, eu égard aux quatre crues inondables remarquables qui se sont produites respectivement le 06 janvier 1963, le 24 janvier 1996, le 08 février 2009, et le 10 mars 2010. En outre, nous allons essayer d'étudier la vulnérabilité de cette plaine face à l'aléa inondation par l'adoption d'une approche cartographique pour la spatialisation et la modélisation du risque des crues inondables dans certains tronçons de l'oued Sebou et de ses affluents, afin d'établir une carte d'Atlas des zones inondables.

Par ailleurs, nous avons effectué une étude socio-spatiale prenant en considération les impacts des inondations dans la plaine du Gharb. Cette étude a nécessité un travail de terrain basé sur le remplissage des questionnaires et la visite de zones menacées, ce qui nous a permis à travers les entretiens que nous avons effectué auprès des populations et les décideurs dans ce domaine, de comprendre le degré d'exposition face aux risques des inondations.

PREMIER CHAPITRE:

Genèse, régime et typologie des crues dans le bassin de Sebou

Introduction:

Les crues sont des situations particulières de fonctionnement des cours d'eau qui sont des phases de gonflements hydrométriques affectant les écoulements. Elles sont des phénomènes fréquents et irréguliers qui peuvent se produire en toute saison, et donnent les débits les plus forts de l'année. Dans ce chapitre, nous allons essayer de donner une définition des crues et adopter une méthode d'étude des pluies et des débits extrêmes qui permet de caractériser la réaction de l'oued Sebou et de ses principaux affluents face aux pluies importantes à des échelles de temps différents allant de quelques jours à plusieurs heures.

1.1. Crues: Définitions et Méthodes

1.1.1. Difficulté d'adoption d'une définition de la crue

Avant d'entreprendre l'étude des crues de l'oued Sebou et de ses principaux affluents, il est nécessaire de définir ce qu'on désigne par le mot crue. Selon MOUHDI.A. (1993), MUSY, (1998), ANCEY, (2012), BARCHANE. F (2009) et El MEHDI SAIDI.M (1995): la crue désigne un phénomène exceptionnel, caractérisé par une remontée brutale du débit suivi d'une décroissance plus ou moins rapide. Mais toute remontée du niveau d'eau si rapide soit-elle ne peut être qualifiée de crue, car celle-ci est définie également par son débit. Cela mène à exposer quelques critères pris en compte pour qualifier ce phénomène. Une crue représente une quantité d'eau «extraordinaire», au sens étymologique du terme, qui est transporté, avec ou sans débordement, par un système hydraulique tel que les lacs et les cours d'eau.

Par la suite, nous nous proposons de présenter les caractéristiques des crues dans le bassin versant de Sebou, pour voir dans quelle mesure elles peuvent s'intégrer dans le cadre général de la propagation des crues propres de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.

1.1.2. Méthodes de l'étude des crues

Tout d'abord, cette recherche est basée sur l'exploitation des données hydrométriques fournies par l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou. D'après les études menées sur les crues dans les domaines arides et semi-arides comme pour le bassin du Souss (JANNATI IDRISSE .A (1993), EL MEHDI SAIDI. M (1994), CHAPONNIERE. A (2005), nous avons essayé de dégager les périodes de crues dans les listes hydrométriques, à travers la prise en considération d'un seuil plus adapté au bassin versant de Sebou. Certains hydrologues adoptent des critères différents comme LABORDE (1971): 2 à 3 fois le module et

REMENIERAS (1986): 2 à 5 fois le module et d'autres prennent en considération la médiane des débits moyens journaliers maximaux annuels comme seuil au-delà duquel, on peut parler d'une phase de crue.

D'après les séries disponibles, les débits de crue sont déterminés en prenant en considération un seuil plus adapté au bassin de Sebou qui est de 3 à 5 fois le module annuel. Ceci nous a permis d'extraire les périodes de crues des listes hydrométriques quotidiennes, dans le bassin mais en adoptant le seuil de 5 fois le module annuel. Grâce à celui-ci, nous avons pu étudier leur fréquence pour chaque mois de l'année. Et également mettre l'accent sur la place des crues dans l'année hydrologique en étudiant leurs mécanismes, leur régime et leur origine météorologique.

Tout d'abord il est important d'étudier les pluies journalières maximales dans le bassin, car ce sont celles qui sont à l'origine des remontées brusques de l'écoulement et nous donnent une idée réelle sur l'intensité pluviométrique dans le bassin.

1.2. Étude des pluies journalières maximales dans le bassin de Sebou

Les pluies maximales de 24h sont souvent à l'origine des crues provoquant des inondations, donc leurs connaissances sont primordiales pour comprendre les caractéristiques de ses intumescences hydrologiques dans le bassin (Tab.n°33).

1.2.1. Intensité des pluies journalières et séquences pluvieuses

Les pluies journalières maximales sont extrêmement importantes dans la compréhension des risques hydrologiques à l'origine des crues inondables dans le bassin de Sebou. Or les moyennes annuelles et mensuelles restent insuffisantes pour mettre en évidence le rôle des pluies dans la genèse des crues, puisqu'elles ne prennent pas en compte les valeurs extrêmes pluviométriques du climat méditerranéen. En effet, l'irrégularité spatiale et temporelle des pluies témoigne du caractère aléatoire des phénomènes à risque dans le bassin.

1.2.1.1. Intensité pluviométrique à l'échelle annuelle et mensuelle

Nous avons à ce sujet à essayer d'approcher l'intensité pluviométrique à l'échelle moyenne annuelle et mensuelle, en recherchant le rapport entre les précipitations moyennes du mois et le nombre moyen de jours de pluie.

$$\text{Intensité pluviométrique} \left(\frac{\text{mm}}{\text{jour}} \right) = \frac{\text{Précipitations moyennes (mm)}}{\text{Nombre moyen de jours de précipitations}}$$

Les résultats de ces études sont reportés au tableau n°33, où nous avons calculé l'intensité journalière moyenne de la pluie.

• **À l'échelle annuelle**, l'intensité moyenne annuelle des jours pluvieux, est globalement modérée. Elle est variable d'une région à une autre selon l'altitude. Elle va de 15,52 mm/jrs dans la station de Jbel Ouedka, qui connaît une intensité plus élevée à cause de l'altitude et l'exposition des versants vers les masses d'air humides. Les autres stations, Bab Ouender, Ain

Tableau. n°33: Nombres moyens de jours de pluies (J) et intensités moyennes journalières (I) en mm/j.

Stations	Période	Caractère du BV	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Ma	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao	Année
Jbel Ouedka	1980-81/2009-10	NMJ P	4,83	7,73	10,53	10,53	9,1	9,53	8,33	10,73	7,76	1,9	0,73	1,6	87,73
		I M J mm/j	6,16	13,44	21,99	20,64	22,19	18,25	17,88	14,63	9,91	6,33	2,13	7,92	15,52
Bab Ouender	1980-81/2013-14	NMJ P	2,5	4,85	7,73	7,61	7,41	7,29	6,61	7,26	5,08	0,97	0,23	0,47	58,05
		I M J mm/j	8,74	11,83	14,37	14,71	13,07	12,15	10,95	10,5	7,36	6,28	6,52	4,68	11,73
Ain aicha	1980-81/2013-14	NMJ P	2,33	4,81	7,93	7,69	6,51	7,21	6,33	7,36	4,45	0,9	0,24	0,33	56,15
		I M J mm/j	6,2	9,71	10,21	10,74	11,83	9,73	9,12	8,04	6,84	9,02	7	5,66	9,45
Tabouda	1980-81/2009-10	NMJ P	3	6,73	9,33	9,9	7,43	9	7,25	9,23	6,03	1,7	0,41	0,56	70,4
		I M J mm/j	3,87	3,89	4,33	3,22	4,6	2,93	3,95	2,7	2,36	3,31	1,63	2,07	3,49
Ait khabache	2080-81/2010-11	NMJ P	6,22	6,38	5,74	6,93	6,51	6,32	6,9	6,48	6,93	4,96	4,09	4,64	72,16
		I M J mm/j	5,45	5,56	5,88	4,01	4,34	4,12	4,33	6,52	5,72	4,67	4,03	4,2	4,94
O Soltane	1980-81/2006-07	NMJ P	2	5	7	7	8	7	7	7	5	1	0	1	56
		I M J mm/j	6,24	1,48	7,71	9,55	6,71	7,39	7,74	7,04	5,71	5,43	2,35	4,21	7,17
Bab Marzouka	1980-81/2013-14	NMJ P	3,26	6,03	8,32	7,85	7,09	7,53	6,35	6,85	5,26	1,68	0,74	1,18	62,14
		I M J mm/j	5,7	7,64	10,58	9,15	10,43	9,12	11,08	11,06	16,15	3,98	2,56	2,46	9,09
M Belksiri	1980-81/2013-14	NMJ P	1,65	4,50	7,03	7,38	6,29	6,82	5,68	5,15	2,24	0,53	0,06	0,21	47,53
		I M J mm/j	9,27	12,35	11,67	11,13	11,39	9,06	8,08	9,12	12	8,11	8,33	9,52	10,18

Aicha et Oueljet Soltane affichent 11,7, 9,5 et 7,2 mm/jrs. Les minimums sont enregistrés aux fonds des vallées comme à la station d'Ait khabache; 4,9mm/jrs et Tabouda: 3,49 mm/jrs.

• **À l'échelle mensuelle**, les intensités journalières mensuelles sont très faibles en été, mais se relèvent à partir du mois d'octobre. Les valeurs les plus élevées sont entre 11,8 et 22,2 mm/jrs, et sont plus marquées à la station Jbel Ouedka; 22,19 mm/jrs en janvier, 14,7mm/jrs à Bab Ouender en décembre et 11,8mm/jrs à Ain Aicha en janvier. Pour les autres stations les valeurs sont comprises entre 4,3mm/jrs à Tabouda et 5,8 mm/jrs en novembre à Ait khabache.

Selon CHERRAD. B(1997), le mois de certains événements ponctuels pluvieux est indéniable, car il peut être expliqué par les grandes différences entre les maximums de chaque station. Les valeurs les plus faibles de l'intensité pluviométrique mensuelle se situent évidemment aux mois de juillet et Août pour l'ensemble des stations, comme à la station de Jbel Ouedka: 2,13mm/jrs, Tabouda: 1,63mm/jrs. Pour d'autres stations sont un peu plus élevées telles que à Ait khabache: 4,03mm/jrs en juillet, Bab Ouender: 4,68mm/jrs et à Ain Aicha: 5,66mm/jrs en août. Ainsi, la pluviométrie connaît des concentrations spatiales et temporelles en raison des caractéristiques climatiques et géographiques spécifiques de chaque station étudiée dans le bassin.

1.2.1.2. La date des maxima journaliers enregistrés dans le Bassin

L'étude des pluies maximales de 24h est une approche intéressante pour étudier les intensités des averses qui s'abattent sur le bassin versant de Sebou. Nous avons de ce fait relever les quantités relatives à la période observée. Ces valeurs donnent une idée sur les cumuls journaliers enregistrés par les différentes stations du bassin (Tab. n°34):

Tableau. n°34: Les records journaliers dans le Bv de Sebou.

Bassins versants	Stations	P mm	Date	Période d'observation
Haut Sebou	Ait khabache	74,8	3-Aot-1992	1970-71/2010-11
	Azzaba	70	17-Avr-2010	1957-58/2013-15
Bv d'Inaouene	Bab Marzouka	84,2	30-Jan-1987	1970-71/2013-14
	Bab Echehoub	100	29-Nov-2010	1980-81/2013-14
Bv d'Ouergha	Bab Ouender	135	11-Jan-1970	1960-61/2013-14
	Ain Aicha	80	13-Avr-2002	1980-81/2013-14
	Jbel Ouedka	226,4	14-Nov-2002	1978-79/2013-14
	Tabouda	123	29-Nov-2010	1978-79/2012-13
Moyen Sebou	Dar Al Arsa	107,5	30-Nov-2010	1973-74/2013-14
Bv de Beht	O Soltane	110	15-Mar-2002	1980-81/2013-14
Gharb	M Belksiri	95,5	17-Fév-1981	1973-74/2014-15

• **Au Haut Sebou**, la station d'Ait khabache a reçu un maximum de 74,8mm le 3 août 1992. Ces quantités journalières maximales traduisent l'influence des situations perturbées sur le Haut Sebou. D'après l'étude d'efficacité des flux perturbés dans le bassin où on a considéré

seulement les jours pluvieux de plus de 20mm, nous avons remarqué que les perturbations issues de NO, sont les plus virulentes au cours de l'année 2008-09 avec 41,7%. Cependant celles issues du secteur SO, sont plus actives en 1981-82 avec 54,5% et en 1984-85 avec 50%. Les situations thermodynamiques d'altitudes représentent 22,3% et les situations orageuses; 13,9%.

• **Au bassin d'Inaouene**, la station de Bab Echehoub a connu un maximum de pluie qui a atteint 100mm le 29 novembre 2010 et à la station de Bab Marzouka, on a enregistré 84,2mm le 30 janvier 1987. Ces quantités rappellent que ce bassin reçoit 52,5% de ses apports à travers les flux perturbés de secteur NO. Ce type de temps semble plus actif durant l'année 1981-82; où il a participé à raison de 63,3% du Total, 48,8% en 1985-86, 50% en 2010-11 et 60% en 2012-13.

• **Dans le bassin de l'Ouergha**, les intensités pluviométriques dans ce secteur sont les plus importants du bassin de Sebou. La station de Jbel Ouedka reçoit des quantités journalières considérables qui dépassent 200mm. Ainsi nous avons relevé un maximum de 226,4mm tombé le 14 novembre 2002. Aux autres stations, les records de pluies journalières maximales sont enregistrés à Tabouda: 123mm le 29 novembre 2010, 80mm le 13 avril 2002 à la station d'Ain Aicha. Cependant dans le Haut Ouergha il semble que ces valeurs reprennent de l'importance car, nous avons enregistré une valeur maximale de 135mm le 11 janvier 1970 à la station de Bab Ouender.

Ces fortes précipitations sont générées essentiellement par les flux humides valeurs sont dues aux différents temps perturbés qui se sont alternés sur le bassin d'Ouergha, représentent 55,5% des flux perturbés de NO. Ces types des temps ont reconnu une activité importante durant l'année 1985-86; 30%, 1996-97; 34%, 1997-90; 3%, 2005-06; 33% et 2009-10; 36%. Pour les flux perturbés SO, ils sont participés avec 24,7% de bilan des flux perturbés. Ce type de temps semble actif durant l'année 1982-83; 13%, 1995-96; 33%, 2001-02; 24%, et 2010-11; 13%. Pour les autres situations humides, sont moins importants dans le bassin.

• **Dans le bassin de Moyen Sebou, Gharb, et Beht**, le record des pluies maximales de 24h à Dar Al Arsa est de 107,5mm le 30 novembre 2010, et le minimum, 8,5mm en juillet 1991. Dans la plaine du Gharb à la station de Mechrâa Belksiri, le record des pluies a affiché 95,5mm le 17 février 1981 et le minimum descend à 3mm en juillet 1995. À la station d'Oueljet Soltane, le maximum journalier de la période a atteint 110mm le 15 mars 2002, et le minimum, 9,5mm en juillet 1987. Ces quantités pluviométriques maximales sont dues aux perturbations atmosphériques occupent les régions de Beht et du Gharb, qui ont influencé par le flux de NO; 53,9% en 1988-89; 11%, en 1993-94; 13%, en 2002-03; 10%, et en 2005-06; 11%. Ceux de SO ont participé avec un taux de 25% lors de l'année 1982-83; 6%, en 1989-90; 8%, en 1995-96; 11%, et en 1999-00; 5%. Cependant les autres types de temps pluvieux,

sont peu fréquents; 8,6% pour la situation thermodynamique, 7,1% pour les flux de NE et 2,9% pour la situation orageuse. Ainsi, nous pouvons dire que ces pluies maximales journalières sont des événements aléatoires, qui peuvent tomber à n'importe quel moment de la phase pluvieuse de l'année, parfois même en été comme à la station d'Ait Khabache en août 1992.

1.2.1.3. Fréquence des pluies maximales de 24h

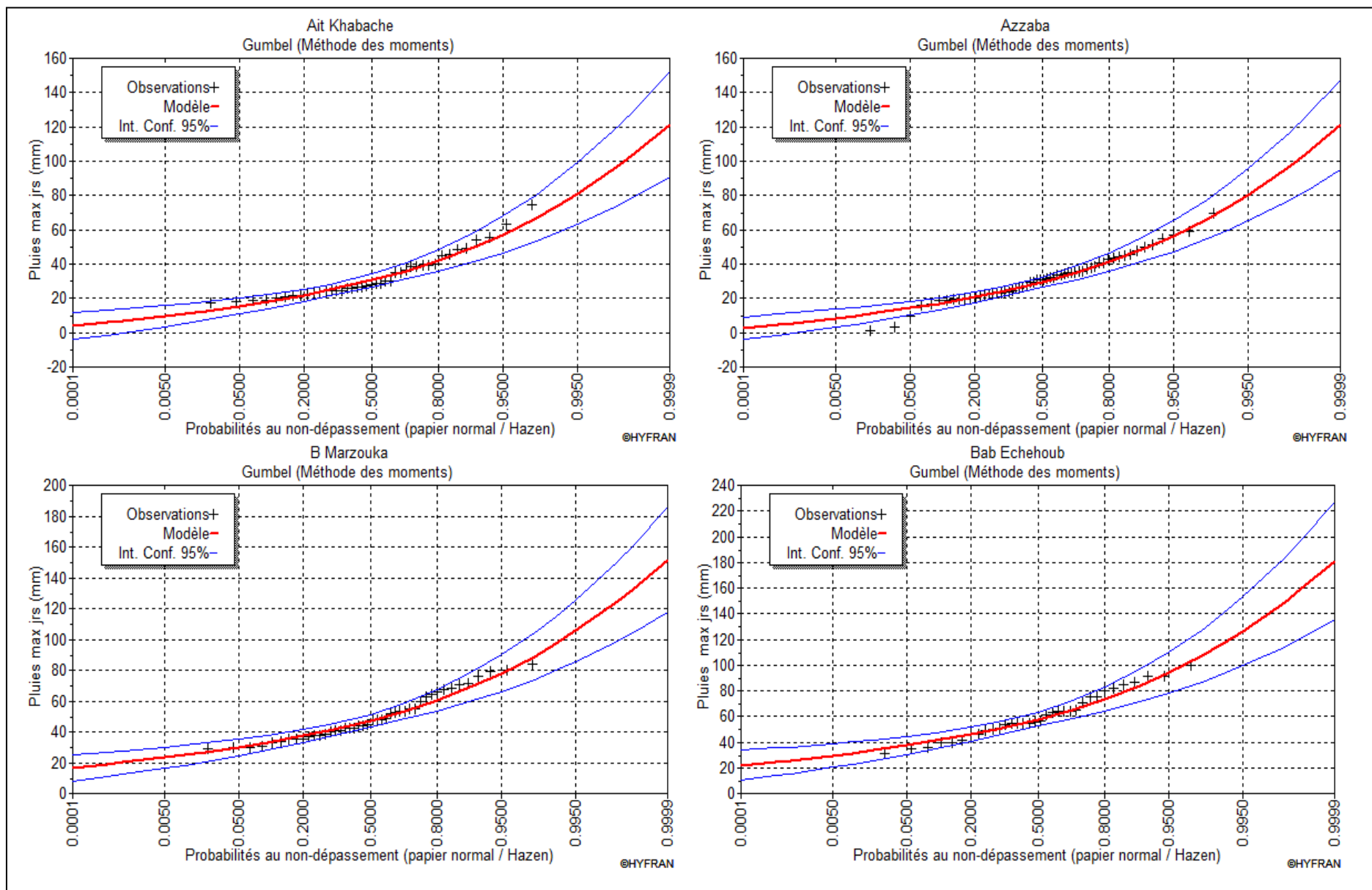
L'étude fréquentielle des pluies et des débits maximaux instantanés permet de connaître la quantité maximale qui peut se produire une fois selon des durées de retour définies comme 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. À ce sujet, nous avons utilisé la loi d'E-J. Gumbel qui s'ajuste très bien avec ces phénomènes hydro-pluviométriques exceptionnels. Celle-ci a été appliquée à partir de la méthode graphique (GUMBEL.E.J.1957) à travers le logiciel HYFRAN «Hydrology Frequency Analysis» (BOBEE et al.1999) qui se base sur une étude statistique des formes extrêmes des averses et des débits.

À l'examen des figures n°52-54 et le tableau n°35, les pluies journalières maximales paraissent assez élevées au sein des vallées du bassin versant de Sebou, malgré le petit nombre des stations dans le bassin. Mais le but est de donner un aperçu général sur la répartition globale des pluies maximales dans le bassin et leurs fréquences.

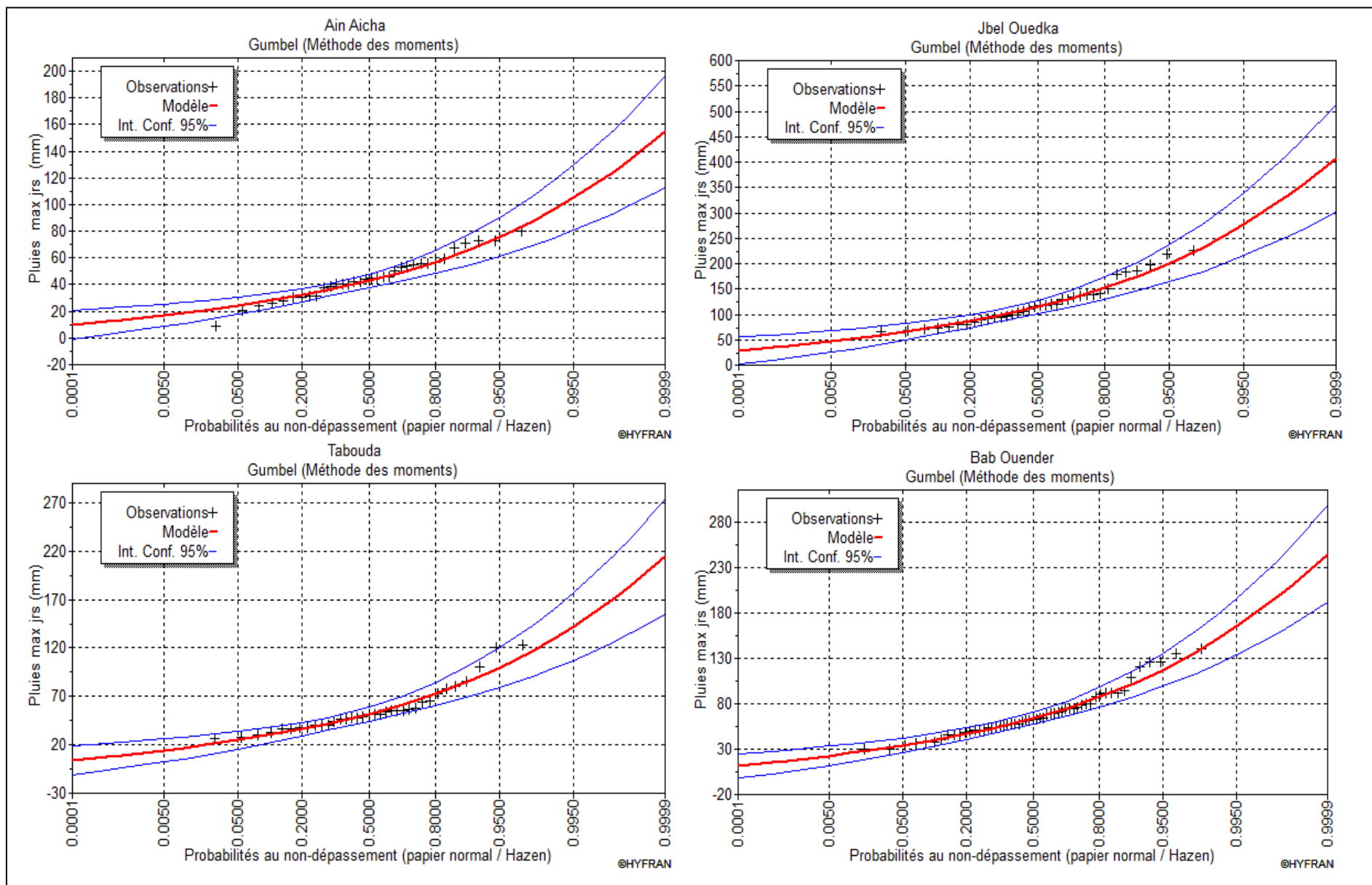
Tableau. n°35: Période de retour des pluies maximales de 24 h dans quelques stations de Sebou.

Temps de retour	Période d'étude	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Azzaba	1957-58/2013-15	29,4	41,2	48,9	56,4	66	73,3
Ait Khabache	1971-72/2010-11	30,5	42,2	49,9	57,3	66,9	74,1
Bab Echehoub	1980-81/2013-14	57,9	73,7	84,1	94,2	107	117
Bab Marzouka	1971-72/2013-14	47,2	60,6	69,5	78	89	97,3
Jbel Ouedka	1978-79/2013-14	114	152	177	201	231	254
Ain Aicha	1980-81/2013-14	42,7	57,1	66,6	75,7	87,5	96,3
Bab Ouender	1960-61/2013-14	64,1	87,2	103	117	136	151
Tabouda	1978-79/2012-13	51,7	72,5	86,3	99,5	117	129
Dar Al Arsa	1973-74/2013-14	38,6	52,4	61,6	70,4	81,9	90,4
Oueljet Soltane	1980-81/2013-14	41	58,7	70,4	81,6	96,1	107
Mechrâa Belksiri	1973-74/2014-15	37,3	55,9	68,3	80,2	95,5	107

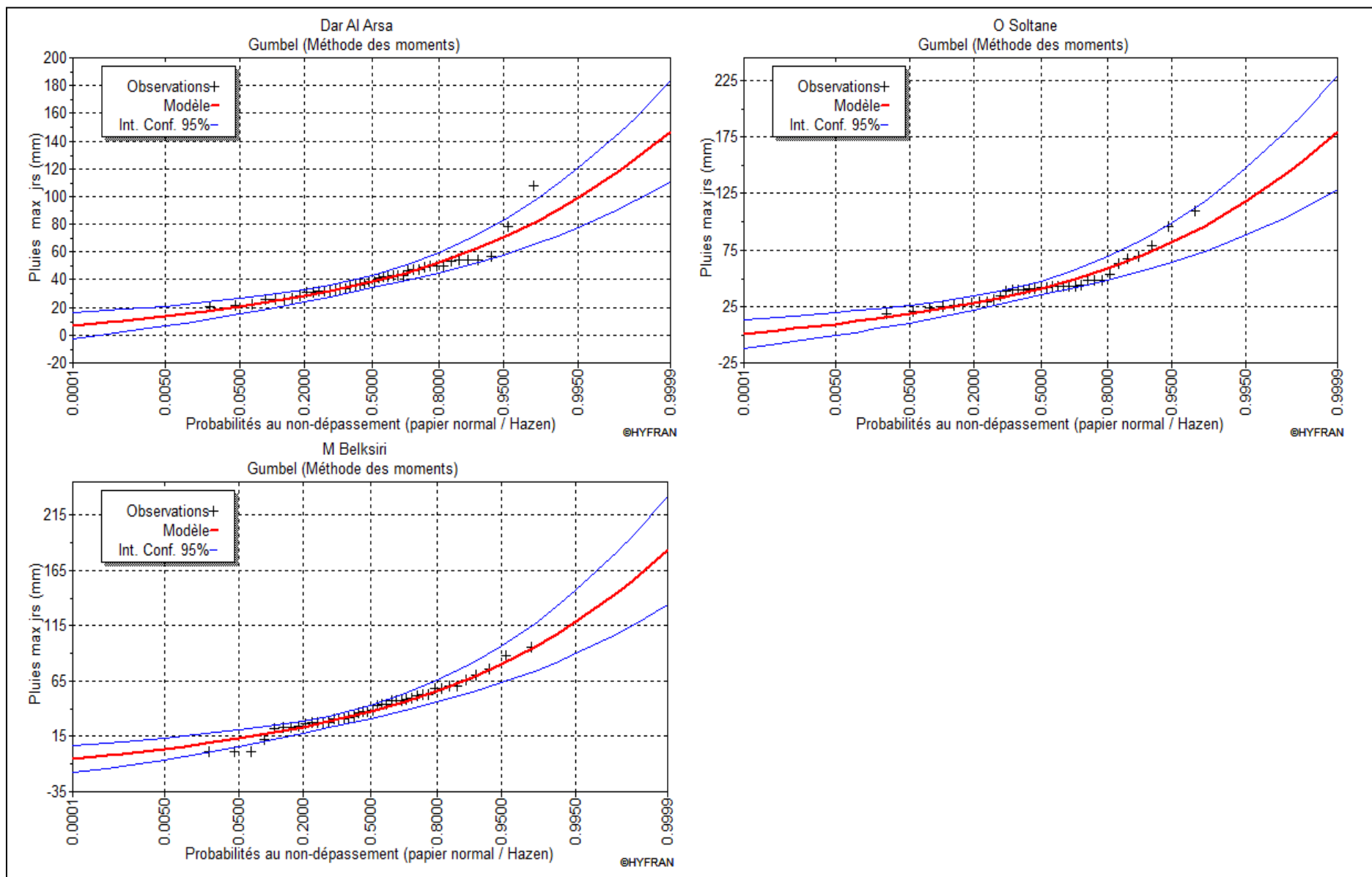
Les figures n°40-42 mettent en évidence la localisation des fortes averses dans la frange côtière, la région de Beht et les montagnes du Rif. Pour une période de retour de 10 ans, nous avons respectivement 70,4 mm à la station d'Oueljet Soltane, 103mm à la station de Bab Ouender et 84,1mm à la station de Bab Echehoub. Pour cette même période de récurrence, les valeurs maximales s'abaissent progressivement de la plaine côtière, vers les zones d'abri du Moyen Atlas; ainsi on a 68,3 mm à la station Mechrâa Belksiri, 66,6mm à la station d'Ain Aicha, 61,6 mm à Dar Al Arsa et 48,9 mm à la station d'Azzaba.



Figures. n°40: Période de retour des pluies maximales de 24 h dans le Bv de Haut Sebou et Inaouene.



Figures. n°41: Période de retour des pluies maximales de 24h dans le Bv de l'oued Ouergha.



Figures. n°42: Période de retour des pluies maximales de 24h dans le Moyen Sebou, Beht et plaine du Gharb.

Il convient de rappeler que les pluies maximales journalières de retour correspondant à Bab Ouender, Bab Echehoub et Oueljet Soltane ont enregistré des valeurs très élevées par rapport aux autres régions. Ce que d'ailleurs montrent les valeurs suivantes: 136mm en 50 ans et 151mm en 100 ans dans le domaine rifain, 107mm en 50 ans et 117,3mm en 100 ans dans le pré-rif, en raison de la bonne exposition aux influences maritimes atlantiques. Ensuite, 96,1 mm en 50 ans et 107mm en 100 ans dans le bassin de Beht. Néanmoins, il faut rappeler que les intensités pluviométriques journalières peuvent être beaucoup plus importantes sur les sommets de montagnes, ce qui aura probablement une répercussion notable sur la genèse des crues inondables dans le bassin.

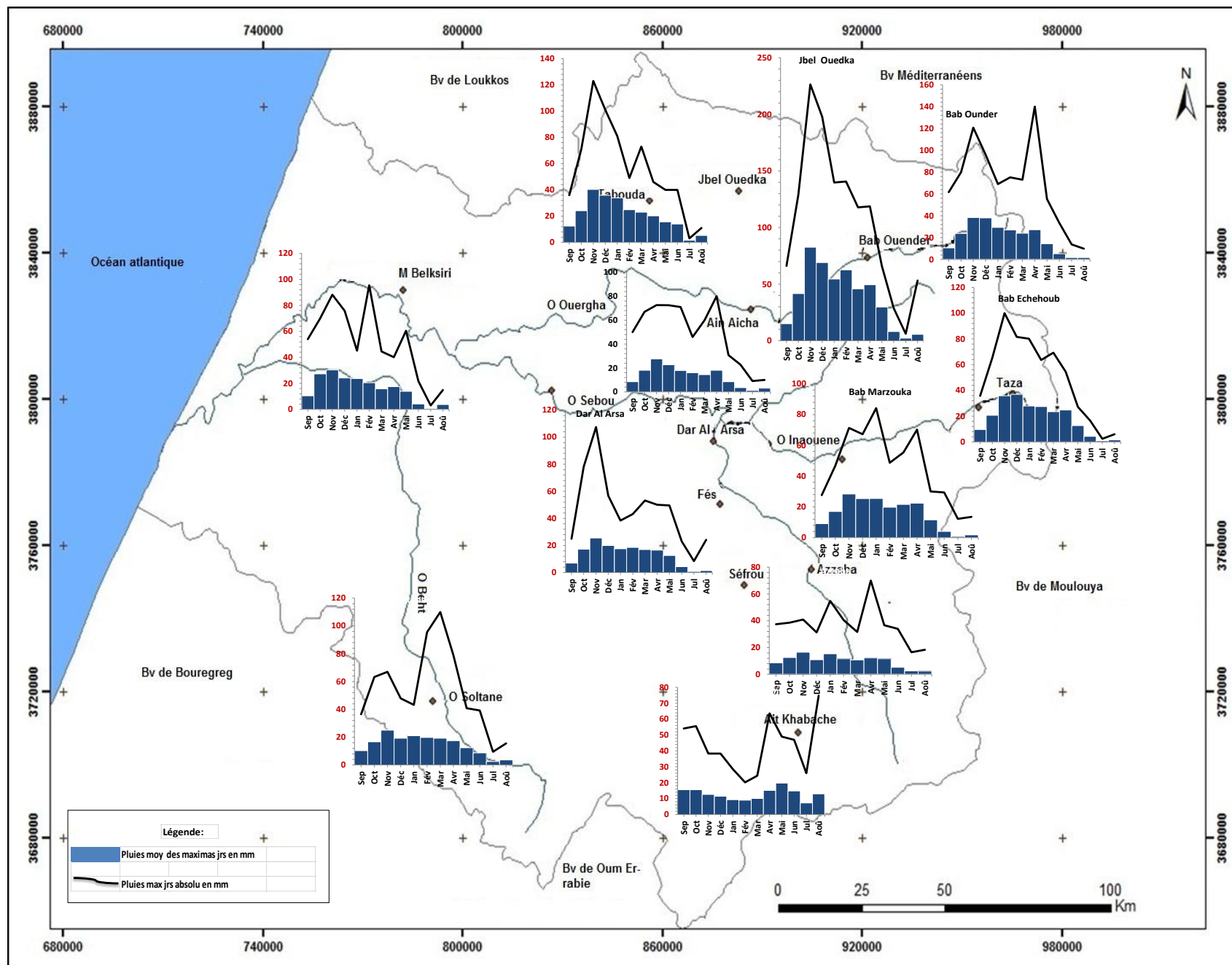
1.2.2. Le rythme mensuel des pluies maximales

Le régime moyen des maxima pluviométriques de la période 1980-81/2013-14 (carte. n°35), montre un avantage des versants rifains et des régions de Moyen Atlas et des zones ouvertes vers les vents pluvieux atlantiques. Cependant, malgré la variabilité du régime, les moyennes des maxima sont plus élevées dans le domaine rifain et moyennement faible dans les régions intérieures du bassin. Ils s'élèvent entre octobre et février en raison du contraste important entre l'air polaire maritime et l'air continental chaud en automne et suite à une activité cyclonique virulente en hiver. Par ailleurs, les pluies maximales journalières absolues, nous donnent aussi une idée sur le degré d'intensité des précipitations et nous permettent de comprendre la probabilité d'émergence des crues et des inondations dans le bassin de Sebou.

- **Dans le Haut Sebou,** les pluies maximales moyennes de 24h mettent en évidence le mois de mai qui a enregistré le moyen maximum le plus important des années observées; 16,5 mm en novembre à Azzaba à cause de l'ouverture de la station vers les flux perturbés humides de Nord et de NO, et 19,7mm à la station d'Ait khabache. En revanche, les averses peuvent générer des crues et des inondations dans le Moyen Atlas, sont les pluies maximales absolues qui ont enregistré par exemple 74,8 mm en août à Ait khabache.

- **Dans le domaine Rifain,** nous constatons que la plupart des cumuls journaliers moyens maximaux surviennent à la fin d'automne, car ils connaissent une concentration au mois de novembre, puisque nous avons enregistré 82,6mm à la station de Jbel Ouedka, 83,4 mm à Bab Ouender, 40,3mm à Tabouda, et 27,5mm à Ain Aicha. Les pluies maximales absolues de 24h sont très significatives puisqu'on a relevé 226,4mm à Jbel Ouedka, 120,7mm à Bab Ouender et 123mm à Tabouda. Ces intensités journalières sont souvent responsables de la genèse des crues dans le bassin, car elles reflètent une activité croissante des flux perturbés de NO et de SO dont le bassin offre une meilleure exposition à ces types de situations pluvieuses.

- **Dans le bassin d'Inaouene,** le régime des pluies maximales moyennes de 24h dans ce couloir, montre une hausse à la fin d'automne et au début d'hiver. On relève 28,4mm en octobre à la station de Bab Marzouka et 37mm en novembre à Bab Echehoub. Les pluies



Carte. n°35: Rythme des pluies maximales journalières dans le Bv de Sebou (1980-81/2013-14).

maximales absolues susceptibles d'engendrer des crues inondables atteignent 84,2mm en janvier à Bab Marzouka et 100mm en novembre à Bab Echehoub.

- **Dans la plaine du Gharb, Moyen Sebou, et Beht**, la plupart des pluies journalières moyennes maximales tombent pendant l'automne et l'hiver, mais connaissent aussi une concentration en mois de novembre, vu que ces pluies ont enregistré 30,3mm à la station de Mechrâa Belksiri, 25,5 mm à la station Dar Al Arsa et 25,1 mm à la station d'Oueljet soltane. Les pluies maximales absolues de 24h enregistrées dans ces régions, atteignent 95,5mm en février à Mechrâa Belksiri, 107,5 mm en novembre à Dar Al Arsa, et 110 mm en mars à la station d'Oueljet soltane. Elles sont favorisées par l'activité des flux perturbés de NO qui affectent bien ces régions.

En général, les extrêmes pluviométriques dans le bassin versant de Sebou sont expliqués par l'activité cyclonique atlantique pendant les saisons humides (pluies frontales) et par les situations orageuses de convection thermique pendant la saison chaude sur le secteur Moyen-atlasique. Les averses maximales de 24h représentent ainsi un facteur climatique de risque pour développer des crues inondables dans le bassin de Sebou.

1.3. Étude des débits maximaux dans le bassin de Sebou

Les débits journaliers maximaux sont importants dans l'étude des cas hydrologiques extrêmes. À travers l'analyse des données des stations étudiées, nous pouvons apporter les observations concernant la fluctuation des débits maximaux annuels qui peut nous donner une idée sur l'importance de l'écoulement superficiel pendant les années de forte hydraulité. Ces années sont bien entendu considérer comme génératrices des événements inondables au sein des parties aval du bassin.

1.3.1. Régime des débits journaliers maximas moyens et absolus

Les débits maximaux moyens et extrêmes enregistrés par les stations hydrométriques sont plus variables au cours de l'année, ce qui nous a permis de déterminer les mois qui ont contribué à la genèse des crues inondables de l'oued Sebou et de ses principaux affluents. Les résultats de cette étude sont présentés comme suit:

- **Au Haut Sebou** (Fig.n°43), les valeurs des débits enregistrés sont plus élevées que la moyenne de la période (1957-58/2011-12); $143,8\text{m}^3/\text{s}$ durant de nombreuses années, où elles ont atteint un débit maximum de $489\text{m}^3/\text{s}$ le 15 janvier 1960, en revanche le débit maximal moyen ne représente que $111\text{m}^3/\text{s}$ dans la partie amont de l'oued Sebou. De ce fait nous sommes devant des quantités d'eau importantes déplacées du Haut Sebou vers l'aval du bassin, ces quantités d'eau augmentent l'irrégularité du comportement hydrologique de l'oued Sebou. S'ajoute le rôle des réservoirs karstiques qui régularisent le débit de l'oued au Moyen Atlas durant les saisons hivernales et printanières en raison de la fonte nivale au mois de mars

et avril, et l'effet des averses lié aux situations orageuses à la fin de printemps et pendant l'été.

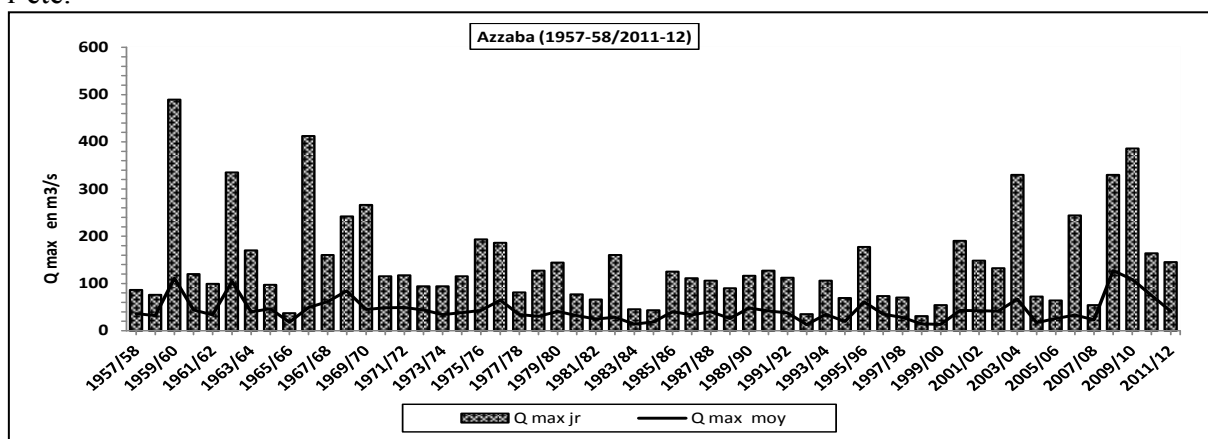
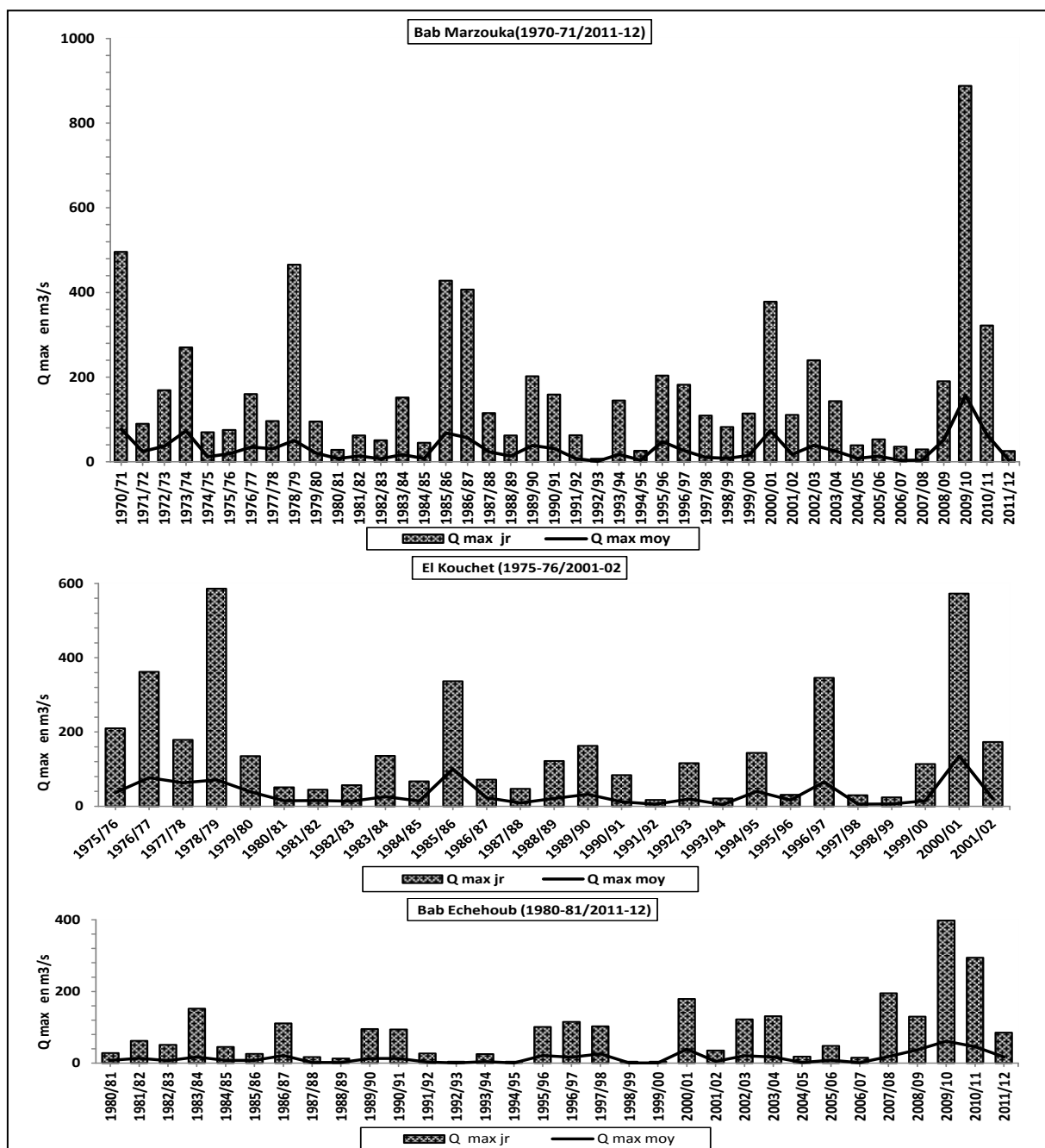


Figure. n°43: Évolution des débits maximaux journaliers au Haut Sebou.

• À l'oued Inaouene (Fig.n°44), la valeur de débit maximale dépasse 5 fois la moyenne de 168,7m³/s, alors que la valeur absolue la plus élevée enregistrée par l'oued Inaouene est de



Figures. n°44: Évolution des débits maximaux journaliers à l’oued Inaouene.

888m³/s le 9 avril 2010, tandis que le débit moyen n’a enregistré que 157m³/s à la station de Bab Marzouka (1970-71/2011-12). À la station d’El Kouchet (1975-76/2001-02), la valeur la plus élevée est de 573m³/s a mémorisé le 27 décembre 2001, alors que la valeur moyenne est de 135m³/s, en raison de la présence de cette station plus en aval de la station de Bab Marzouka, malheureusement elle a cessé de fonctionner en 2001-02. En amont du bassin d’Inaouene, la station d’Echehoub (1980-81/2011-12) affiche la valeur absolue la plus élevée; 398m³/s le 9 mars 2010 et qui représente 3 fois la moyenne de 115,1m³/s. Cela montre que l’oued Inaouene est sensible à l’émergence de crues et des inondations à cause de sa situation entre deux domaines hétérogènes; le Rif et le Moyen Atlas.

• Dans l’oued Ouergha (Fig.n°45), la station hydrométrique d’Ain Aicha a reçu le débit journalier maximum absolu de $1943\text{m}^3/\text{s}$ le 30 novembre 2010, ce qui dépasse 3 fois la moyenne de $492,6\text{m}^3/\text{s}$, tandis que le débit maximal moyen a affiché $420\text{m}^3/\text{s}$ en 2009-10.

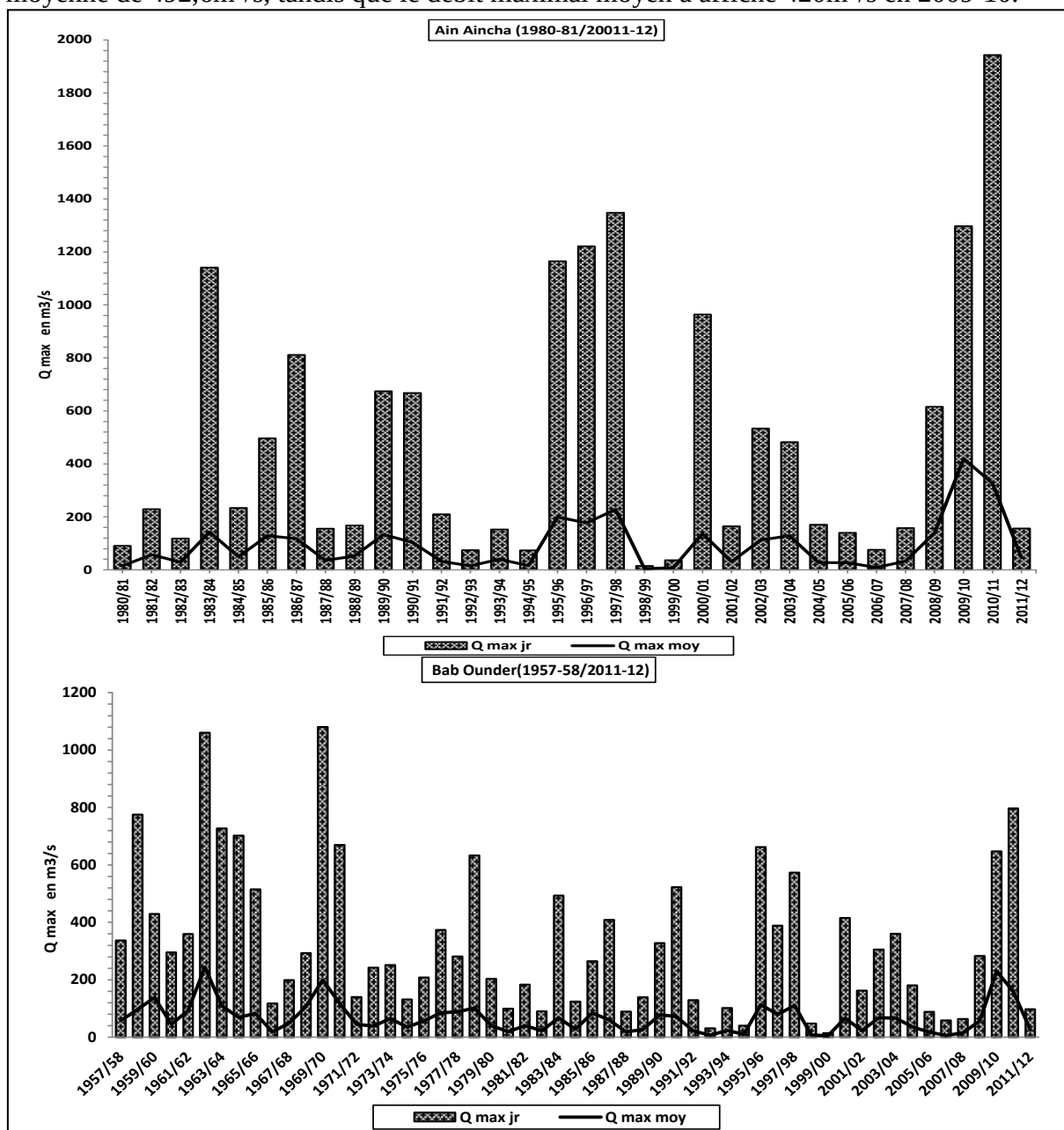


Figure. n°45: Évolution des débits maximaux journaliers à l’oued Ouergha.

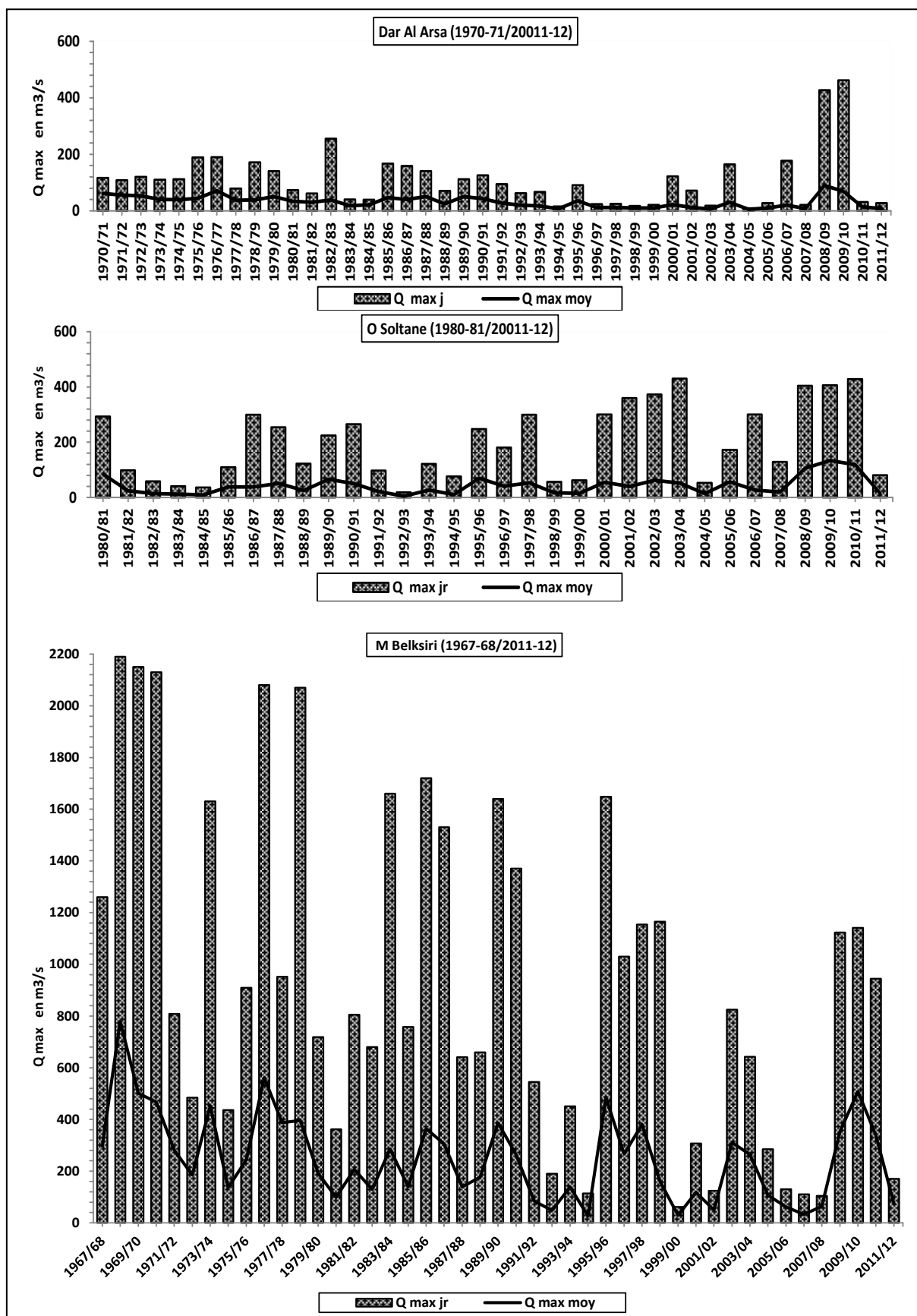
Les cas hydrologiques exceptionnels qui ont un rôle dans la genèse des crues, sont nombreuses dans le bassin à titre d'exemple: $1140\text{m}^3/\text{s}$ le 18 décembre 1983 et $1347\text{m}^3/\text{s}$ le 7 février 1998. Concernant la station de Bab Ouender (1960-61/2011-12), la valeur la plus élevée est de $1080\text{m}^3/\text{s}$ le 3 janvier 1970. Les apports hydrologiques responsables de la genèse des crues inondables, en amont du bassin sont plus fréquents comme: $1060\text{m}^3/\text{s}$ le 6 janvier 1963, $633\text{m}^3/\text{s}$ le 13 février 1979 et $797\text{m}^3/\text{s}$ le 30 novembre 2010. Le fort débit journalier de l’oued Ouergha, est en relation avec l’importance de son relief constitué de fortes pentes sur des versants raides en amont et la domination des formations lithologiques imperméables en aval. S’ajoute sa bonne exposition à l’égard des influences humides atlantiques issues des

perturbations provenant de NO et de SO. Ainsi les volumes d'eaux considérables charriées par les crues rifaines constituent une véritable menace pour la plaine du Gharb, puisqu'on a remarqué que 6 années ont écoulé un débit journalier maximum supérieur à $1000 \text{ m}^3/\text{s}$.

• **Dans le Moyen Sebou, Gharb et oued Beht** (Fig.n°46), la valeur maximale absolue la plus élevée enregistrée dans le Moyen Sebou au niveau de la station Dar Al Arsa (1970-71/2011-12), est de $464 \text{ m}^3/\text{s}$ le 10 mars 2010, alors que l'apport moyen est de $90 \text{ m}^3/\text{s}$ en 2008-09. Cette station bénéficie de débits d'autres affluents de l'oued Sebou comme oued Lébène et Inaouene, ce qui aboutit à l'augmentation des débits de l'oued dans cette zone. Néanmoins Elle ne faut pas négliger qu'après 1973, les débits sont fortement influencés par la retenue du barrage Idriss I qui a une capacité de retenue de 1,2 milliard de m^3 .

Pour l'oued Beht, à la station d'Oueljet Soltane (1980-81/2011-12) la valeur maximale absolue la plus élevée est de $430 \text{ m}^3/\text{s}$ le 10 décembre 2003, ce qui dépasse 2 fois la moyenne des maxima de $199,75 \text{ m}^3/\text{s}$, puisque la quantité hydrométrique moyenne est de l'ordre de $133 \text{ m}^3/\text{s}$ en 2009-10. Ces valeurs extrêmes sont dues essentiellement à la bonne exposition du bassin à l'influence des masses d'air humides atlantiques à la saison froide, et à l'activité orageuse pendant la saison chaude notamment au sommet du Moyen Atlas.

Au sein de la plaine du Gharb, la station de Mechrâa Belksiri (1967-68/2011-12) a enregistré la valeur maximale absolue de $2190 \text{ m}^3/\text{s}$ le 28 février 1969, ce qui dépasse 2 fois la moyenne de $931 \text{ m}^3/\text{s}$, ainsi le débit maximum moyen de cette année est de $779 \text{ m}^3/\text{s}$. La plaine du Gharb est fréquemment menacée lors des fortes crues par la submersion des zones riveraines de l'oued Sebou, surtout avant la construction du barrage Al Wahda. À titre d'exemple, on évoque les crues exceptionnelles de $1260 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1962-63, $2150 \text{ m}^3/\text{s}$ le 3 janvier 1970, $2130 \text{ m}^3/\text{s}$ le 4 avril 1971, $2080 \text{ m}^3/\text{s}$ le 24 janvier 1977, $2070 \text{ m}^3/\text{s}$ le 14 février 1979 et $1648 \text{ m}^3/\text{s}$ le 25 janvier 1996..... Après l'établissement du barrage Al Wahda (1996-97), les inondations dans le Gharb ont diminué. Cependant actuellement avec l'envasement du barrage, les écrêtements peuvent causer des inondations comme ce qui s'est passé pendant les deux années 2008-09 et 2009-10.



Figures. n°46: Évolution des débits maximaux journaliers au Moyen Sebou, Gharb et Beht.

En effet, le Gharb est un carrefour du drainage du bassin versant de Sebou (Ouergha, Lébène, Inaouene, et Beht ...), dont, une grande partie provient du versant rifain qui offre une

topographie rigoureuse et un substrat lithologique imperméable facilitant le déplacement des grands volumes d'eau lors des crues vers l'aval. Enfin, toutes les quantités d'eau très importantes du bassin versant du Sebou, ont un impact sur l'aval du bassin et précisément sur la plaine du Gharb, qui reste la plus vulnérable face aux risques hydroclimatiques associés aux crues et aux inondations de l'oued Sebou et ses principaux affluents.

1.3.2. Étude des débits maximaux instantanés du bassin de Sebou

Le but de ce titre est d'identifier les crues maximales. À ce stade, nous allons essayer de tenir en compte les plus importantes crues enregistrées dans les différentes périodes étudiées et l'objectif reste de déterminer la typologie du débit de pointe qui a conduit à cette crue. Le tableau n°37, nous présente clairement les années les plus importantes qui ont enregistré les crues inondables tout au long de la série statistique représentée. Les crues les plus importantes à travers les stations pilotes qui sont adoptées par l'Agence Hydraulique de Sebou pour mesurer le nombre de crue dans le bassin.

1.3.2.1. Débits journaliers maximaux instantanés annuels moyens et absolus

Le bassin versant de Sebou reconnu par des débits instantanés annuels moyens et absolus qui sont largement responsable de crue inondable dans les différents oueds de ce bassin:

- **Dans le Haut Sebou** (Fig. n°47), nous notons que les valeurs de débits instantanés absolus ont enregistré des apports très loin de la moyenne de $351\text{m}^3/\text{s}$ durant de nombreuses années, où ils atteignent tout d'abord un débit absolu de $787\text{m}^3/\text{s}$ le 15 janvier 1960, qui dépasse 12 fois la moyenne de $60,8\text{m}^3/\text{s}$. Ensuite, le 10 octobre 1966, on a affiché une quantité hydrométrique de $1090\text{m}^3/\text{s}$, qui surpasse 47 fois la moyenne de $23,1\text{m}^3/\text{s}$.

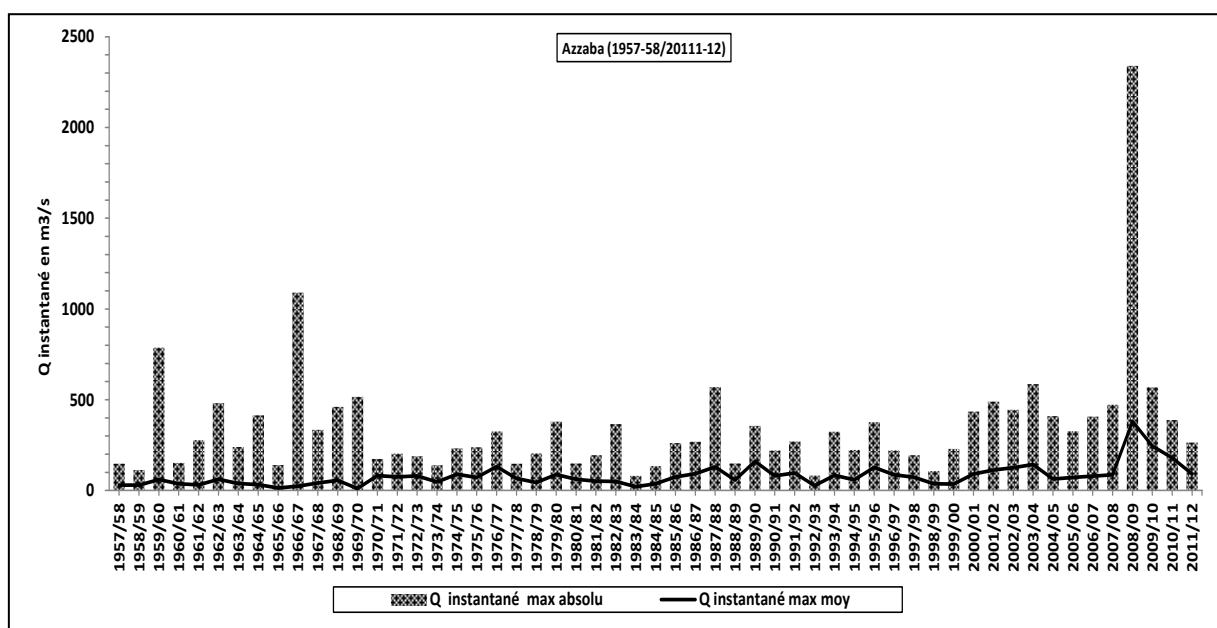


Figure. n°47: Débit instantané maximal annuel au niveau de Haut Sebou.

Cependant, après plusieurs années d'activités hydrologiques moins intenses, l'oued Sebou le 10 octobre 2008 a charrié une très forte crue où le débit instantané exceptionnel a augmenté jusqu'à $2340\text{m}^3/\text{s}$. Ce débit dépasse également 6 fois la moyenne de $380\text{m}^3/\text{s}$ en amont de l'oued Sebou à la station d'Azzaba (1957-58/2011-12). Ces quantités d'eau importantes déplacées de l'amont du bassin de Sebou vers l'aval, augmentent l'irrégularité hydrologique de l'oued Sebou. S'ajoute également le rôle des réservoirs karstiques qui peuvent régulariser le débit du Haut Sebou au Moyen Atlas durant les saisons hivernales et printanières, sans négliger la fonte nivale au mois de mars et avril, et l'effet des averses issues des situations orageuses en phase chaude de l'année.

• **Dans l'oued Inaouene** (Fig.n°48), nous avons observé que les apports hydrométriques enregistrés dans la station de Bab Marzouka entre 1970-71 et 2011-12, sont très élevés, De ce fait le débit absolu a atteint $1250\text{m}^3/\text{s}$ le 13 février 1979, qui dépasse 9 fois le débit moyen de $126,9\text{m}^3/\text{s}$. Cependant le débit instantané maximum absolu de la période s'est élevé à $1820\text{m}^3/\text{s}$ le 10 mars 2010 dépassant 4 fois la moyenne de $444,2\text{m}^3/\text{s}$. En amont du bassin d'Inaouène, à la station d'Echelhoub (1980-81/2011-12) la valeur la plus élevée atteigne $407\text{m}^3/\text{s}$, ce qui constitue 6 fois la moyenne de $66\text{m}^3/\text{s}$.

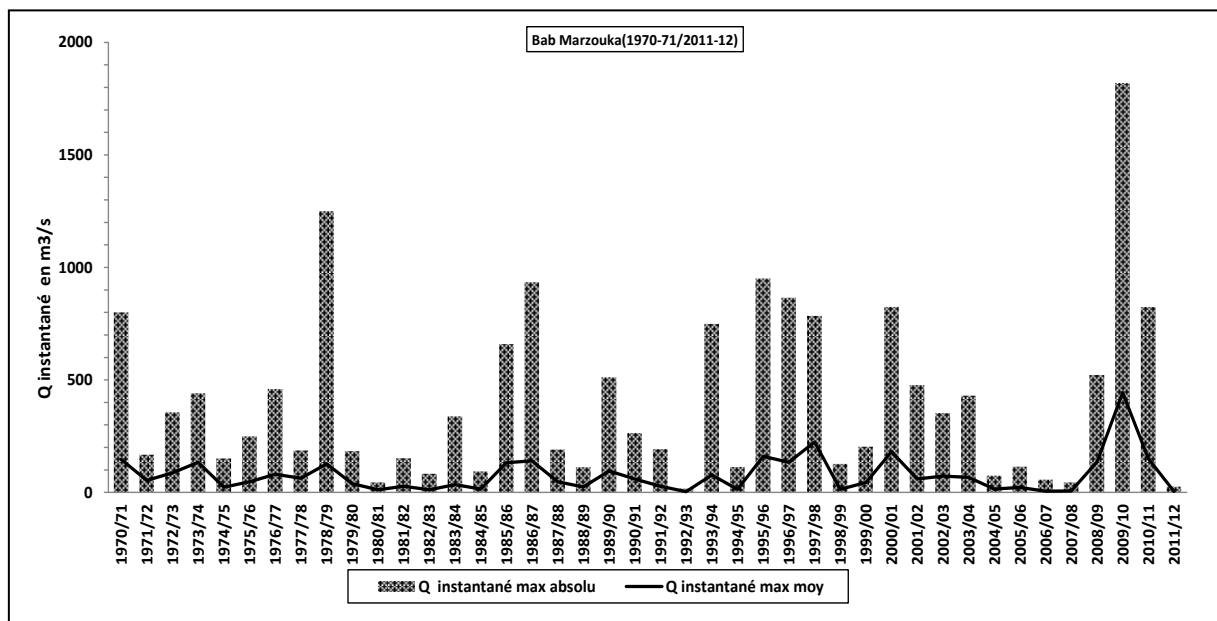
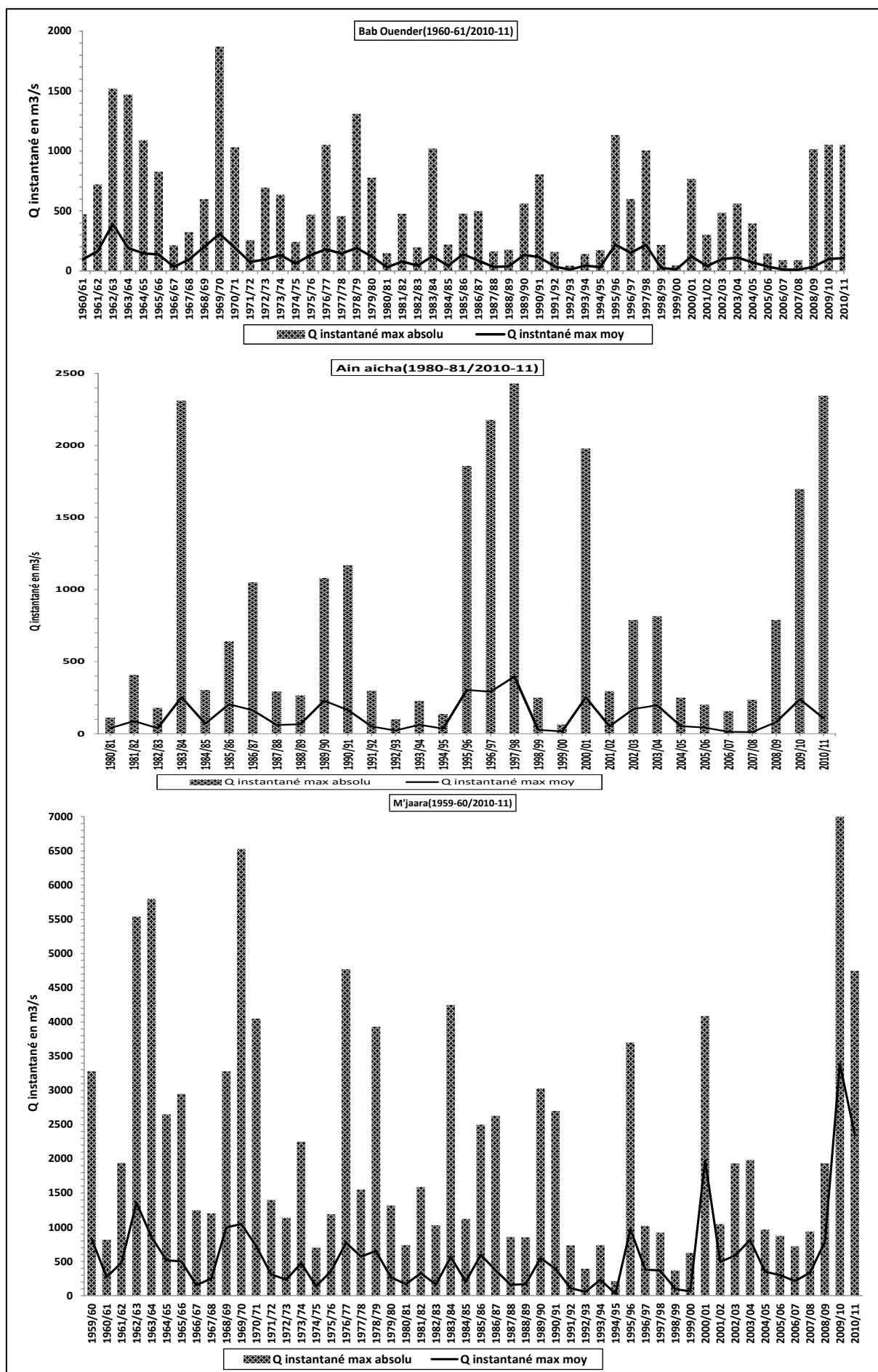


Figure. n°48: Débit instantané maximal annuel au niveau de l'oued Inaouene.

Ces apports d'eau sont dus d'une manière générale aux flux perturbés froids polaires provenant selon une trajectoire NO et SO. Le substratum lithologique imperméable du versant rifain constitué de fortes pentes est un élément amplificateur du volume des crues. Sans oublier les formations karstiques perméables qui renforcent le débit de l'oued Inaouene lorsque les réservoirs sont saturés au printemps. Ainsi ces débits montrent que le bassin de l'oued Inaouène drainant deux entités physiques différentes, Rif et Moyen Atlas, est un système hydrologique sensible à l'émergence des crues inondables depuis le versant rifain qui alimente la rive droite de l'oued Inaouène.

• **À l'oued Ouergha**, (Fig.n°49) le débit journalier maximum écoulé à la station de Bab Ouender, durant la période 1957-58/2011-12 s'élève à $1520 \text{ m}^3/\text{s}$ enregistré le 6 janvier lors des grandes crues de 1963 et $1870 \text{ m}^3/\text{s}$ le 12 janvier 1970, qui représente 6 fois le débit



Figures. n°49: Débit instantané maximal annuel au niveau de l'oued Ouergha.

moyen de $310\text{m}^3/\text{s}$. Suivie d'un autre écoulement extrême survenu en décembre de la même année avec $1470\text{m}^3/\text{s}$. également on a enregistré $1131,8\text{m}^3/\text{s}$ en 1995-96. Entre 2008 et 2011, le Haut Ouergha a connu également une intense activité hydrologique pendant laquelle il a reçu $1049\text{m}^3/\text{s}$ le 19 février 2010, dépassant 10 fois le débit moyen ($98\text{m}^3/\text{s}$).

Dans le domaine Prérifain, l'oued Ouergha à la station d'Ain Aicha (1980-81/2010-11) a drainé un débit instantané maximum absolu de $2310\text{m}^3/\text{s}$ le 18-12-1983, qui est supérieur 9 fois le débit moyen de $252,6\text{m}^3/\text{s}$. Après, il a écoulé aussi un débit maximum instantané de $2430\text{m}^3/\text{s}$ le 7 février 1998, qui dépasse 6 fois la moyenne hydrométrique ($397,3\text{m}^3/\text{s}$). Aux dernières décennies, le débit de crue le plus exceptionnel de l'oued Ouergha en amont était de l'ordre de $2345\text{m}^3/\text{s}$ produit le 30 novembre 2010.

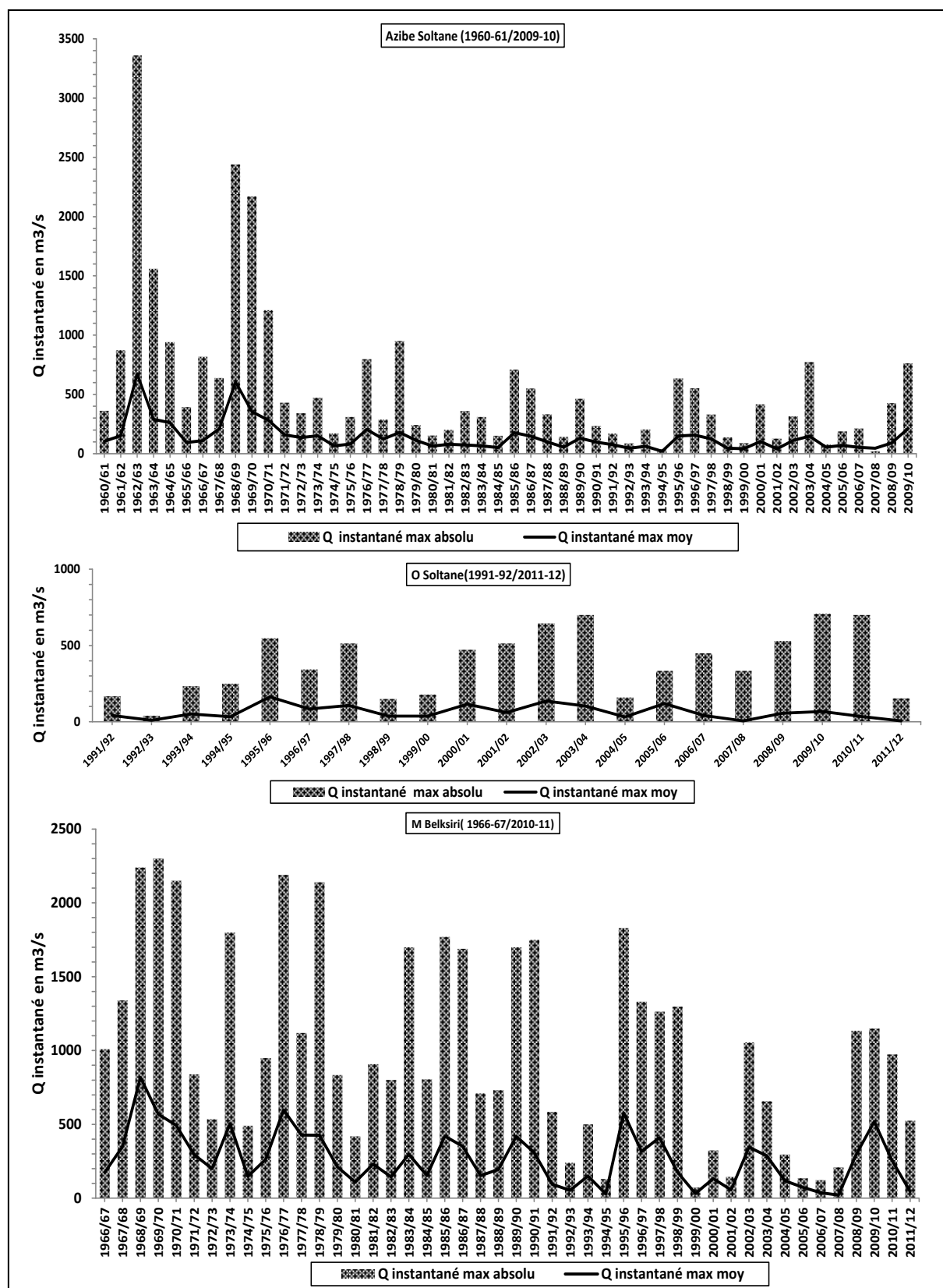
Au sein de l'exutoire du bassin, la station de M'jaâra a affiché un débit instantané maxima absolu de $6530\text{m}^3/\text{s}$ le 12 janvier 1970, qui est supérieur de 6 fois le débit maxima moyen de $1049,2\text{m}^3/\text{s}$. Cependant, en 2010 lors des phases pluviométriques intenses survenues durant l'hiver de cette année, le cours principal de l'Ouergha a reçu un débit maximum absolu de $7000\text{m}^3/\text{s}$ le 10 mars 2010, à l'entrée du barrage EL Wahda selon l'Agence Hydraulique du Sebou, avec un débit maximum instantané moyen de $3387\text{m}^3/\text{s}$.

En fin de compte, après l'analyse des débits instantanés maximums absolus et moyens de l'oued Ouergha, nous pouvons dire que le bassin de l'Ouergha fournit des quantités hydrométriques volumineuses déplacées vers l'aval du bassin versant de Sebou. Ces débits constituent une véritable menace pour la plaine du Gharb. À titre d'exemple, l'abondance pluviométrique en 2009-10 a obligé l'écêtement du barrage Al Wahda qui a submergé une grande partie de la plaine

• **Dans le Moyen Sebou, oued Beht et Gharb** (Fig.n°50), la quantité hydrométrique instantanée maximale absolue reçue au Moyen Sebou au niveau de la station d'Azib Soltane (1960-61/2009-10), est de $3360\text{m}^3/\text{s}$ en janvier 1963, qui est supérieur 5fois le débit moyen de $674,4\text{m}^3/\text{s}$, ainsi on a relevé $2440\text{m}^3/\text{s}$ en février 1969. Aux dernières années, les débits maximaux instantanés absolus ont diminué à cause de la mise en place des barrages en amont du bassin. À la station d'Oueljet Soltane (1991-92/2011-12) oued Beht a enregistré un débit instantané absolu de $708\text{m}^3/\text{s}$ le 24 décembre 2009, ce qui dépasse 10 fois la moyenne hydromé-trique ($67\text{m}^3/\text{s}$). Mais avant cette période l'oued a charrié une crue exceptionnelle qui atteint un débit maximum instantané de $1640\text{m}^3/\text{s}$ en 1989/90 ce qui dépasse 4 fois la moyenne des maxima ($333\text{m}^3/\text{s}$). Les années hydrologiques responsables de la genèse des crues inondables, sont également nombreuses. Ces valeurs extrêmes sont dues essentiellement à la bonne exposition du bassin à l'influence des masses d'air humides atlantiques.

Dans la plaine du Gharb, l'oued Sebou au niveau de la station de Mechrâa Belksiri (1966-67/2010-11) a enregistré un débit instantané maximal absolu de $2300\text{m}^3/\text{s}$ en janvier 1970 dépassant 4 fois le débit instantané maxima moyen de $568,8\text{m}^3/\text{s}$. Le 10 mars 2010,

malgré la protection du barrage AL Wahda, la station a reçu un débit d'écêtement de 1149 m³/s avec un débit moyen de 518,9m³/s, ce qui n'a pas empêché la production des inondations dans le Gharb.



Figures. n°50: Débit maximum instantané annuel au Moyen Sebou, Beht et Gharb.

En effet, cette plaine est fréquemment menacée lors des fortes crues par la submersion des zones riveraines de l'oued Sebou, surtout avant la construction du barrage Al Wahda. À titre d'exemple, on évoque les crues exceptionnelles de $1260\text{m}^3/\text{s}$ en 1962-63, $2150\text{m}^3/\text{s}$ en 1969-70, $2130\text{m}^3/\text{s}$ en 1970-71, $2080\text{m}^3/\text{s}$ en 1976-77, $2070\text{m}^3/\text{s}$ en 1978-79 et $1648\text{m}^3/\text{s}$ en 1995-96..... Après la construction du barrage Al Wahda en 1996-97, les inondations dans le Gharb ont diminué. Cependant actuellement avec l'envasement du barrage, les écrêtements peuvent causer des inondations comme ce qui s'est passé pendant les deux années 2008-09 et 2009-10.

Le Gharb est un carrefour des écoulements du bassin versant de Sebou (Ouergha, Lébène, Inaouene, et Beht ...), dont, une grande partie provient du versant rifain qui offre une topographie rigoureuse et un substrat imperméable facilitant le déplacement des grands volumes d'eau lors des crues vers l'aval. En général, toutes les quantités d'eau très importantes du bassin versant du Sebou, ont un impact sur l'aval du bassin et précisément sur la plaine du Gharb, qui reste la zone la plus vulnérable face aux risques hydroclimatiques que représentent les crues et les inondations de l'oued Sebou et ses principaux affluents.

1.3.2.2. Date des débits maximaux instantanés observés

Les débits maximums instantanés observés de l'oued Sebou et de ses principaux affluents, reflètent la variabilité de l'écoulement due à des différentes caractéristiques météorologiques, topographiques et géologiques des sous-bassins versants de Sebou (Tab. n°36):

Tableau. n°36: Les débits maximaux observés de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.

Cours d'eau	Stations	Période d'observation	S km ²	Q (m/s)	Q _m (m/s)	q (l/s km ²)	A=Q/ √S	Q/Q _m	Date
Haut Sebou	Azzaba	(1957-58/ 2011-12)	4460	2340	13,3	524,7	35,0	175,6	10-10-2008 à 18 h
Inaouene	Bab Marzouka	(1970-71/ 2011-12)	1500	1820	3,9	1213,3	47,02	466,6	07-03 -2010 à 06h
	Bab Echehoub	(1987-88 /2006-07)	989	409	2,7	413,5	13	151,4	27-09-2000 à 15 h
Ouergha	Ain Aicha	(1980-81/ 2010-11)	2460	2430	21,7	787,8	49	111,9	07-02-1998 à 06 h
	Bab Ouender	(1960-61/ 2011-12)	1756	1870	11,1	644	27	101,5	24-01-1996 à 03 h
	M'jaâra	1959-60/ 1996-97	6190	7000	23	1130,9	88,9	304,3	10-3-2010
Moyen Sebou	Azib Soltane	(1960-61/ 2006-07)	16150	3360	12,1	208	26,4	277,7	8-1-1963
Beht	O Soltane	(1990-91/ 2011-12)	2311,3	708	6,52	306,3	14,7	108,6	24-12-2009 à 23 h
Bas	M	(1966-67/	25487	2300	82,7	90,2	14,4	27,8	12-01-1996

Sebou	Belksiri	2011-12)						à 18 h

• **Au Haut Sebou**, le débit maximal a atteint $2340 \text{ m}^3/\text{s}$ observé le 10 octobre 2008 à 18 h, et se place comme valeur la plus élevée dans le Haut Sebou depuis le début des observations. Dans ce domaine, la crue au niveau de la station d'Azzaba a enregistré un débit spécifique plus élevé de $524,7 \text{ l/s/km}^2$ avec un coefficient **A** de 35 sur une aire de 4460 km^2 . Les conditions météorologiques qu'a générées ce débit journalier de crue exceptionnel jamais enregistré depuis le début de mesure, sont tributaires à une activité orageuse virulente au-dessus de montagnes du Moyen atlasique, ce qui donne 64mm en deux jours (9-10 octobre 2008). Bien que le substrat calcaire régularise l'écoulement, mais l'intensité et la concentration spatiale et temporelle sont responsables de cette crue maximale.

• **Au Beht**, la crue maximale instantanée de $708 \text{ m}^3/\text{s}$ observé le 24 décembre 2009 à 23h est la plus élevée au bassin dans la série étudiée. Le débit spécifique de cette crue a atteint $306,3 \text{ l/s/km}^2$, et le coefficient **A** n'est que 14,7 car l'oued Beht à la station de l'Oueljet soltane, draine une surface de $2311,3 \text{ km}^2$. En effet, ce bassin versant a été influencé entre le 16 et 24 décembre 2009 par une situation atmosphérique pluvieuse d'origine OSO. L'espace isobarique était marqué par la présence en altitude d'une vaste ondulation du courant-Jet qui a permis à l'air polaire d'atteindre le Nord du Maroc, avec la présence d'un centre dépressionnaire au large du Portugal. Ce flux a apporté 165mm, en plus le bassin referme un espace karstique très large qui joue un rôle de modération très important des apports d'eau écoulés.

• **À l'oued Inaouene**, qui draine la zone intermédiaire entre deux domaines structuraux Moyen Atlas karstique au Sud-Est, et le Rif et Prérif au Nord, le débit maximum instantané a monté à $1820 \text{ m}^3/\text{s}$ le 07-03-2010 à 06h à la station de Bab Marzouka (1500 km^2) et à $409 \text{ m}^3/\text{s}$ le 27-09-2000 à 15h à la station de Bab Echehoub (989 km^2). Pour la station de Bab Marzouka, le débit spécifique le plus élevé est de $1213,3 \text{ l/s/km}^2$, ce qui nous donne un coefficient **A** assez élevé de 47,02, mais demeure respectable par rapport aux chiffres de l'oued Ouergha et du Haut Sebou. Sachant que la station de Bab Echehoub est située dans le domaine rifain, elle a enregistré un débit spécifique de $413,5 \text{ l/s/km}^2$ moins élevé par rapport aux autres affluents de l'oued Sebou.

La situation météorologique responsable de la genèse de cette crue du 07-03-2010 est d'origine NO, suite la présence d'une dépression très creuse au Nord du Maroc, sous l'effet d'une vallée froide en altitude qui a donné des quantités pluviométriques très importantes ; 63,8 mm du 06 au 07mars 2010. Pour la crue de 27-09-2000, elle est de caractère orageux qui a apporté des quantités pluviométriques importantes sur les montagnes rifaines. Sans oublier la présence d'un substrat argilo-marneux imperméable et des pentes raides qui accélèrent les écoulements vers l'aval du bassin.

• **À l'oued Ouergha**, le débit maximum instantané s'est élevé à $2430 \text{ m}^3/\text{s}$ à 06h le 07-02-1998 à la station d'Ain aicha (2460 km^2), ce qui dépasse 111,9 fois le module annuel. Plus

en amont, à la station de Bab Ouender (1756km^2) le 24-01-1996 à 03h le Haut Ouergha a connu son débit instantané maximal de la période étudiée avec $1870\text{m}^3/\text{s}$, faisant 166,9 fois le module. Cependant durant l'année très humide de 2009-10 après plusieurs crues en hiver hydrologique de cette année, le débit maximum instantané d'oued Ouergha à l'entrée du barrage EL Wahda a augmenté jusqu'à $7000\text{m}^3/\text{s}$ le 10 mars 2010. Ainsi compte tenue les volumes considérables de l'écoulement au bassin de l'Ouergha, le débit spécifique à la station d'Ain Aicha est très élevé; $1783,3\text{ l/s/km}^2$, avec un coefficient **A** de 88,4 et $1130,9\text{ l/s/km}^2$ à la station de M'jaâra en aval avec un coefficient **A** de 88,9. En amont de l'oued Ouergha à la station de Bab Ouender, le débit spécifique de 644 l/s/km^2 est globalement modéré vu les capacités de rétention importantes du bassin.

Les causes de ces crues dans l'oued Ouergha sont dues aux flux atmosphériques perturbés d'origine NO et SO qui sont en rapport avec le creusement de vallées froides vers les latitudes marocaines. Ces vallées engendrent des dépressions d'origine atlantiques avec un déplacement de l'air polaire maritime vers le sud. Les pluies sont intenses dans le bassin de l'Ouergha pendant ces types de temps. S'ajoute aussi la composition lithologique du Rif marqué par la présence des roches meubles, ce qui augmente la rapidité de l'écoulement.

• **Au Moyen et en aval** du cours principal de l'oued Sebou, le débit maximum instantané au niveau de la station d'Azib Soltane a atteint $3360\text{m}^3/\text{s}$ le 8 janvier 1963, avec un débit spécifique de seulement 208 l/s/km^2 qui paraît évidemment beaucoup moins élevé par rapport aux débits enregistrés à l'oued Ouergha. Car à cette station le bassin s'étale sur une surface de 16150 km^2 . Par ailleurs, le débit maximal instantané de $2300\text{m}^3/\text{s}$ observé en janvier 1970 est le plus élevé en aval du Sebou. Avant la construction du barrage Al Wahda en 1997 les crues déferlant vers le bas Sebou ont causé des inondations très néfastes. Puisqu'une grande partie des volumes d'eaux écoulées durant les grandes crues se déversent au bord de l'oued Sebou qui sillonne la plaine du Gharb, le débit spécifique à Mechrâa Belksiri n'est que $90,2\text{ l/s/km}^2$, d'où un coefficient **A** de 14,4 seulement. Cela est également dû à l'augmentation de l'air récepteur du bassin à cette station (25487 Km^2).

En conclusion, les apports d'eaux des crues maximales de la période étudiée sont répartis au sein de l'année entre octobre et mars. Cependant les débits maximaux instantanés sont plus volumineux dans le bassin rifain qu'au Moyen Atlas à cause des différences climatiques et lithologiques existant entre ces deux systèmes physiques. Ces valeurs de débits sont principalement originaires de situations atmosphériques perturbées atlantiques glissant au sein de vallées froides constituées par des ondulations de courant-Jet subtropical en altitude.

1.3.2.3. Fréquence des débits maximaux instantanés

Les débits maximaux instantanés sont également traités par les lois statistiques fréquentielles que nous avons appliquées pour les pluies maximales journalières, en gardant la totalité de la série relative à chaque station. L'intérêt de cette étude est donc comme nous l'avons signalé de connaître la probabilité de retour des événements hydrologiques exceptionnels, au

sein du bassin de Sebou. Les résultats de cette approche sont reportés dans le tableau n°37 et la figure n°51 et 52:

Tableau. n°37: Débits maximaux instantanés selon des périodes de retours au bassin de Sebou.

Stations	Période d'observation	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Azzaba	(1957-58/2011-12)	311	524	665	800	975	1110
Ain Aicha	(1980-81/ 2010-11)	738	1560	2100	2620	3290	3800
Bab Ouender	(1960-61/2011-12)	500	887	1140	1390	1710	1950
M'jaâra	(1960-61/2010-11)	1500	2840	3740	4590	5700	6530
Bab marzouka	(1970-71/2011-12)	348	680	899	1110	1380	1590
Azib soltane	(1960-61/2009-10)	448	1010	1380	1740	2200	2540
M Belksiri	(1966-67/2011-12)	905	1520	1940	2330	2840	3220
O Soltane	(1991-92/2011-12)	349	549	682	809	974	1100

• **Dans le Haut Sebou**, à la station d'Azzaba, la chaîne du Moyen Atlas contribue de façon différente au système d'écoulement de l'oued Sebou à cause de l'importance de l'écoulement souterrain. En effet les valeurs de probabilité sont les plus bas par rapport aux autres bassins. Ainsi en 50 ans le débit maximum instantané probable s'établit à $975\text{m}^3/\text{s}$. De même, au niveau centennal, on a une probabilité d'atteindre une fois $1110\text{m}^3/\text{s}$.

• **Au niveau de l'oued Ouergha**, les valeurs correspondant aux périodes de retour retenues ci-dessous, indiquent clairement la supériorité des crues d'Ain Aicha et de Bab Ouender dans le bassin de l'Ouergha. Nous avons pour une période de retour de 5 ans; $1560\text{m}^3/\text{s}$ à Ain Aicha et $887\text{m}^3/\text{s}$ à Bab Ouender. Également en 50 ans, nous avons une probabilité d'atteindre $3290\text{m}^3/\text{s}$ à Ain Aicha et $1710\text{m}^3/\text{s}$ à Bab Ouender. Cependant en 100 ans les volumes d'eau qui peuvent être écoulés une fois à la station d'Ain Aicha frôlent $3800\text{m}^3/\text{s}$.

Néanmoins la puissance des flots de l'oued Ouergha ne peut être mesurée que par l'examen des débits maximaux instantanés de la station M'jaâra qui contrôle la totalité du bassin. Cette station a cessé de fonctionner depuis 1996, la date de fonctionnement du barrage EL Wahda, le plus grand barrage du Maroc. Avant cette date l'oued Ouergha avait charrié des volumes d'eau considérables aux années 1962-63, 1963-64 et 1969-70 avec un débit maximum instantané supérieur à $5500\text{m}^3/\text{s}$; $6530\text{m}^3/\text{s}$ le 12 janvier 1970. En 2010 le volume de la crue le 9 mars à l'entrée du barrage El Wahda était $7000\text{m}^3/\text{s}$.

Dans le souci de calculer les débits probables de retour à cette station nous avons effectué une corrélation entre les débits maximaux d'Ain Aicha avec celles de M'jaâra selon une période de référence où les deux stations sont en activité en même temps, afin d'estimer les débits entre 1996-97 et 2010-2011. Les résultats de la corrélation sont très bons puisqu'on a eu un coefficient de 0,95, ce qui nous a encouragé à compléter notre série d'observations

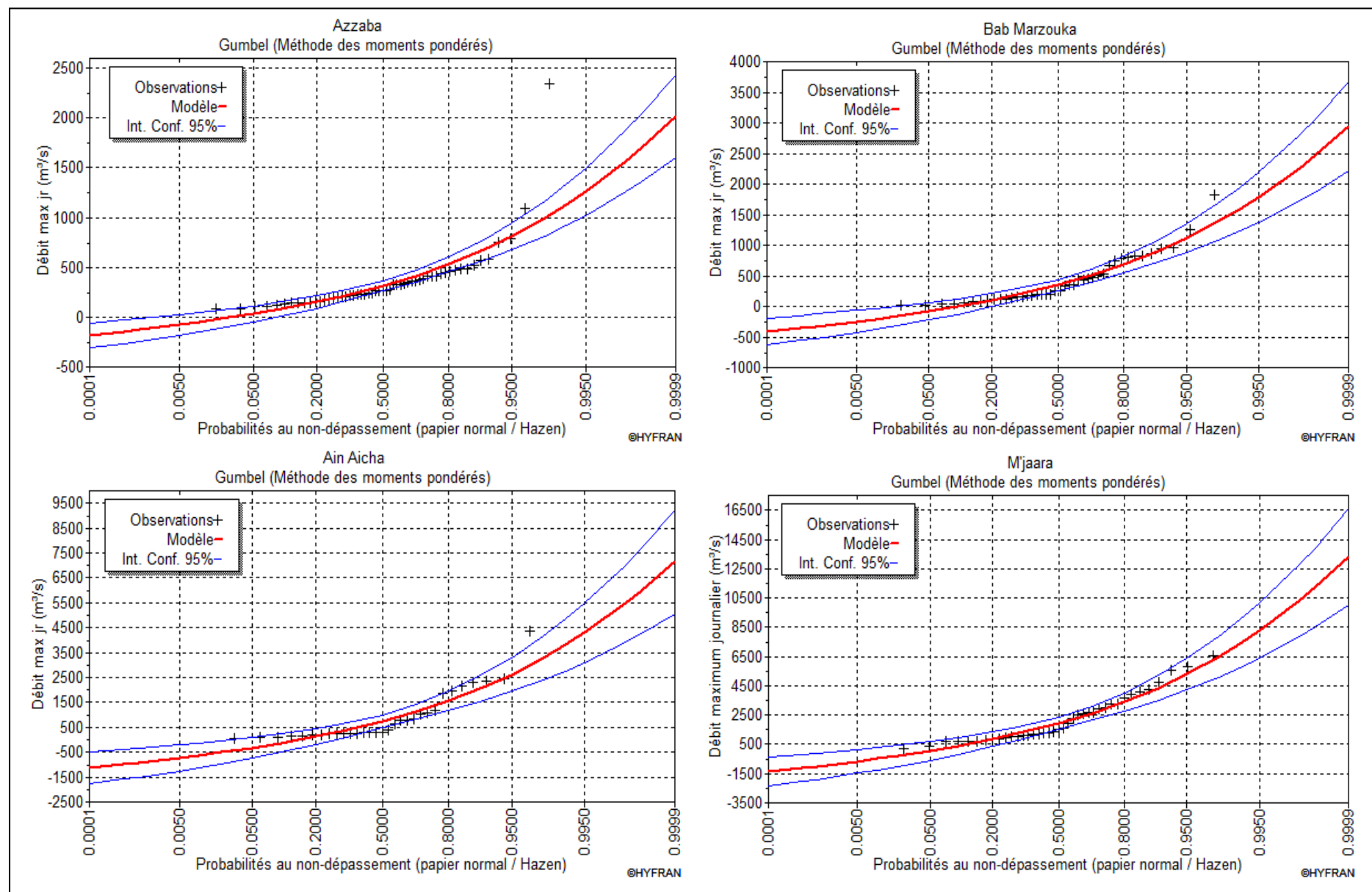
jusqu'à cette date. Ainsi les valeurs fréquentielles de retour pour la période 1959-60/2010-11 montrent que le débit maximum instantané peut atteindre des niveaux impressionnants: par exemple $4885 \text{ m}^3/\text{s}$ une fois tous les 10 ans, $7482 \text{ m}^3/\text{s}$ en 50 ans et $8580 \text{ m}^3/\text{s}$ en 100 ans. Suite à ces résultats, le versant rifain apparaît comme la partie la plus productive en apports d'eau et connaît les crues les plus graves du bassin de Sebou. Ceci est lié à la sensibilité des montagnes rifaines aux intensités pluviométriques apportées par la bonne exposition aux flux de NO et de SO qui sont bien chargés en humidité atlantique.

• **À oued Inaouene**, la station de Bab Marzouka mesure le drainage d'une zone intermédiaire entre le Prérif et le Moyen Atlas. Au niveau cinquantennal, on peut enregistrer une fois $1380 \text{ m}^3/\text{s}$. Le Rif semble la partie la plus généreuse en apports d'eau, au contraire, le secteur Moyen-atlasique est une zone karstique caractérisée par la perméabilisation des formations géologiques et la régularisation de l'écoulement pendant la saison froide. C'est pour cette raison que le débit centennal à la station apparaît moins élevé au cours de la saison froide; $1590 \text{ m}^3/\text{s}$.

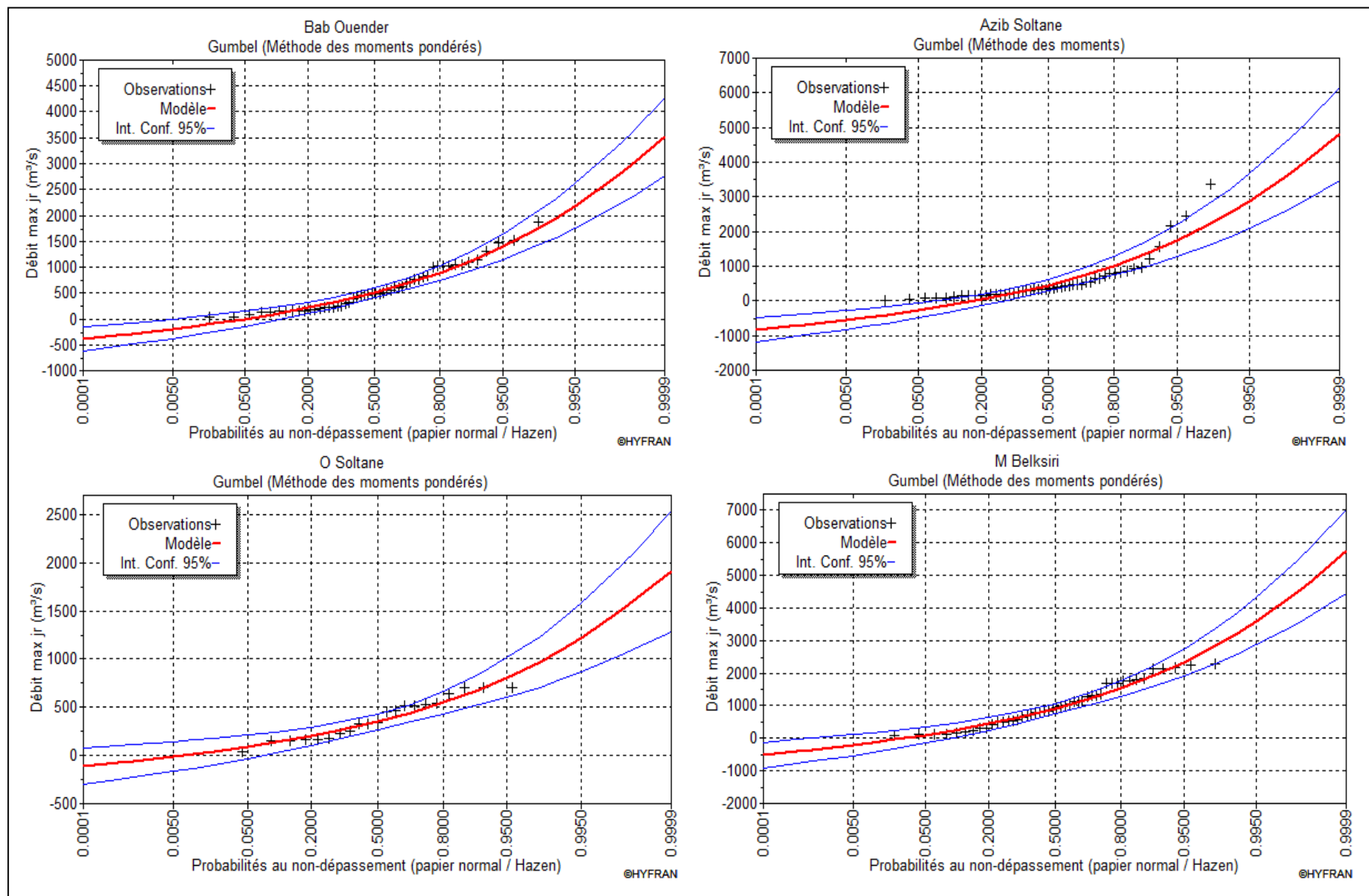
• **Au Moyen Sebou, Beht et le Gharb**, la station Azib Soltane a enregistré un débit maximum instantané assez élevé au niveau quinquennal; $1010 \text{ m}^3/\text{s}$ et pour une période de récurrence de 50 ans; $2200 \text{ m}^3/\text{s}$. La situation hydrologique au Moyen Sebou se caractérise par l'influence des barrages qui modifient l'écoulement naturel du bassin durant les dernières décennies.

À la station d'Oueljet Soltane, le Moyen Atlas contribue de façon différente dans le système d'écoulement de l'oued Beht. Au niveau cinquantennal, on peut enregistrer un débit maximum instantané de $974 \text{ m}^3/\text{s}$ et au niveau centennal, $1100 \text{ m}^3/\text{s}$. Le bassin de l'oued Beht étant exposé au Nord-Ouest, il bénéficie de manière optimale aux perturbations qui ont suivi une trajectoire ONO et de ce fait, cela se répercute bien entendu sur son activité hydrologique.

Concernant la zone du Gharb, le débit maximum instantané à Mechrâa Belksiri apparaît assez élevé pour une station qui se trouve en aval du bassin et collecte les apports d'eau provenant des montagnes rifaines et moyen-atlasiques. En 5 ans les débits probables de retour sont $1520 \text{ m}^3/\text{s}$, en 20 ans l'écoulement instantané maximal peut atteindre $2330 \text{ m}^3/\text{s}$ et en 100 ans, $3220 \text{ m}^3/\text{s}$. Il faut signaler ici que depuis plusieurs années, l'écoulement naturel est modifié par le fonctionnement des barrages Idriss I et El Wahda qui est destiné à l'irrigation et à la protection contre les inondations. Ces retenues artificielles stoppent les crues des oueds, mais peuvent effectuer des écrêtements afin de gérer les grandes crues lors des années pluviométriques exceptionnelles, comme en 2008-09 et 2009-10, ce qui n'a pas empêché malheureusement la submersion de la plaine du Gharb par les inondations au cours de ces deux années.



Figures. n°51: Périodes de retour des débits instantanées maximums de Haut Sebou et oued Ouergha.



Figures. n°52: Périodes de retour des débits instantanées maximums de l'oued Inaouene, Moyen et Bas Sebou.

1.4. Régime des crues dans le bassin de Sebou

Le but de cette étude est de présenter la fréquence des crues et leur répartition mensuelle et saisonnières. Tout d'abord nous avons déterminé les phases de crues en considérant 5 fois le module (adaptée dans les zones semis-sèches). Cela nous permet de connaître selon les sous-bassins versants les mois et les saisons qui sont les plus sensibles à ses intumescences hydrologiques dans le bassin de Sebou.

1.4.1. Répartition mensuelle des crues

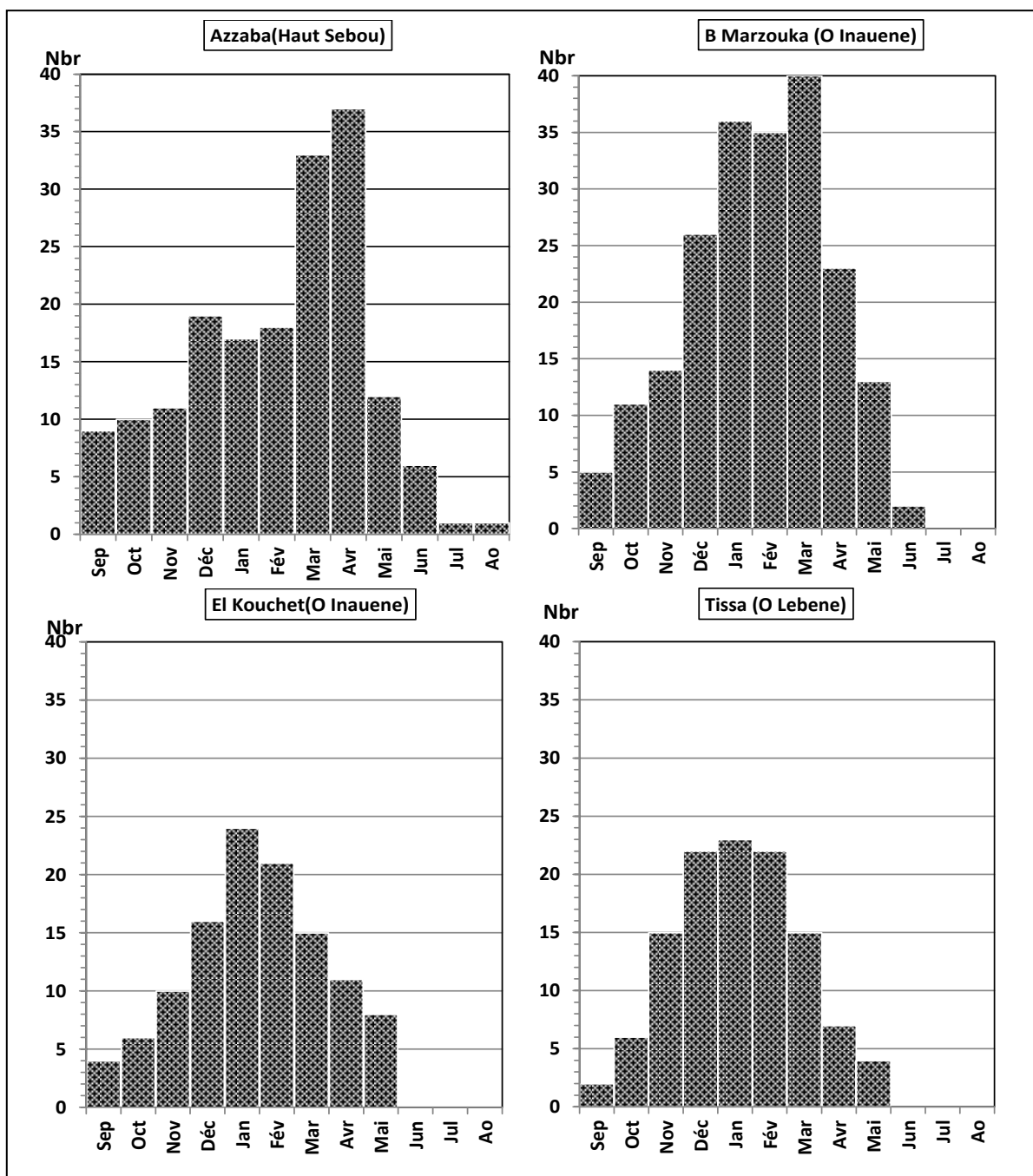
L'étude statistique des crues du bassin versant de Sebou, permet de connaître la répartition mensuelle des crues dans l'année hydrologique. En recensant les crues parvenues dans chaque mois de l'année, nous avons pu dégager la répartition suivante (annexe. n°4):

1.4.1.1. Les crues du Haut Sebou et Inaouene

À première vue (Fig. n°53), nous avons remarqué que les crues se concentrent exclusive-ment dans une période qui va du mois de septembre (5,2%) au mois de mai (6,9%). Au bassin du Haut Sebou les crues sont plus fréquentes au printemps principalement en mars et avril. Ces deux mois représentent la phase de vidange des réservoirs karstiques, ce qui augmente la probabilité de remontée de débits lors des événements pluvieux sur le bassin avec 19 et 21% pour ces deux mois. Néanmoins, la fréquence des crues a diminué en Hiver en raison de l'effet d'abri aérologique que connaît le bassin pendant cette saison dominée par les flux perturbés atlantiques, 10,9% seulement en décembre. En automne par contre on ressent qu'il y a une importance visible des crues à cause de l'activité orageuse qui est plus marquée dans le secteur moyen-atlasique.

Pour le bassin d'Inaouene, les crues à la station d'El Kouchet, Bab Marzouka et Tissa sont plus concentrées en hiver. Le mois de janvier est le plus fréquent en crue; 20,9% à El Kouchet (1975-76 et 2001-02), 19,8% à Tissa (1985-86/2010-11) et 19,4% en mars à Bab Marzouka (1970-71/2011-12). Ensuite, les mois de décembre et février semblent aussi importants; nous avons respectivement pour les trois stations, 18,3% en février, 19,4% en décembre et 17,5 % en janvier. Dans le Haut Inaouene à la station de Bab Marzouka les crues hivernales sont bien soutenues par les crues printanières, car c'est le mois de mars qui a le plus grand nombre de crues dans ce bassin; 39 crues, cela est dû à l'apport régulier en eau provenant du Moyen Atlas. Cependant à El Kouchet en aval et à oued Lebène à Tissa Boukarkour, le printemps cède la place à l'hiver, qui a enregistré plus de 15 crues en décembre, janvier et février; plus de 20 crues pour ces deux derniers mois aux deux stations.

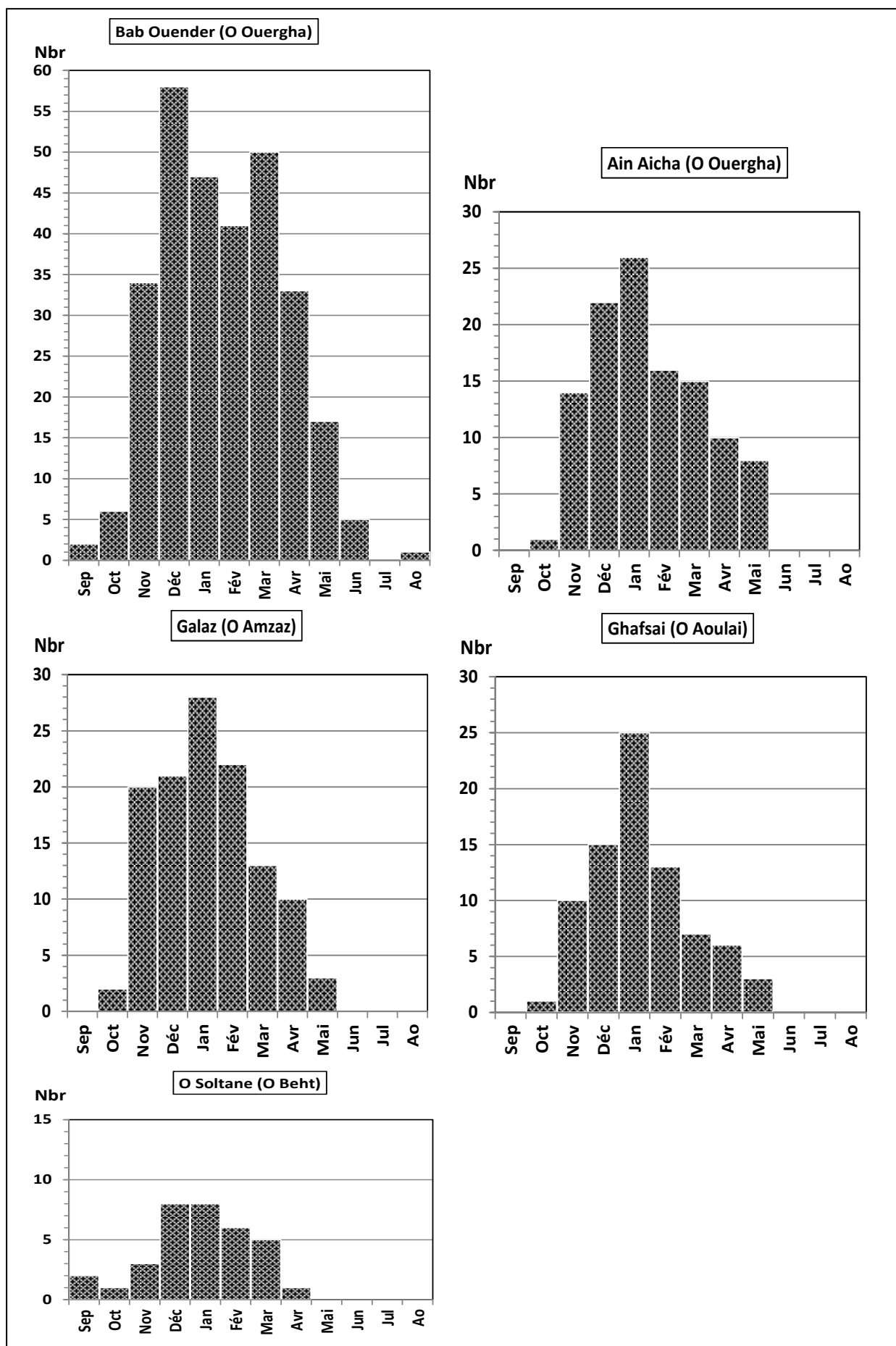
Ainsi, le rythme hydrologique des crues commence timidement en automne, mais enregistre un pic en hiver, la saison au cours de laquelle le bassin est influencé par les flux perturbés humides atlantiques.



Figures. n°53: Le nombre de crues mensuelles dans le Bv de Haut Sebou et Inaouene.

1.4.1.2. Prédominance des crues hivernales au bassin de l'Ouergha et Beht

Les crues observées aux stations du bassin versant de l'Ouergha (Fig. n°54), nous ont permis de dégager la prédominance de la saison hivernale. D'après JANATI IDRISSE, A (2004), les crues du bassin s'inscrivent dans un système hydro-pluvial, entre septembre et mai, mais avec une fréquence accrue en hiver, d'où ils enregistrent une fréquence de 19,7% en décembre à Bab Ouender, 31,3% en janvier à Ghafsai sur l'oued Aoulai, 23,2% à Ain Aicha sur l'oued Ouergha, puis 23,5% à Galaz sur l'oued Amzaz. La saison printanière se classe en deuxième position avec des taux qui oscillent entre 2,5% et 17% au sein desquels le nombre des crues est plus important en mars; 17% de crues à Bab Ouender, 8,8% à Ghafsai, 10,9% à Galaz et 13,4% à Ain Aicha.



Figures. n°54: Le nombre de crues mensuelles dans le Bv de l'Ouergha et Beht.

En automne qui représente la phase du démarrage du cycle hydrologique annuel, les taux des crues sont beaucoup moins importants par rapport à l'hiver et au printemps, entre 0,68 et 12,5%. Ces phénomènes hydrologiques étant presque absents en septembre, mais apparaissent en octobre pour se renforcer progressivement entre novembre et décembre.

Il faut noter que la station de M'jaâra a cessé de fonctionner en 1996-97 après la construction du barrage Al Wahda. D'après JANATI IDRISSE. A (2017), cette station avait connu des crues très importantes 23,9% en janvier, 18,2% en février. Cela montre la sensibilité accrue du système hydrologique de l'oued Ouergha à l'égard des crues hivernales. Ceci est en relation avec les crues de nature violent issues des montagnes rifaines grâce à l'effet du substrat géologique et topographique, ensuite à la bonne exposition des versants du bassin face aux influences maritimes humides en hiver. En effet, il ne faut pas négliger l'impact des formations argilo-marneuses de caractère imperméable, et les fortes pentes qui contribuent à renforcer la rapidité du drainage sur l'oued Ouergha et ses affluents rifains.

En ce qui concerne l'oued Beht au versant moyen-atlasique, les crues à la station d'Oueljet Soltane (1991-92/2011-12) se manifestent de septembre à avril avec un maximum en décembre et janvier représentant un taux de 23,5%. Il faut signaler que dans ce bassin l'apport du printemps en nombre de crues est assez important, en raison du soutien des débits par les résurgences surtout au mois de mars. Ainsi le bassin a reçu un nombre de crues très important en hiver, avec des taux qui varient entre 17,6 et 23,5% à cause d'une influence marquée des vents marins pluvieux de SO et de NO. Cependant, les phénomènes orageux d'été semblent moins fréquents dans ce milieu, car aucune crue importante n'est enregistrée pendant cette saison au niveau de cette station.

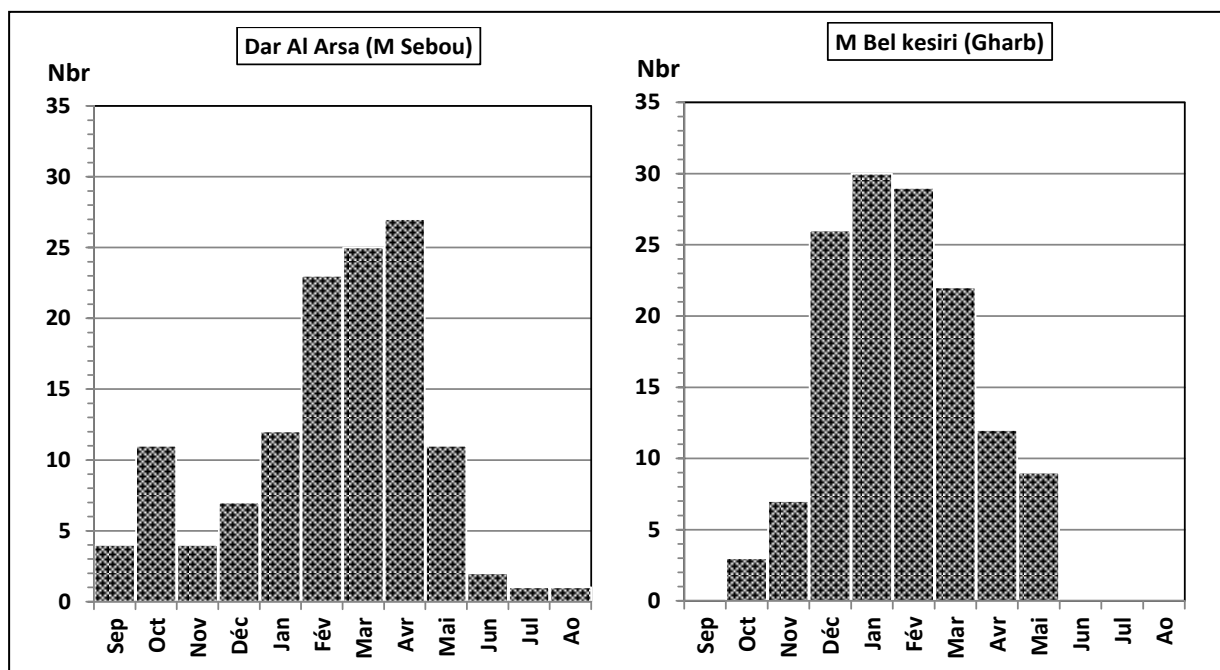
1.4.1.3. Régime des crues au Moyen Sebou et la plaine du Gharb

Le comportement hydrologique se complique un peu (Fig. n°55), car l'oued Sebou y intègre différents facteurs influençant son écoulement naturel en particulier les installations hydrauliques.

C'est ainsi que le nombre de crue se trouve diminué à la station Dar Al Arsa (1970-71 /2011-12). Cependant le régime des crues est influencé par la retenue du barrage Idriss I. Ainsi les crues semblent plus fréquentes pendant la saison printanière où les lâchés d'eau du barrage rentre en activité avec un taux de 19,5% en mars.

Au niveau de la plaine du Gharb, les crues se manifestent d'octobre à mai avec un taux maximum de 21,7% en janvier et un minimum de 2,2% en octobre. La plaine du Gharb a reçu d'abord un nombre très important de crues en hiver qui varie entre 18,8% en décembre et 21,7 en janvier. Par ailleurs, les crues printanières sont assez importantes et représentent entre 6,5% en mai et 15,9% en mars. Il faut signaler dans ce domaine que le débit de l'oued Sebou

en aval, est influencé notablement par l'écêtement des divers barrages situés en amont du bassin (Barrage Al Wahda, Idriss I et Allal AL fassi ...)



Figures. n°55: Le nombre de crues mensuelles dans le Moyen Sebou et Gharb.

1.4.2. Régime saisonnier des crues

La répartition des crues au niveau saisonnier nous a permis de dégager les saisons les plus productives des crues, et qui ont menacé les biens et les personnes dans le bassin de Sebou (annexe. n°4):

1.4.2.1. Crues d'automne plus fréquentes au secteur Moyen-atlasique

Les crues de la saison automnale se produisent le plus fréquemment en septembre et en novembre. En septembre l'activité orageuse est un facteur de genèse de crue au début de cette saison. En novembre, c'est le début de la circulation polaire et les contrastes thermiques entre les masses d'air, sont les plus importants d'où une forte intensité pluviométrique.

Au Haut Sebou et bassin d'Inaouene, les crues du Haut Sebou à la station d'Azzaba représentent 17,2% du nombre global de la période étudiée. Pour l'oued Inaouene, la station d'El Kouchet a reçu 17,4% de crues et 19,8% à Tissa, et 14,5% à Bab Marzouka pour les diverses périodes étudiées. Ces crues se produisent d'une part des activités orageuses dans le Moyen Atlas, mais le plus important, sont les pluies liées à la frontogénèse accompagnant le déplacement vers l'Est des dépressions atlantiques.

Dans l'oued d'Ouergha, la station d'Ain Aicha a enregistré 13,4% de crues, 18,5% à Galez, 14,3% à Bab Ouender, 8,8% à M'jaâra et 13,7% à Ghafsai. Les sommets des montagnes rifaines (Jbel Ouedka) peuvent connaître des orages pendant cette période de

l'année. Mais les intensités pluviométriques des flux perturbés humides atlantiques et le rôle du substrat imperméable (les marnes des miocènes), sont des éléments qui expliquent l'augmentation du nombre des crues automnales.

Au Moyen Sebou, Gharb et Beht, nous constatons à la station de Dar Al Arsa, que les crues de cette saison représentent 14,8%, mais seulement 10% à la station de Mechrâa Belksiri. Comme nous l'avons évoqué le débit de ces deux stations sont affecté par les opérations d'écrêtement du barrage Idriss I et El Wahda qui modifient l'écoulement naturel de l'oued Sebou. Dans le bassin versant de l'oued Beht, à la station Oueljet Soltane, le nombre des crues est assez faible par rapport aux autres stations du Sebou; 6% selon les différentes périodes étudiées. La baisse des altitudes, le substrat perméable et les sols desséchés depuis l'été précédent, sont des facteurs que ne permettent pas un fort écoulement du bassin.

1.4.2.2. Crues hivernales prédominant dans la zone rifaine

Dans le Haut Sebou les crues dépendent de l'intensité des événements pluvieux de la saison hivernale. À la station d'Azzaba, elles représentent 31% et sont virulentes en décembre et février suite à une activité cyclonique importante sur les montagnes du Moyen Atlas. Mais également à l'apport des sources karstiques qui régularisent l'écoulement. Dans le bassin d'Inaouene, les crues hivernales représentent 53,1% à la station d'El Kouchet, 57,8% à Tissa, et 47,6% à Bab Marzouka. Cela traduit l'influence des flux humides NO et Nord, ainsi que le rôle des formations géologiques imperméables (argiles et marnes) sur les versants rifains, ce qui accélère l'écoulement de l'oued Inaouène, et ses affluents Larbaa et Lahdar pendant les séquences les plus pluvieuses.

À oued Ouergha, le nombre de crue de l'hiver représente 57,1% à Ain Aicha, 49,67% à Bab Ouender, 59,6% à Galaz, 66,25% à Ghafsai et 59,7% à M'jaâra. Ces taux supérieurs à 49 % indiquent la sensibilité du bassin d'Ouergha aux crues hivernales. Car situé au Nord du Maroc, le versant sud de la chaîne rifaine se trouve bien exposé aux flux perturbés atlantiques lors du passage des circulations cycloniques en particulier pendant cette saison.

Au Moyen Sebou, Gharb et Beht, les crues hivernales participent avec 32,9 % du total à la station Dar El Arsa, mais 61,5% à Mechrâa Belksiri et 64,6% à la station d'Oueljet Soltane. Ces taux élevés sont en relation avec l'activité des barrages qui modifient le régime d'écoulement durant l'année.

1.4.2.3. Crues printanières plus virulentes dans le Haut Sebou et Inaouene

Les crues de cette saison se caractérisent par des durées et des extensions spatiales plus faibles que celles des crues de la saison hivernale. Elles sont liées parfois à des averses localisées et limitées dans le temps.

Dans le Haut Sebou, les crues printanières sont les plus fréquentes; 47,2% à la station d'Azzaba. Ces crues sont renforcées par la fonte des neiges sur les sommets montagnards et par l'activité des sources. À l'oued Inaouene, elles constituent un taux assez élevé à Bab Marzouka, 36,9%, mais cette fréquence diminue à El Kouchet en aval, 19,6%, et à Tissa sur l'oued Lebène, 25,4%. Cependant en amont d'oued Ouergha, on ressent une légère augmentation; 34% à Bab Ouender et 29,4% à Ain Aicha. Plus en aval, on a enregistré entre 21% et 32% aux stations Galaz, Ghafsai et M'jaâra.

Au Moyen Sebou, Gharb et Beht, ces crues à Dar Al Arsa atteignent 29,2%, 31,1% à Mechrâa Belksiri. À l'oued Beht leur contribution est moins importante, 17,6% à la station Oueljet Soltane. Dans ce domaine la fréquence des crues est atténuée au printemps, à l'exception du mois de mars qui connaît un nombre important de crues en raison de la fonte nivale au sommet du Moyen Atlas et l'influence du barrage Idriss I et Al Wahda.

En général, quelques remarques doivent être formulées dans ce régime saisonnier des crues. Bien que celles-ci soient très faibles en été, on a relevé 4,6% à Azzaba au Haut Sebou et 2% de crues à Bab Ouender dans le Haut Ouergha. En fait elles sont liées aux orages de convection et d'instabilité thermodynamique d'altitude sur les sommets du Moyen Atlas et du Rif. Par ailleurs, les crues du bassin de Sebou sont de durées variables selon les années, mais leur fréquence est plus importante en saison hivernale en raison de la longueur des épisodes pluvieux et les volumes d'eau tombés. On a constaté aussi à l'amont que janvier est le mois le plus fréquent en crue au sein de l'année grâce aux maxima pluviométriques enregistrés pendant cette période, qui coïncide avec le déplacement le plus au sud de la circulation polaire aux latitudes marocaines.

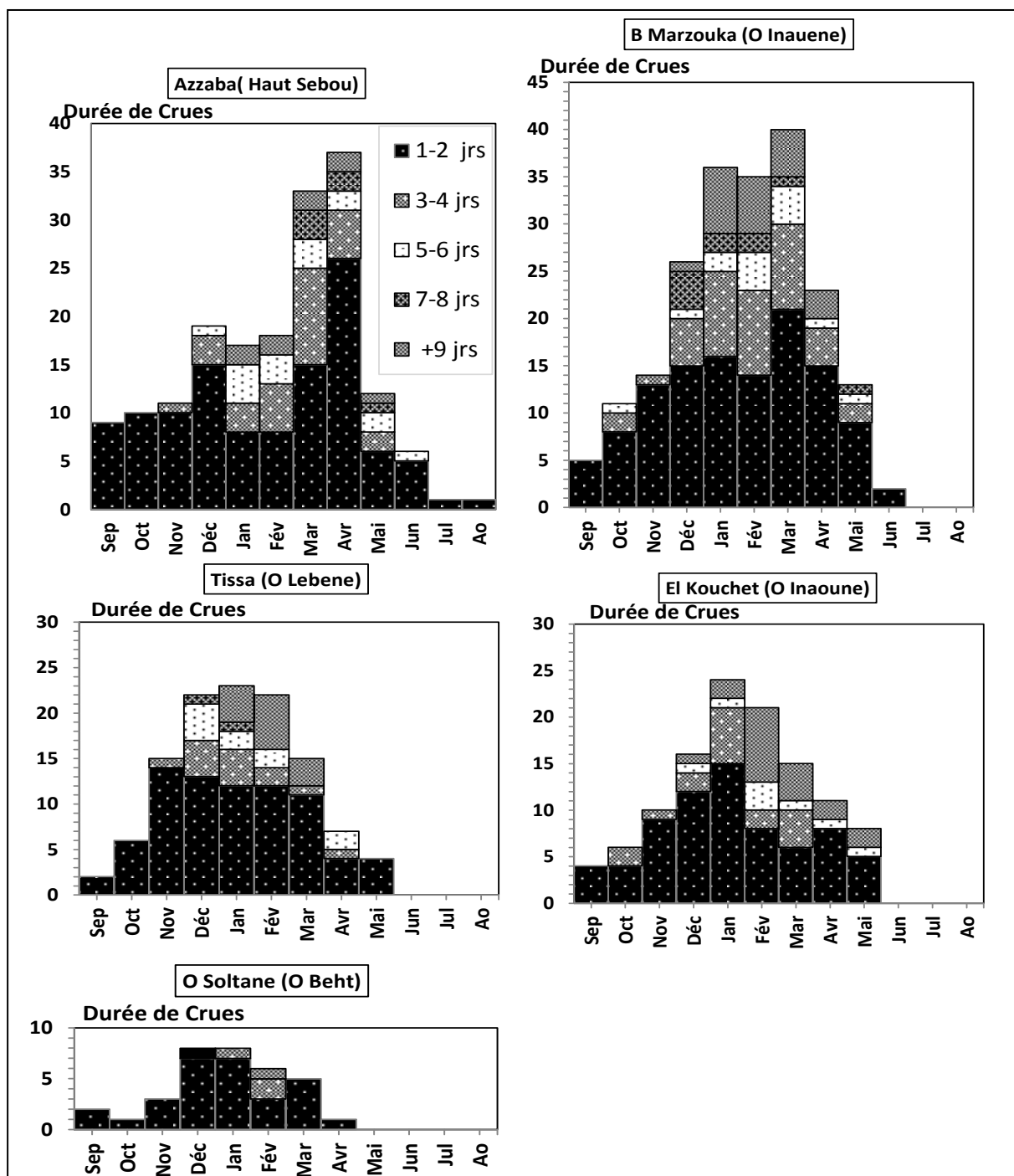
1.4.3. Régime de durée des crues au sein du bassin

Pour aborder cet axe, nous avons effectué une classification selon la longueur des phases de crues. Ces durées sont étudiées selon un intervalle de 1 à +9 jours. Les résultats de cette étude selon les sous bassins sont les suivantes (annexe. n°4):

• **Dans le Haut Sebou, Inaouene et Beht** (Fig. n°56), la durée de crue de 1 à 2 jours, représente 65,6%, de 3 à 4 jours atteint un taux de 16,7%, cependant ceux de 5 à 6 jours ont un taux de 9,2% à la station d'Azzaba dans le Haut Sebou pendant la période étudiée (1957-58/2011-12). Par ailleurs, les crues de 1 à 2 jours sont très actives au mois d'avril, 70% et décembre, 78,9%. Néanmoins celles de 3 à 4 jours sont plus importantes en mars avec un taux de 30,3%, car c'est le mois le plus soutenu par les sources karstiques.

Pour le bassin d'Inaouene, la durée des crues de 1 et 2 jours est plus fréquente; 61,7% à la station d'El Kouchet (1975-76/2001-02), 57,6% à Bab Marzouka (1970-71/2011-12) et 67,2% à Tissa (1985-86/2010-11) sur l'oued Lebène. Les phases de crues de 3 à 4 jours ne représentent que 14,8% à la station d'El Kouchet, 20% à Bab Marzouka et 11,2 % à Tissa.

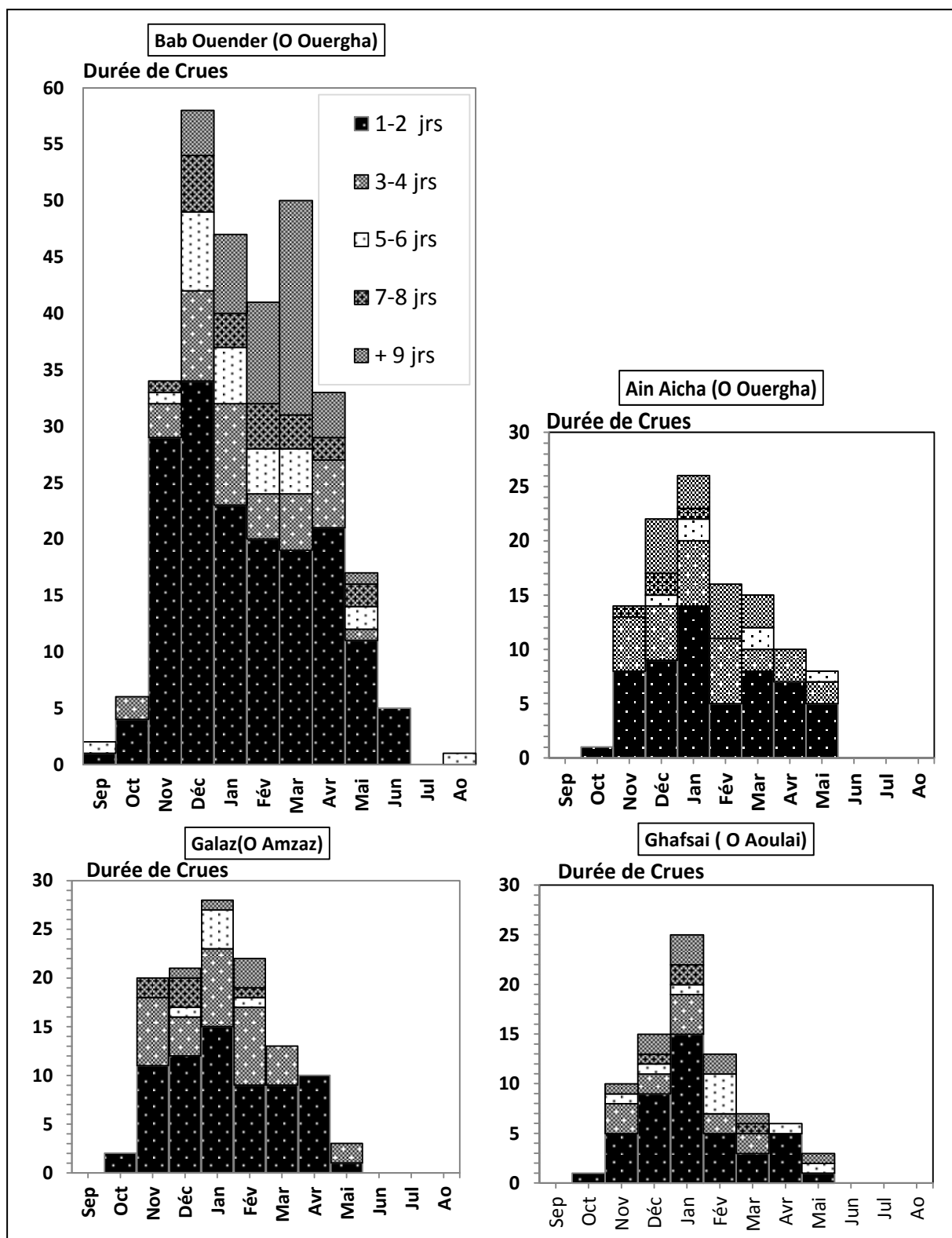
Cependant la durée de plus de 9 jours est assez importante dans ce domaine; 16,5% au bas d'Inaouene, 10,7% à Bab Marzouka et 11,2% à sur l'oued Lebène. Au printemps les crues de 1 à 2 jours sont les plus dominantes à Bab Marzouka; 52,5% en mars, mais c'est en automne à Tissa; 93,3% en novembre. Les crues de 3 à 4 jours sont assez importantes en janvier; 25% à la station d'El Kouchet et 17,4% à oued Lebène. Pour le mois de février, nous avons constaté un nombre faible de crues, qui est dû à la présence de phases de hautes eaux plus longues pouvant dépasser 9 jours et qui parfois excèdent 20 jours. Ces dernières représentent 38% à El Kouchet, 27,3% à Tissa.



Figures. n°56: Régime des phases de crues dans le bassin du Haut Sebou et Inaouene.

Concernant le bassin de Beht, les crues de 1 à 2 jours, sont les plus majoritaires avec un taux de 85,3% à la station d'Oueljet soltane pendant la période étudiée (1991-92/2011-12). Les crues de 3 à 4 jours semblent moins importantes et ne constituent que 8,8%, mais les plus durables supérieures à 9 jours sont rares; 2,9%. Ceci est en relation avec la faible intensité pluviométrique de ce bassin.

• **Au bassin de l'oued Ouergha** (Fig. n°57), nous avons observé une grande variation de la durée des crues. Les crues de 1 à 2 jours sont les plus fréquentes avec 56,8% à la station de Bab Ouender (1957-58/2011-12), 50,9% à Ain Aicha (1980-81/2011-12) sur l'oued Ouergha et 58% à la station de Galaz (1983-84/2011-12) sur l'oued Amzaz, puis 55% à Ghafsai (1980-81/2001-02) sur l'oued Aoulai.



Figures. n°57: Régime des phases des crues dans le bassin de l'oued Ouergha et Beht.

La deuxième catégorie entre 3 et 4 jours est moins récidive; 12,9% à la station Bab Ouender, 25,9% à Ain Aicha, 27,7% à Galaz et 16,3% à Ghafsai. Le nombre de crues dépassant 9 jours ne peut être négligé dans ce domaine rifain, en raison de la bonne exposition aux masses d'air humides de NO et de SO pendant la saison froide. Celles-ci avaient une fréquence de 15% à Bab Ouender, 14,3% à Ain Aicha sur l'oued Ouergha et 12,2 % à Rafsai

sur l'oued Aoulai, mais seulement 4,2% à Galaz sur l'oued Amzaz. Ces crues généralement sont celles qui sont à l'origine des inondations en aval du bassin en particulier dans la plaine du Gharb.

Au sein de l'année, les crues de 1 à 2 jours sont moins récurrentes en janvier; 24,6% à Ain Aicha, 21,8% à Galaz, 34% à Ghafsai. Tandis qu'à Bab Ouender, elles sont dominantes en décembre avec 58,6%. Les durées de 3 à 4 jours sont aussi moins importantes à oued Ouergha en janvier; 19,1% à Bab Ouender, 23% Ain Aicha. En revanche, on a une légère augmentation sur les affluents; 24,2% sur l'oued Amzaz et 30,8% sur l'oued Aoulai.

1.5. Classification et Typologie des crues au bassin de Sebou

En prenant en compte les conditions météorologiques, topographiques et géologiques, du bassin de Sebou, nous avons classé les crues selon leur nature simple et complexe et selon leurs appartenances à un type de courant perturbé c'est-à-dire à une situation atmosphérique de genèse située à une aire aérologique proche du bassin.

1.5.1. Genres et formes de crues

L'étude statistique menée à ce sujet nous a permis de connaître les formes de crues survenues dans le bassin versant de Sebou. Celles-ci appartiennent principalement à deux catégories de forme: simple et complexe, selon l'intensité des séquences pluviométriques et leur durabilité. Ainsi à travers l'analyse du tableau n°38, on peut formuler les observations suivantes:

Tableau. n°38: Classification des formes des crues du Bv de Sebou.

Cours d'eau	Stations	Périodes d'observation	Qm ³ /s	Crues simples	Crues complexes	Total
Haut Sebou	Azzaba	1957-58/2011-12	13,32	159	15	174
Inaouene	Bab Marzouka	1970-71/2011-12	3,89	184	22	206
	El Kouchet	1975-76/2001-02	5,93	94	21	115
O Lebène	Tissa	1985-86/2011-12	2,72	99	17	116
Ouergha	Ain aicha	1980-81/2011-12	21,76	92	20	112
	Bab Ouender	1957-58/2011-12	11,15	250	44	294
	M'jaâra	1959-60/1996-97	23	128	31	159
Aoulai	Ghafsai	1980-81/2001-02	8,3	66	14	80
Amzaz	Galaz	1983-84/2011-12	11,01	106	13	119
M Sebou	Dar Al Arsa	1970-71/2011-12	9,78	102	26	128
Beht	O Soltane	1991-92/2011-12	6,5	30	4	34
Gharb	M Belksiri	1967-68/2011-12	82,72	104	34	138

1.5.1.1. Les crues simples

Les crues simples dans le bassin versant de Sebou sont liées aux conditions météorologiques caractérisées par un seul passage de flux atmosphérique perturbé. L'écoulement prend la forme au niveau de l'hydrogramme d'une montée du débit vers un seul pic, puis une

redescende plus au moins rapide selon les conditions atmosphériques et la nature du substrat. Dans ce sens l'importance progressive des précipitations lors de déplacements du front chaud moins pluvieux tout d'abord de la perturbation et puis ensuite du front froid le plus pluvieux, se trouve à l'origine de ce schéma de crue. Dans le bassin presque plus de 80% de crues sont des crues simples: 88,2% à oued Beht, 82,1% à oued Ouergha 89,3% oued Inaouène et 91,4% au Haut Sebou.

1.5.1.2. Les crues complexes

À l'instar des crues simples, le bassin versant de Sebou connaît aussi des crues complexes relevées à partir des données hydrométriques disponibles. Ces crues sont le résultat de passage de plusieurs séquences pluvieuses relatives à l'alternance rapprochée des dépressions atlantiques sur le Maroc. En effet lorsque le bassin est soumis à une grande vallée froide planétaire où glissent de multiples minimums barométriques, le débit réagissant aux fluctuations pluviométriques est caractérisé par plusieurs montées des eaux sans que celui-ci redescende vers un niveau inférieur au seuil de la crue. Mais Celle-ci peut avoir un pic qui représente le maximum de cet épisode hydrologique. Les crues complexes dans le bassin de Sebou sont beaucoup moins fréquentes que les crues simples: 11,8% à oued Beht, 10,7% à oued Inaouène et 8,6% dans le Haut Sebou. Cependant dans le bassin de l'Ouergha ses phénomènes hydrologiques sont plus notables; 17,9% en raison de l'abondance pluviométrique du versant rifain et ses particularités topographiques et géologiques.

1.5.2. Origine et genèse météorologique des crues dans le bassin de Sebou

Étudier la typologie des crues passe nécessairement par la connaissance de l'origine des flux perturbés responsables des événements pluviométriques qui ont produit une augmentation soudaine de l'écoulement des oueds. D'après MAURICE PARDE la synthèse la plus scientifique des diverses typologies « génétiques » des crues reposées sur la localisation des averses et l'origine immédiate des vents pluvieux donnant naissance aux crues « océaniques, méditerranéennes ou mixtes » DACHARY.M (1974). En ce qui concerne notre bassin de Sebou nous pouvons classer les crues selon leurs genèses météorologiques:

1.5.2.1. Les crues océaniques du bassin de Sebou

Pour traiter les crues océaniques dans le bassin versant de Sebou, nous avons pris considération deux exemples des crues dévastatrices dans l'histoire du bassin, qui sont:

- **La crue de janvier 1970**, est l'une des crues mémorables du bassin de Sebou compte tenu des volumes d'eaux charriées et des grandes inondations qu'elles ont provoquées dans la plaine du Gharb. D'après l'étude de l'hydrogramme journalier et instantané (Fig. n°58 et 59) de cette phase hydrologique extrême, on constate selon les données pluviométriques de la station de Rafsai et d'Ifrane aéroport que les pluies débutant le 25 décembre sont réparties en

trois séquences pluviométriques pendant cette crue. Les cumuls de ces trois séquences sont vraiment considérables avec 657,4mm à la station d'Ifrane et 742,7mm à la station de Rafsai. Celles-ci ont arrosé les montagnes rifaines et moyen-atlasiques. Ce montant peut atteindre 1000mm sur les hauteurs de Jbel Ouedka qui est l'une des zones les plus pluvieuses du bassin.

Ainsi à l'oued Ouergha au niveau de la station M'Jaâra, le débit de la crue progressif au fur et à mesure que les chutes pluviométriques s'intensifient dès le 31 décembre 1969 (113,2 mm à Ifrane et 172,2 mm du 29 au 31 décembre) le débit journalier a augmenté vers 2920m³/s le 31, mais c'est à la nuit du 01-01-1970 midi que cette première onde de crue avait coulé son débit maximum instantané de 3330m³/s, à 1h du matin.

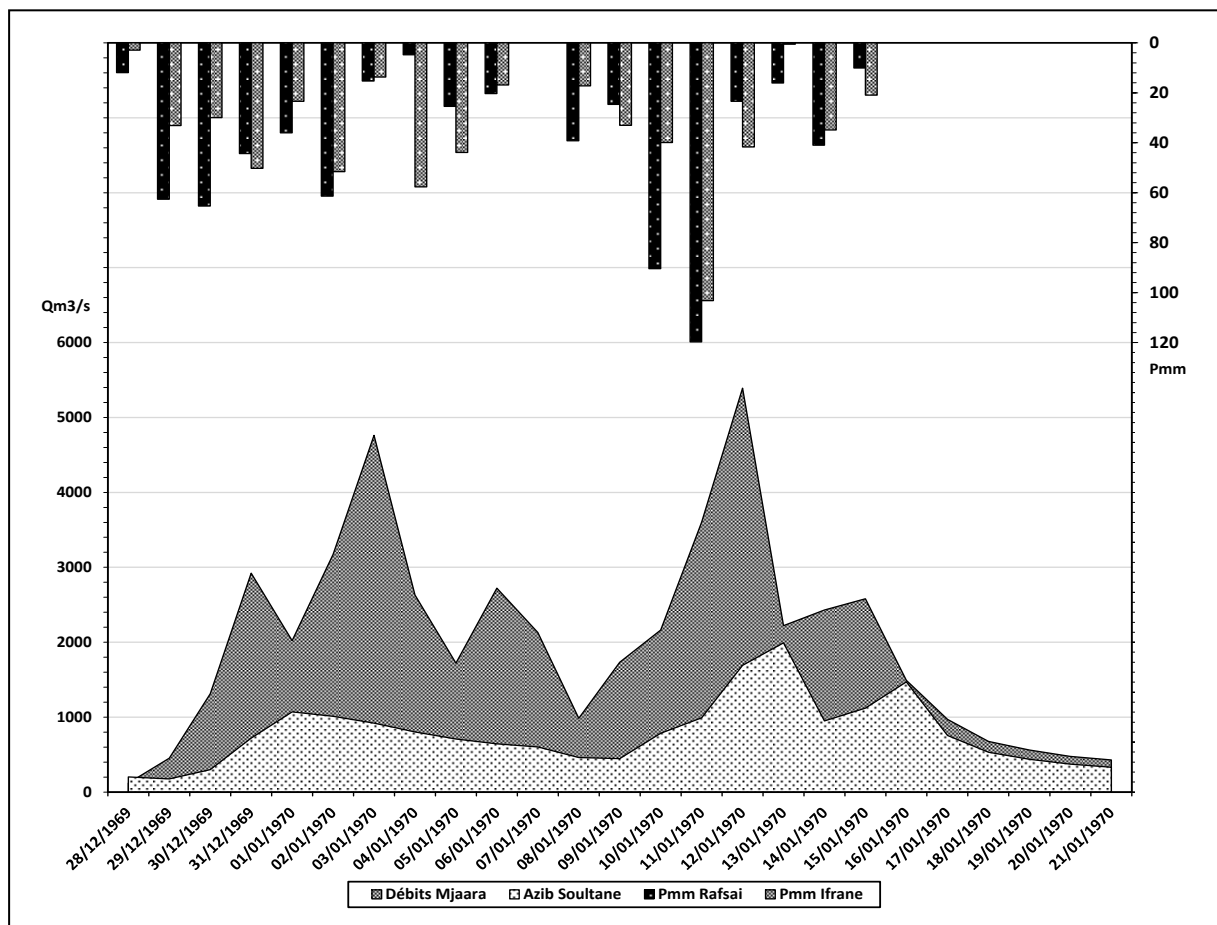


Figure. n°58: Hydrogramme journalier de la crue de janvier 1970.

À Azib Soltane sur l'oued Sebou, station contrôlant les trois sous bassins Inaouène, Haut Sebou et Mekes, le débit journalier maximum sera relevé le 1 janvier 1070m³/s. Pendant la deuxième onde de crue suite à des pluies pendant la première semaine de janvier avec un maximum le 2 janvier (60,4 et 51,6mm à Rafsai et Ifrane) le débit maximum instantané s'est élevé à 5090 m³/s, le 03-01-1970 à 18h, et le débit journalier s'est établi à 4760 m³/s. Après une accalmie pluviométrique le 7 janvier une autre séquence pluviométrique est survenue entre le 8 et le 15 janvier (291,3 et 364,5mm à Ifrane et Rafsai).

Cela a permis le déroulement de la troisième onde la plus importante durant laquelle les apports d'eaux charriées ont atteint le débit journalier maximum de l'année avec 5390m³/s à l'oued Ouergha le 12 janvier avec un débit maximum instantané de 6530m³/s enregistré pendant l'après-midi à 18h. À Azib soltane le débit journalier avait monté à 1990m³/s le 13 janvier. Cette crue complexe, a duré plusieurs jours, avec un temps de montée très long qui dépasse 96h. Le temps de base était aussi très long; 240h. Ce genre de crue de très fort débit de pointe constitue un risque majeur à cause des dégâts occasionnés en aval du bassin de Sebou.

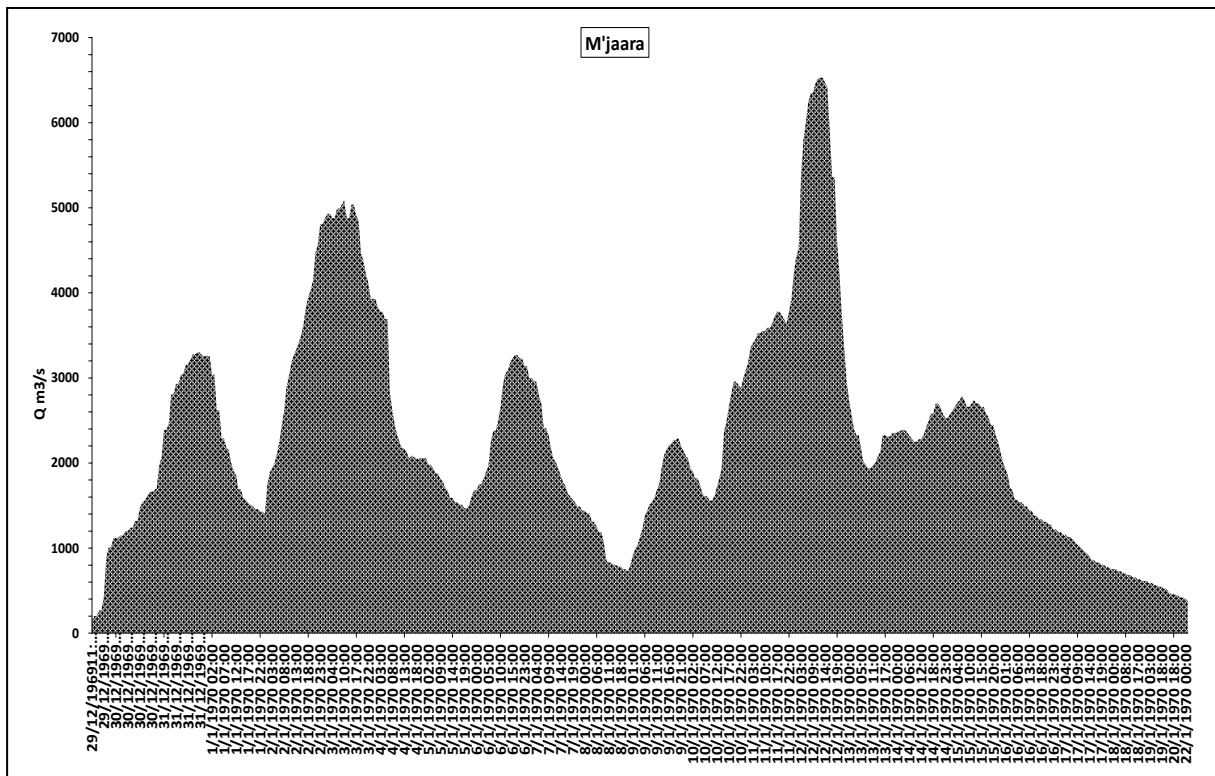


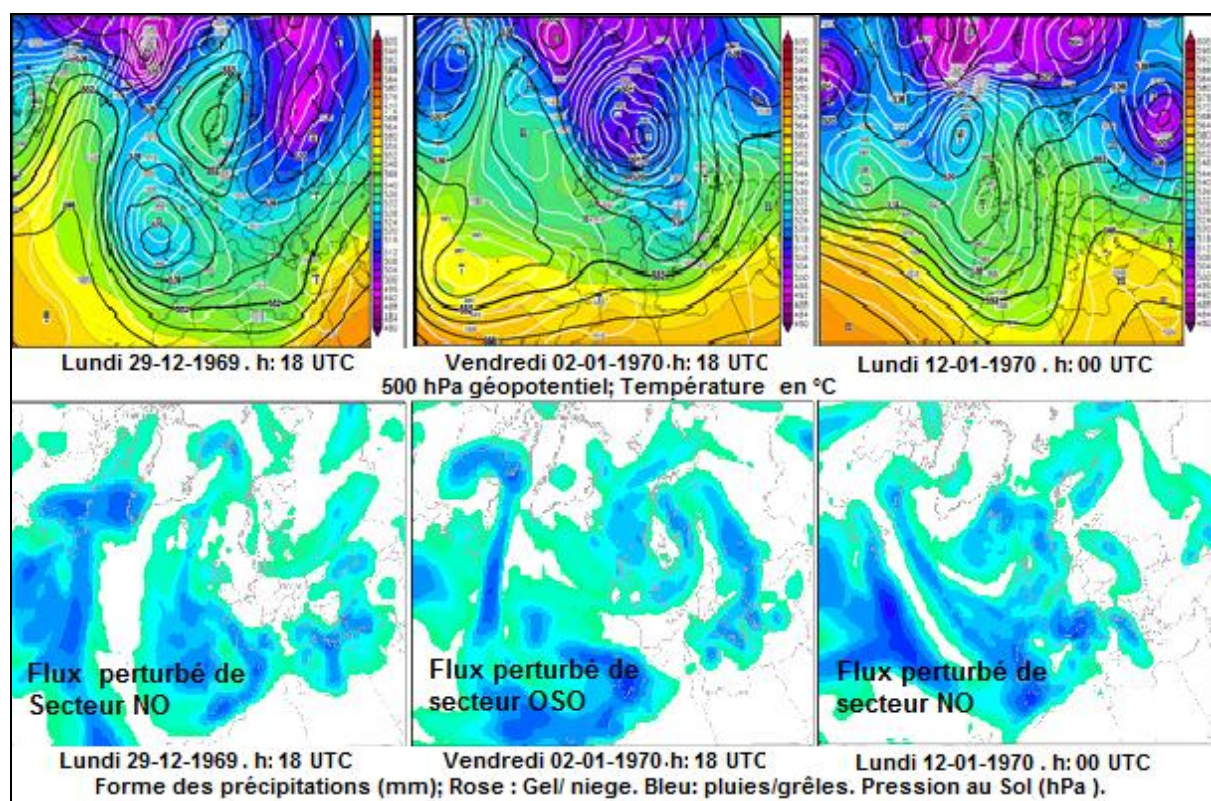
Figure. n°59: Hydrogramme instantané de la crue de janvier1970.

La situation météorologique (carte. n°36) responsable de la genèse de cette crue, peut-être expliquée à partir de midi 29 décembre 1969, une large vallée froide s'est étalée de l'Atlanti-que vers le NO de l'Afrique marquant le déplacement du courant-Jet subtropical vers ces régions. Le centre dépressionnaire sur l'atlantique proche dirige un temps perturbé de secteur NO en direction du bassin. Cette situation instable se caractérise par une masse d'air froide d'origine polaire se déplaçant vers les latitudes subtropicales. Le courant-Jet (552dam) forme des grandes ondulations accompagnées de coulées froides un peu profondes qui surmontent et soutiennent la dépression atlantique. Cette poussée du courant-Jet d'altitude vers le Sud, lui a permis d'atteindre les latitudes septentrionales du Maroc.

Trois centres dépressionnaires se sont succédés sur le Maroc le premier centré sur le Golfe de Gascogne au large des côtes françaises était à l'origine d'un flux perturbé de NO, le deuxième était centré sur l'Atlantique au large des côtes marocaines avec un déplacement de

flux pluvieux à partir du secteur OSO et la troisième basse pression centrée sur l'Islande est à l'origine des masses humides provenant selon une trajectoire NNO.

Ce type de temps pluvieux atlantique a été accompagné des pluies diluviennes sur les montagnes du Rif et du Moyen Atlas. Les cumuls des pluies journalières considérables comme nous l'ont signalée, sont responsables de la genèse de crues déferlantes et très volumineuses au niveau du bassin de l'oued Ouergha, ce qui explique la gravité des inondations dans la plaine du Gharb. La durée de ce type de temps demeure 23 jours, pendant ce temps les températures étaient très douces; les minima ont varié entre 5°C et 10°C, et les maxima sont compris entre 15°C et 20°C.



Carte. n°36: Genèse atmosphérique de la crue du 29 décembre 1969 au 22 janvier 1970.

• **La crue du 06 au 09 mars 2010**, est l'un des événements hydrologiques remarquables dans le bassin de l'oued Ouergha compte tenu des apports d'eaux transportées et les crues inondables qu'elles ont produit dans les zones alluviales de bassin versant de Sebou. Les figures n°60 et 61 représentent l'hydrogramme journalier et instantané de ce cas hydrologique exceptionnel.

Les pluies responsables de cette crue à la station de Bab Ouender, Tabouda et Boured se sont étalées sur deux séquences de 11 jours. Le bilan pluviométrique de la 1^{ère} séquence entre le 01 et le 04 mars est assez important avec 38mm à la station de Bab Ouender, 36mm à Tabouda et 48mm à Boured. Par contre en deuxième séquence, entre le 05 et le 11 mars le total des pluies est monté à 136mm à la station de Bab Ouender, et 65mm à Boured. Ces

pluies étant plus diluviennes sur les montagnes d'Issaguen Ketema ont provoqué un drainage excessif du bassin du Haut Ouergha.

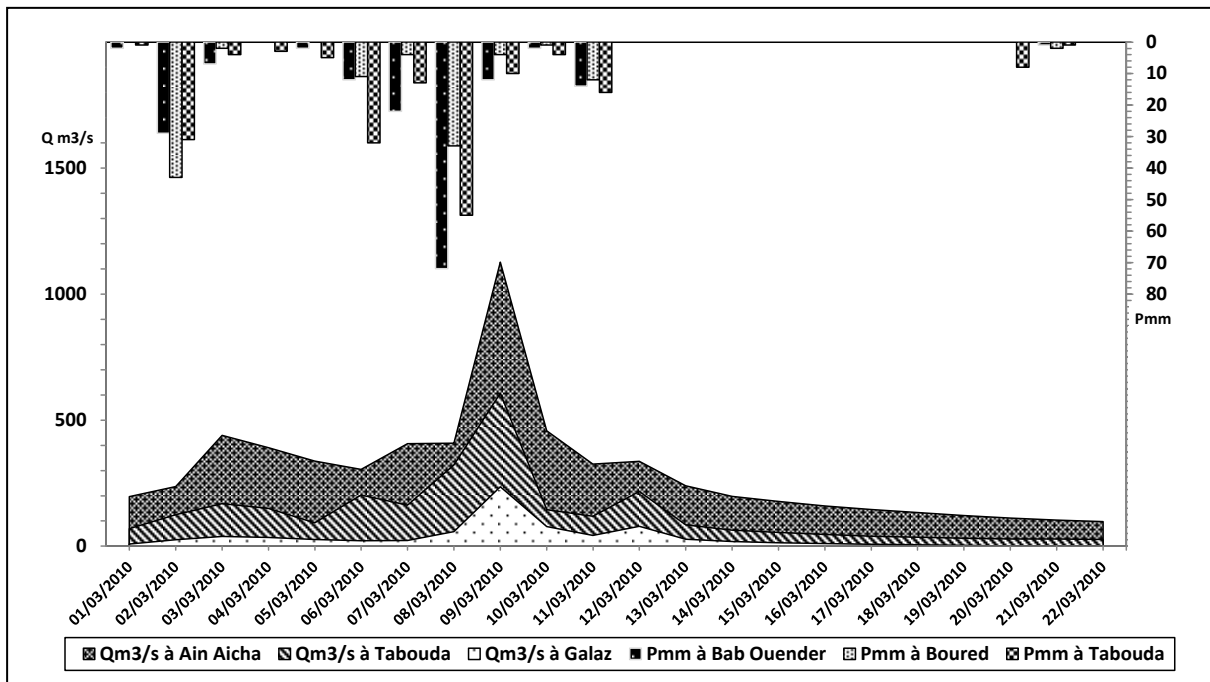


Figure. n°60: Hydrogramme journalier de la crue du 07 au 09 mars 2010.

Ainsi le débit journalier de l'oued Ouergha est monté progressivement jusqu'à atteindre $1127\text{m}^3/\text{s}$ le 09-03-2010 à la station d'Ain Aicha, $235\text{m}^3/\text{s}$ à Galaz et $606\text{m}^3/\text{s}$ à Tabouda.

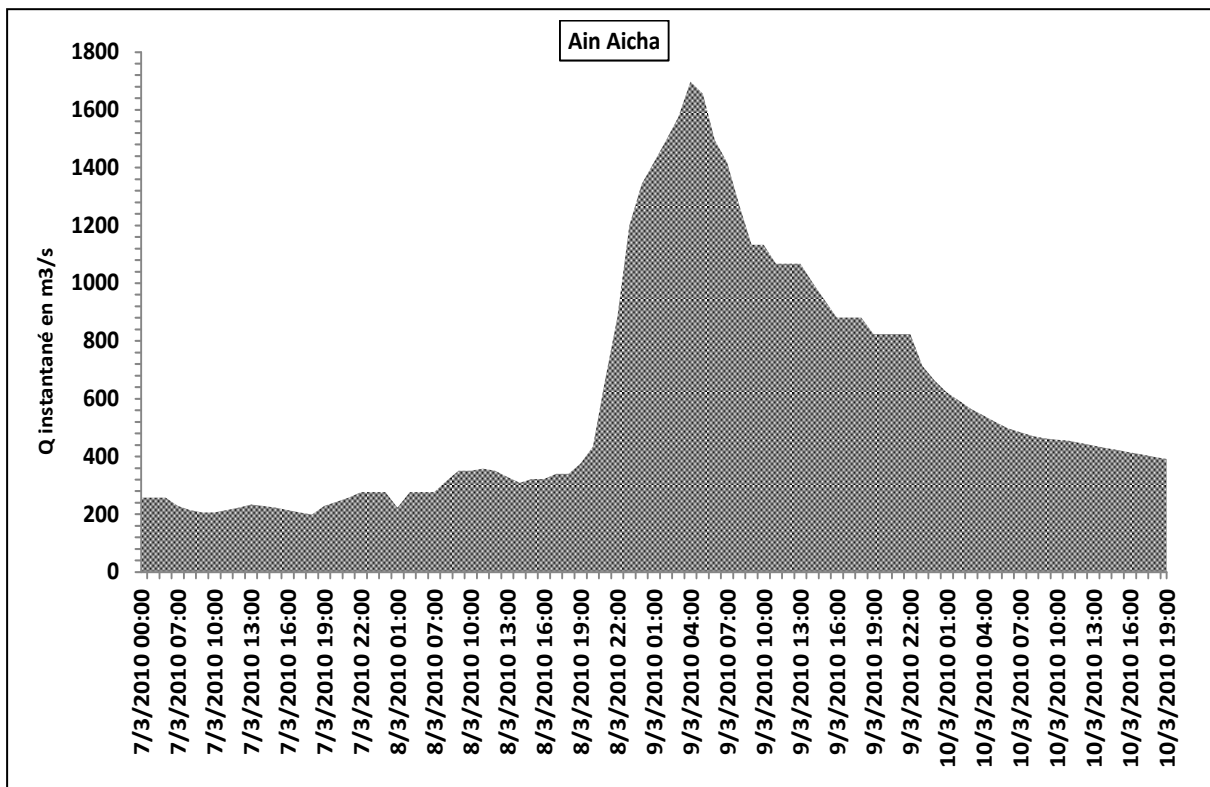
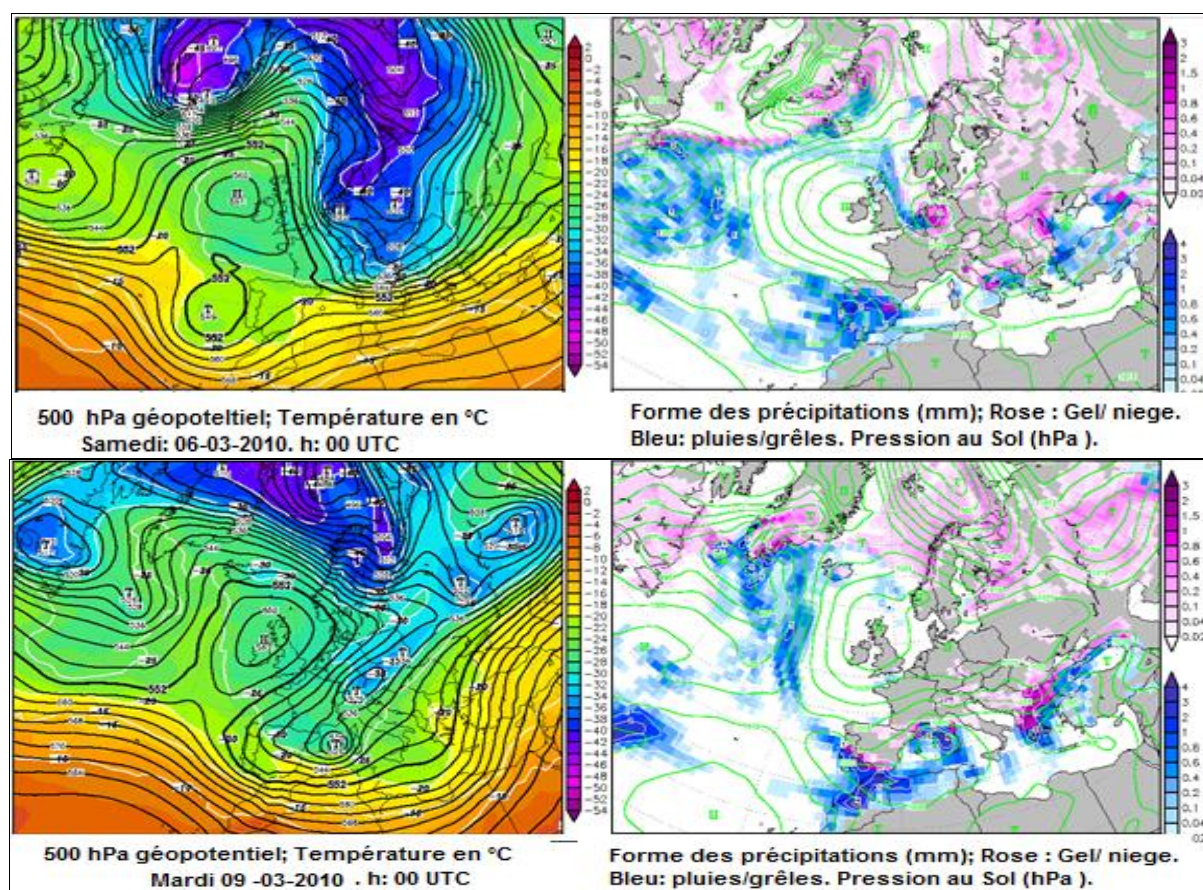


Figure. n°61: Hydrogramme instantané de la crue du 07 au 09 mars 2010.

Au bas Ouergha, les débits à l'entrée du barrage El Wahda sont de toute évidence considérable du fait qu'on a enregistré un débit maximum instantané de $7000\text{m}^3/\text{s}$ au cours de cette journée.

En ce qui concerne les débits maximums instantanés de cette crue, nous avons remarqué que celui depuis la journée du 7 était inférieur à $500\text{m}^3/\text{s}$, mais avec l'augmentation des intensités pluviométriques le 8 et le 9 l'écoulement s'est élevé jusqu'à $1697\text{m}^3/\text{s}$ à 4h du matin. Puis avec l'affaiblissement pluviométrique la décrue s'est effectuée progressivement jusqu'à moins de $300\text{m}^3/\text{s}$ à partir du 13 mars 2010.

La genèse météorologique de cette crue (carte.n°37) peut être expliquée par la provenance d'un flux perturbé atlantique de NO. Le type de temps installé sur le bassin de Sebou, est lié à la présence en altitude 500 hPa d'une vaste vallée planétaire constitué par le jet subtropical, où les dépressions atlantiques sont obligées à se diriger vers le Maroc en raison d'une crête chaude située sur la grande Bretagne, supportant un anticyclone étalé sur le Nord de l'Europe. Le 07-03-2010, la dépression centrée au large du Portugal (1000 hPa) a commandé un front froid traversant le Maroc dans le sens NO.



Carte. n°37: La genèse météorologique de la crue 06-09mars 2010.

Durant cette période comme un exemple, l'influence de l'Oued Inaouene était très forte sur la ville de l'Oued Amlil, il a engendré d'importants dégâts; la voirie et le réseau routier (Route nationale. n°6) ont été immédiatement colmatés et bouchés par des colluvions et des

sédiments transportés. En effet, le mercredi 10 mars 2010 à 19 h 59 min, la hausse du niveau d'eau de l'Oued Inaouene par l'accumulation des eaux de leurs affluents ont causé une grave inondation dans de nombreux quartiers (Quartier Al Mahata et la zone administrative) et de nombreuses maisons dans les zones urbaines à la ville de l'Oued Amlil ont été inondées (Pho.n°12) (CHKHAMI. K et al 2020).



Photos. n°12: Importance de crue de l'oued Inaouene et Hauteur d'eau des inondations à 160 cm dans la ville de l'Oued Amlil le 10 mars 2010.

1.5.2.2. Crues d'origine méditerranéenne

Les crues dans le bassin de Sebou d'origine méditerranéenne sont en rapport avec des cyclogenèses qui se forment soit, en méditerranée occidentale ou sur le Nord-Ouest de l'Afrique soutenues par l'advection de gouttes froides vers le sud. Nous prenons comme exemple la crue du 21 au 23 octobre 1982 dans le bassin du Haut Sebou.

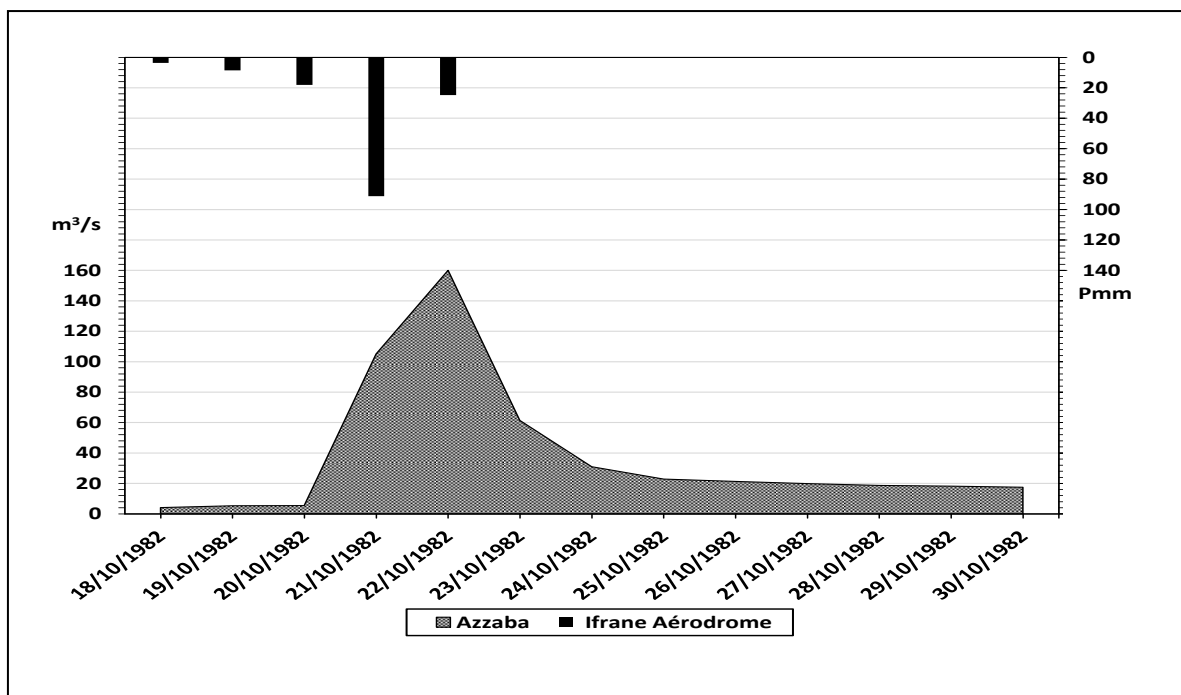
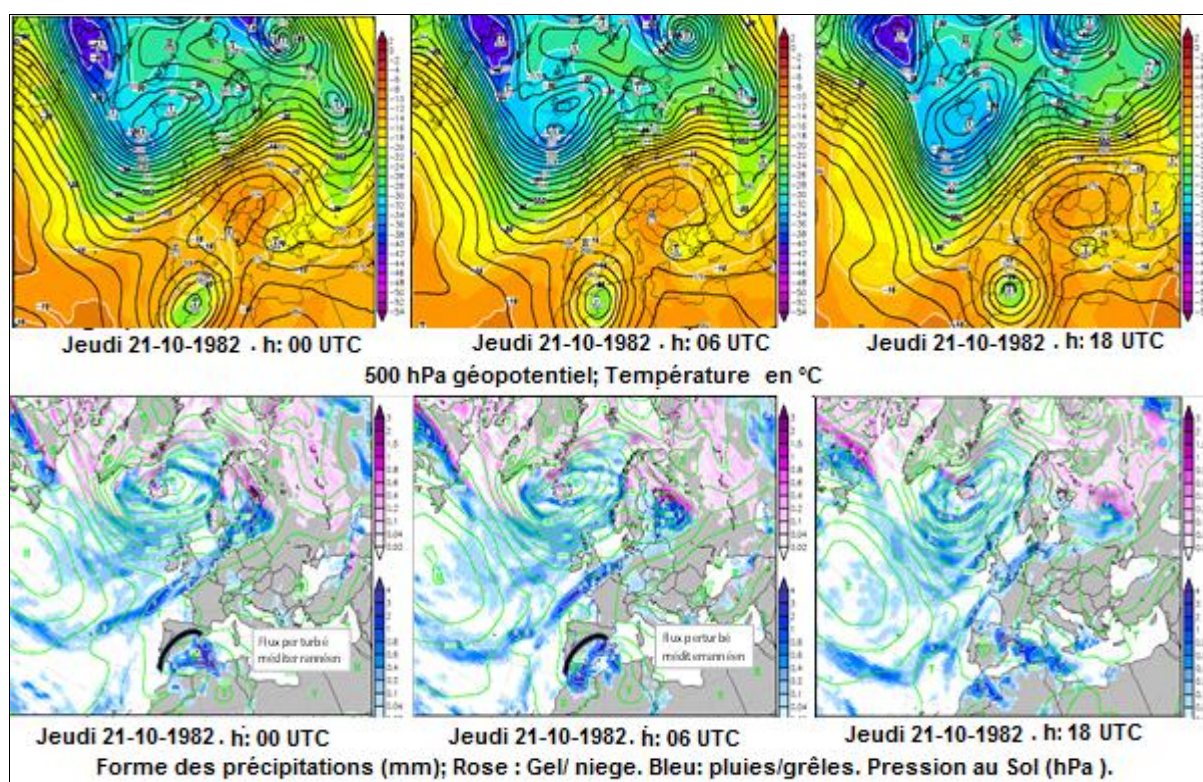


Figure. n°62: Hydrogramme journalier de la crue du 21 au 23 octobre 1982.

En effet, les pluies qui ont débuté le 18 octobre à la station Ifrane se sont renforcées les jours suivants pour atteindre 18,1mm le 20 octobre, mais l'intensité de la pluie s'est accentuée le 21 octobre avec un cumul de 91,2mm. Ces chutes importantes sur les hauteurs moyen-atlasique ont eu un impact sur l'écoulement du Haut Sebou. Ainsi à la station d'Azzaba le débit est monté à 105 m³/s pendant la journée du 21, cependant le maximum de cette crue ne s'est établi que le lendemain avec 160m³/s, car il faut compter avec la capacité de rétention du bassin vers l'écoulement souterrain qui alimente les sources karstiques.

La situation atmosphérique (carte. n°38) responsable de cet événement hydrologique est due à la présence en altitude 500hPa d'une goutte froide qui s'est détachée au-dessus du Maroc depuis le 19 octobre. En ondulant sur notre pays, elle s'est déplacé progressivement vers le NE. Au sol le minimum barométrique (1005hPa) installé sur l'Algérie a dirigé un flux perturbé d'origine méditerranéenne. Celui-ci s'est déplacé rapidement en direction du bassin de Sebou pendant la journée du 21 octobre 1982.



Carte. n°38: La genèse atmosphérique de la crue du 21 au 23 octobre 1982.

1.5.2.3. Crues issues des cyclogenèses locales sur le Maroc

La crue du 10-10-2008 demeurera enregistrée dans les annales hydrologiques comme un événement rare qui a affecté le bassin du Haut Sebou et ses régions. Elle est exceptionnelle, en raison du volume d'eau charriée par la crue dont le débit maximum instantané s'élève 2340 m³/s. Le temps de montée de cette crue est de 4h, mais le temps de baisse est très long, environ 11h en raison de l'obstacle du barrage Allal Al Fassi et l'effet du système karstique du Moyen Atlas (Fig. n°63).

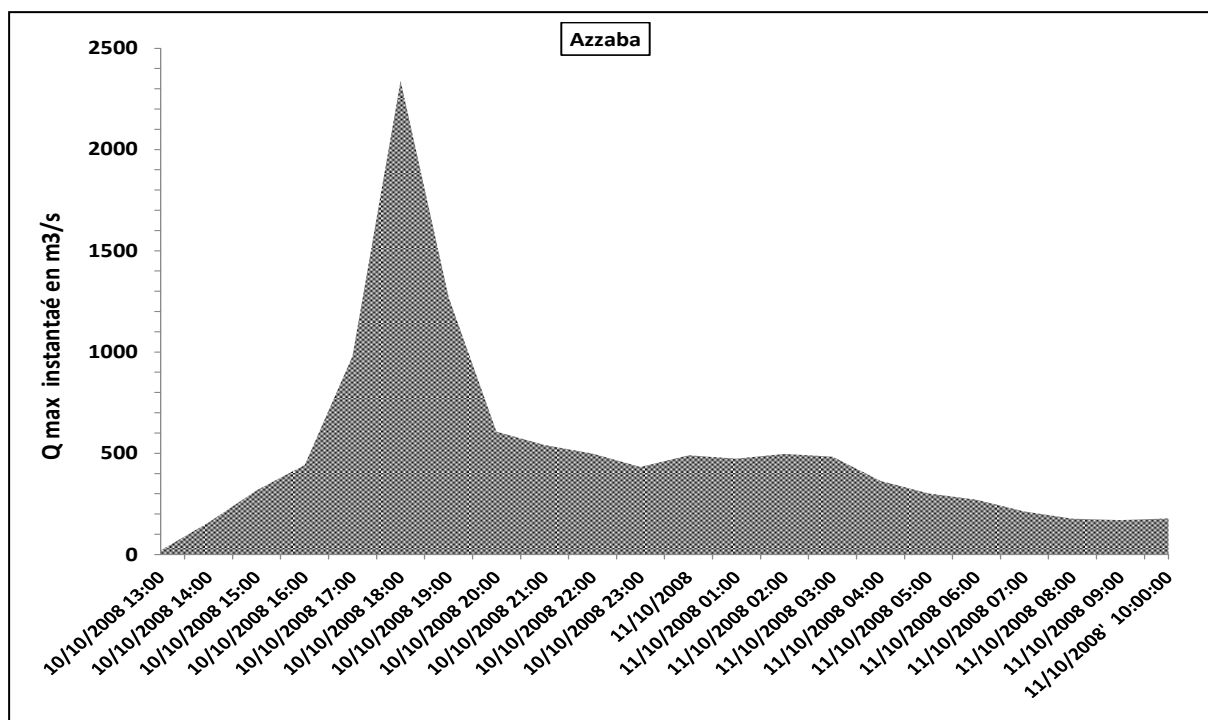
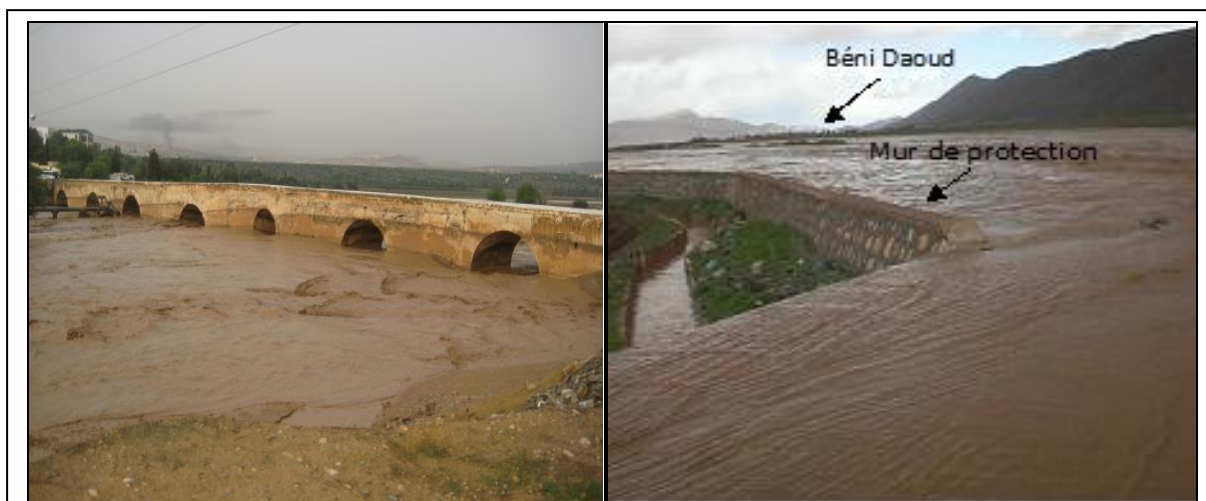


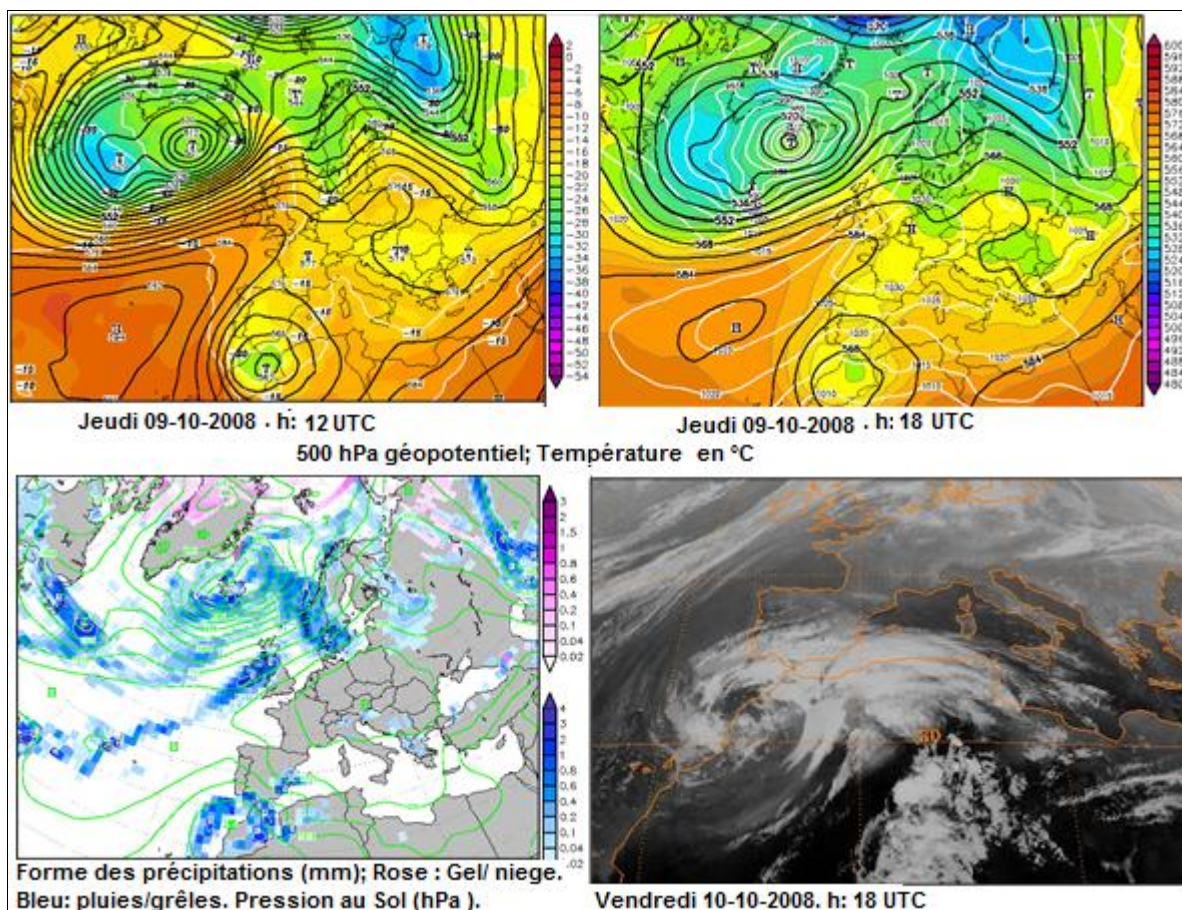
Figure. n°63: Hydrogramme instantané de la crue du 10 octobre 2008.

Cet événement hydrologique a été généré par une cyclogenèse locale qui s'est installée sur le Maroc le 9 octobre suite à un isolement d'une goutte froide (-20°) vers le sud en provenance du nord de l'Europe (carte.n°39). Cette ondulation étant piégée au versant sud d'une vaste cellule anticyclonique couvrant toute l'Europe, circule au-dessus du Maroc en se déplaçant vers le Sud-Ouest. Ainsi elle a aspiré des masses chaudes sahariennes qui ont augmenté les contrastes thermiques entre les masses d'air entre les niveaux inférieurs chauds et les niveaux supérieurs froids. Le courant perturbé parvenant au bassin du Haut Sebou est franchement de secteur Sud-Est. Ainsi les apports pluviométriques journaliers sont très importants; 72,2mm à la station d'Ait khabache, 64mm à El Mars 44mm à Azzaba durant cette période le 10 octobre. Sur les hauteurs montagneuses, ces quantités sont évidemment beaucoup plus importantes (Pho. n°13).



Photos. n°13: Crue de l'oued Sebou le 10 octobre 2008 au niveau de pont Sadienne (Fès) et Béni Daoud (Moyen Atlas).

Ces averses ont provoqué des crues inondables causant dégâts matériels importants au niveau de l'infrastructure routière, d'alimentation en eau potable, et des terrains agricoles. Cependant, les dégâts auraient pu être d'une gravité sans précédent sans le barrage Allal Al Fassi. En effet, cet ouvrage hydraulique a joué un rôle important d'atténuation de l'intensité de la crue et la régulation des flots qui ont égalé la capacité totale du barrage de 64 Mm^3 en l'espace de quelques heures. La gestion efficace du barrage a permis l'écêtement du débit de pointe entrant de $2600 \text{ m}^3/\text{s}$ à seulement $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ en aval du barrage (AHBS, 2008).



Carte. n°39. La genèse météorologique de la crue 10 octobre 2008.

1.5.2.4. Crues d'origine orageuse

La crue du 06 août 2002, est liée à une situation pluviométrique d'origine orageuse sur le Moyen atlas. D'après la figure n°64, les pluies se sont étalées sur une séquence de deux jours à la station d'Ait Khabache, où elle a enregistré seulement 2,5mm, mais 27,7mm à la station d'El Merse.

En revanche sur les montagnes cet orage aura certainement apporté des quantités plus importantes, ce qui a augmenté le débit journalier de l'oued en aval du bassin de Haut Sebou, vers $94\text{m}^3/\text{s}$ le 06 août à la station d'Azzaba. Cependant le débit instantané lors de cette crue est monté en 3h de d'environ $10\text{m}^3/\text{s}$ le 5-8-2002 à 22h à $489,7\text{m}^3/\text{s}$ le 6-8-2002 à 1h du matin. Ainsi le bassin a été soumis à une crue orageuse rapide qui n'a duré que 7h avant que le débit ne revienne à son débit estival habituel.

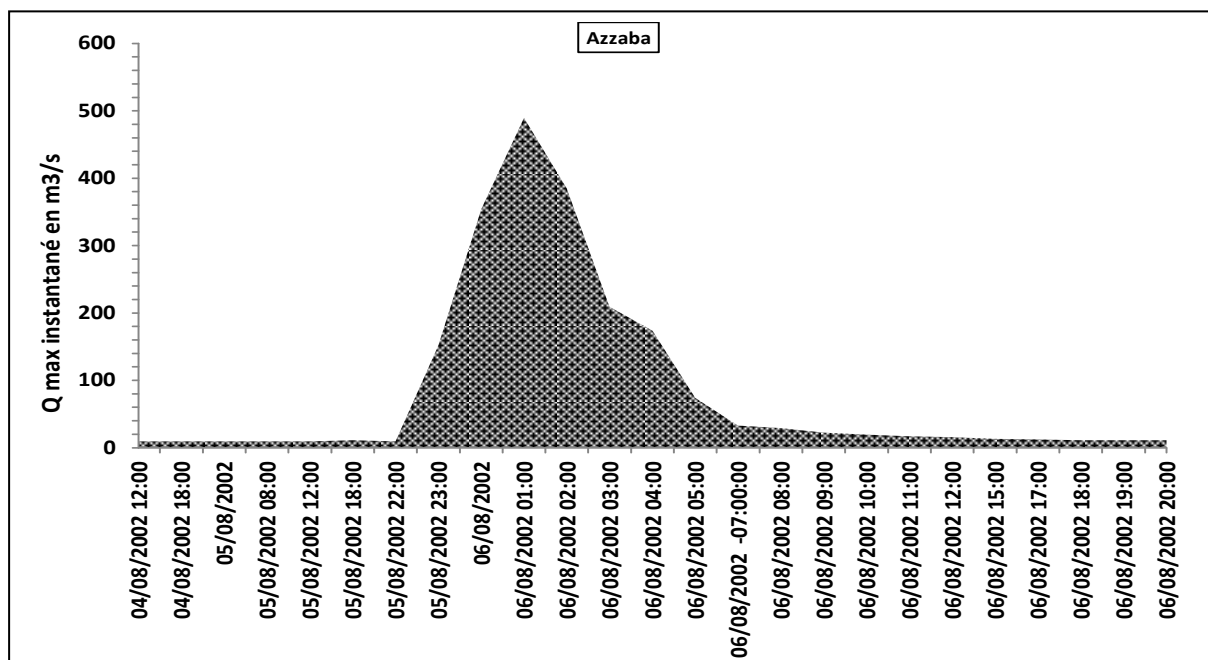
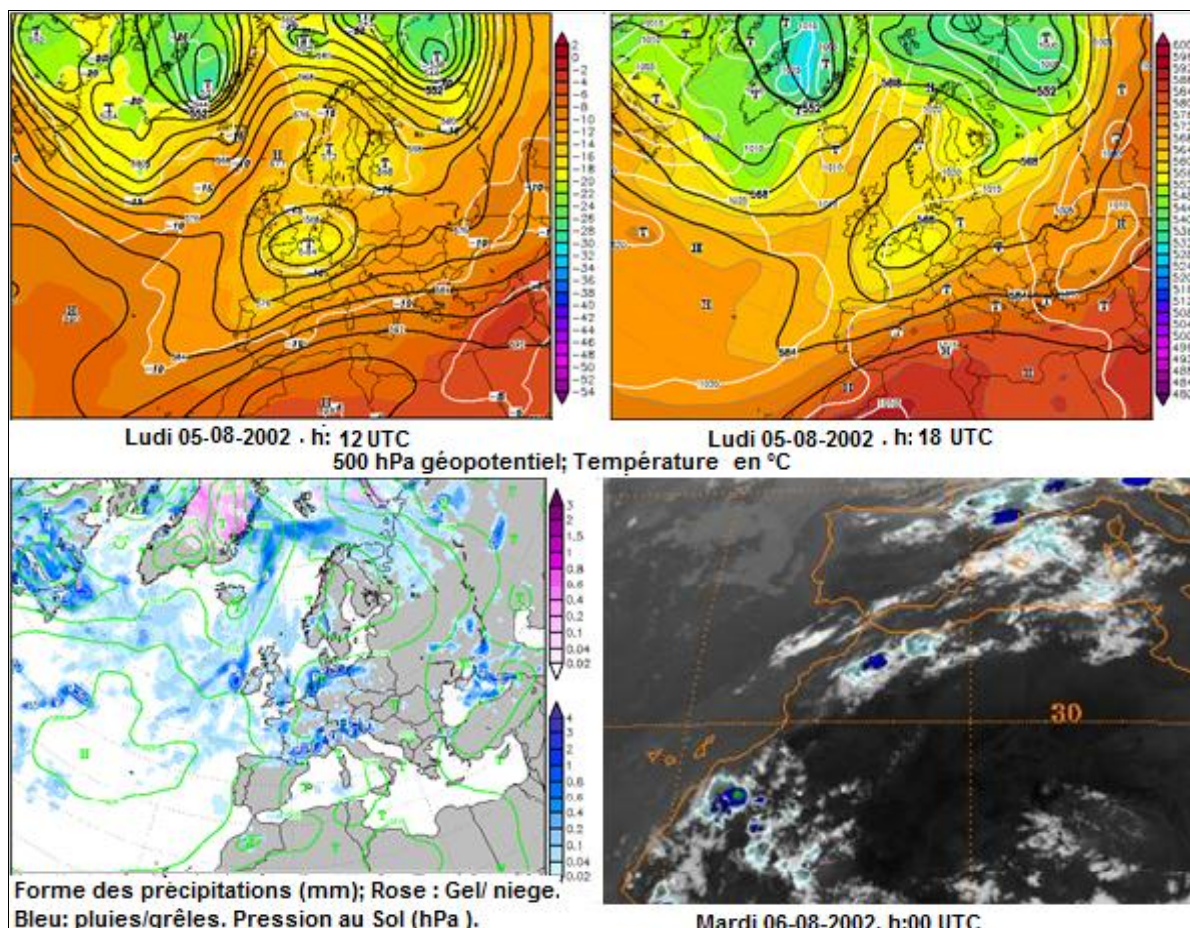


Figure. n°64: Hydrogramme instantané de la crue du 06 août 2002.

La situation atmosphérique responsable (carte. n°40) de cette crue est une formation orageuse sur les hauteurs du Moyen Atlas qui s'est constitué l'après-midi du 5 août 2002, suite une advection vers le sud d'un air polaire de faible importance.



Carte. n°40: La genèse météorologique de crue du 06 août 2002.

Celui-ci a emprunté les versants Est de l'anticyclone des Açores qui a étalé sa dorsale sur les côtes atlantiques du Maroc. Une situation qui a permis à un air tropical maritime rafraîchi par son parcours océanique d'atteindre ces régions. Cependant l'Est du pays est plus chaud, car il est sous l'effet des influences continentales de la dépression thermique saharienne qui couvre la grande partie du Maghreb. La présence de l'air plus frais en altitude et le contact entre ces deux masses d'air sont à l'origine de la situation orageuse créée sur le Moyen Atlas la nuit du 5-6 août 2002 et qui se trouve responsable de la crue citée plus haut.

1.6. Puissance et vitesse de propagation des crues vers l'aval

L'intensité pluviométrique, la surface réceptrice d'un bassin versant, ses caractères physiographiques et hydrogéologiques jouent un rôle important au niveau de la puissance d'une crue et sa vitesse d'écoulement vers l'aval. Dans ce qui suit nous allons essayer d'évaluer cette puissance dans les sous-bassins du Sebou en amont afin d'éviter les effets des barrages et pour quelques tronçons dont nous disposons des données, nous allons calculer le temps de propagation des flots vers l'aval lors aux moments d'activités hydrologiques intenses.

1.6.1. Le coefficient de puissance de crue H

La puissance d'une crue peut être caractérisée par un coefficient de la formule²⁶ de MYER-COUTAGNE-PARDE (1964):

$$H = \frac{Q}{\sqrt{A}}$$

Le coefficient de puissance de crue **H** de MYER-COUTAGNE-PARDE (**H** comme situation hydrologique) est un critère d'approche qui permet de mettre en évidence les fortes variations de puissance des crues d'une station à l'autre et de comparer les crues maximales entre les saisons de l'année dans différents bassins versants au sein d'une période d'étude. La valeur de **H** révèle l'intensité de la crue d'une station, pour laquelle **Q** est le débit maximum instantané de la plus forte crue enregistrée de toute la série étudiée et **A** représente la surface du bassin versant. Les valeurs du coefficient **H** montrent une variabilité de puissance des crues entre les sous-bassins versants du bassin:

- **Dans le Haut Sebou et le bassin d'Inaouene**, la valeur de **H** apparaît plus haute à la station d'Azzaba (4460 km²), elle est de 35 le 10-10-2008, où la plus forte valeur de débit instantané de toute la période d'étude (1957-58/2011-12) a atteint 2340m³/s. Pour la station de Bab Marzouka (1500 km²) qui située dans une zone intermédiaire entre le Moyen Atlas au Sud-Est, et les collines Pré-rifaines au Nord, présente une valeur plus basse que dans le Haut Sebou de 32,3 le 13-02-1979; le débit de pointe de cette crue était de l'ordre de 1250m³/s durant la période d'étude (1970-71/2006-07). Cependant à la station de Bab Echelhoub (989km²), la valeur de **H** semble moins élevée; 13 suite à la crue orageuse du 27-09-2000 avec un débit de pointe de l'ordre de 409,17m³/s entre 1987-88 et 2006-07.

- **À l'oued Ouergha**, les crues hivernales ont les valeurs de **H** les plus élevées du bassin de Sebou. À la station d'Ain Aicha (2460km²), la valeur **H** est de 49 le 07-02-1998, date d'enregistrement de la forte valeur de débit instantané de la série d'étude (1980-81/2010-11) qui est de l'ordre de 2430m³. Plus en amont à Bab Ouender (1756 km²), la valeur de **H** apparaît aussi plus élevée; 44,8 le 12-01-1970, date de la plus forte valeur du débit instantané de toute la période d'étude (1960-61/2010-11); 1870 m³/s. Pour la station de M'jaâra (6190km²), la valeur de **H** a atteint 88,9 le 10-03-2010, date de la plus forte valeur d'écoulement instantané dans le bassin de Sebou, puisque le barrage Al Wahda avait reçu un apport hydrométrique volumineux de 7000m³/s.

- **Au bassin de l'oued Beht**, par contre la valeur de **H** est la plus forte au niveau des sous bassins montagneux du bassin de Sebou, car elle n'est que 14,5 d'après la crue instantanée maximale du 30-11-2010 l'oued a écoulé un débit de 699m³/s pour la période étudiée (1990-91/2011-12) sachant que la superficie de drainage est de 2311,3km².

²⁶ : **Q** : étant le débit maximal instantané (m³/s).
A : surface du bassin versant en Km².

Enfin, le coefficient de la puissance de la crue dans le bassin versant de Sebou est très important sur le versant rifain qui est caractérisé par les valeurs les plus élevées. Ceci est en rapport avec les fortes intensités pluviométriques des montagnes et leurs fortes pentes qui facilitent la propagation des crues vers l'aval. En revanche ces valeurs diminuent aux versants Moyen-atlasiques en raison d'une topographie moins rigoureuse et un substrat karstique à forte rétention pluviométrique.

1.6.2. Vitesse de propagation des crues vers l'aval

Pour obtenir la vitesse de propagation des crues dans le bassin de Sebou, la méthode consiste à diviser la distance séparant les deux stations amont et aval par la durée temps qui sépare les deux maximums instantanés de la crue. Dans le tableau.n°39, nous avons selon les données disponibles prises des exemples de crues dont l'évolution pourrait nous renseigner sur les temps et les vitesses de propagation des flots vers l'aval.

• **Dans le bassin du Haut Sebou entre Ait Khabache et Azzaba**, à partir du tableau n°39, on a extrait la vitesse d'écoulement et la durée de la propagation des crues entre les deux stations étudiées. Bien que la vitesse d'écoulement puisse varier d'une crue inondable à l'autre, selon l'intensité des chutes pluviométriques, on a constaté que la durée de propagation de la crue du 10-10-2008 s'est déroulée en 6h c'est-à-dire en 10,5 Km/h. Quant à la crue du 09-03-2009, elle a été plus rapide car son temps d'écoulement entre les deux stations n'est que 5h avec une vitesse de drainage de 12,6km/h. On peut expliquer cette différence par l'effet du substrat car la première crue s'est produite en octobre alors que le sol n'est pas encore saturé en humidité. Cependant la deuxième crue s'est développé en mars, où les effets d'infiltration sont moindres et l'écoulement est à son état optimal de l'année.

En outre, des formations géologiques karstiques à travers leur capacité d'infiltration jouent un rôle d'alimentation des nappes phréatiques lors de la saison automnale et hivernale, ce qui peut retarder le temps de la propagation des crues. Ainsi, on ne peut pas oublier le rôle d'anthropisation des vallées du Haut Sebou avec la présence des petits barrages d'irrigation qui peuvent limiter la vitesse de l'écoulement de l'eau vers l'aval.

• **Dans le bassin du Haut Ouergha entre Bab Ouender et Ain Aicha**, le temps de propagation des crues vers l'aval est plus rapide que dans le Haut Sebou; 2h pour la crue du 24-01-1996 et la crue du 07-02-1998, soit une vitesse de 17km/h. Ce temps reflète la réponse hydrologique rapide du bassin de l'oued Ouergha aux pluies du domaine rifain qui ont cumulé entre le 18 et 24 janvier 1996 147mm à Bab Ouender et 105mm à Ain Aicha. Pour la crue du 07-02-1998, on a enregistré respectivement 146 et 85 mm entre le 2 et 7 février. L'importance des formations géologiques argilo-marneuses imperméables, la présence des versants abrupts, expliquent le caractère rapide et violent des crues du bassin de de l'oued Ouergha pendant la saison hivernale.

• **Dans le bassin d’Inaouene entre Bab Echehoub et Bab Marzouka**, la vitesse temps de propagation de l’écoulement entre les deux stations semble moins rapide que ceux d’oued Ouergha. Entre 5 et 8 km/h, car le temps de débordement de l’oued Larbaa est de 2h pour les deux crues du 27-12-1989 et du 21-04-2007, sur 15 km de distance. Cela est bien entendu en relation avec la faiblesse de la pente de l’écoulement de l’oued Larbaa à partir de Bab Echehoub jusqu’à Bab Marzouka qui se trouve juste après la confluence de celui-ci avec oued Inaouène.

Tableau. n°39: Temps de propagation de crue et leur vitesse d’écoulement dans le Bv de Sebou.

Bassins	Date des crues	Heure de crue	Heure de crue	Distance (km)	Temps	Vitesse en km/h
Haut Sebou	10-10-2008	12h à Ait Khabache	18 h à Azzaba	63	6h	10,5km/h
	09-03-2009	03h 30 à Ait Khabache	08h 30 à Azzaba		5h	12,6 km/h
Inaouene	27-12-1989	9h30 à Bab Echehoub	12h 30 à Bab Marzouka	15	03h	5 km/h
	21-04-2007	10h à Bab Echehoub	12h à Bab Marzouka		02h	7,5 km/h
Ouergha	24-01-1996	03h à Bab Ouender	5h à Ain Aicha	34	2 h	17 km/h
	07-02-1998	4h à Bab Ouender	06 h à Ain Aicha		2 h	17 km/h

Conclusion du 1^{er} chapitre

En conclusion les crues de l’oued Sebou et de ses principaux affluents se manifestent le plus souvent en saison hivernale et printanière. Leurs caractéristiques et leurs évolutions dépendent de la durée, de l’intensité et du total pluvieux des séquences pluviométriques, ainsi que de l’état des différents réservoirs avant le début des pluies. Au sein de l’année hydrologique la fréquence importante des crues se situe entre novembre et mars. Cependant les crues exceptionnelles restent totalement dépendantes de l’apport pluvial et de son intensité en amont du bassin versant de Sebou.

L’analyse statistique des crues montre une grande inégalité où à l’échelle interannuelle, nous avons pu distinguer entre des années avec une grande concentration de crues et d’autres plus médiocres. À l’échelle mensuelle les crues d’hiver sont les plus dominantes. La majorité des crues de Sebou sont de crues simples; plus de 80%, mais les crues complexes sont non négligeables surtout au bassin de l’Ouergha et se sont les plus responsables des crues inondables dans le bassin.

Les situations atmosphériques responsables des crues sont multiples. De l’étude typologique nous avons pu distinguer entre les crues d’origine atlantique, méditerranéenne,

locale et orageuse. Ainsi chaque affluent du Sebou agit d'une manière différente selon le type de genèse atmosphérique affectant le bassin lors des phases de crues. En outre le même type de situation peut donner naissance à des crues différentes, aussi bien par leur puissance que par leur volume, selon la capacité hygrométrique des systèmes pluvieux. Enfin on a remarqué que la vitesse de l'écoulement lors des crues dépend surtout de la pente, du substrat géologique et de l'intensité pluviométrique.

DEUXIÈME CHAPITRE:

Inondations historiques du Gharb, spatialisation et degré de vulnérabilité

Introduction:

Dès 1963, la plaine du Gharb a connu des inondations destructives causées par des pluies intenses au cours des années humides sur l'amont du bassin versant de Sebou. Ces pluies diluviennes ont abouti à l'augmentation du niveau d'eau de l'oued Sebou et de ses principaux affluents et le débordement des barrages: Al Wahda, Idriss I et El Kansara... causant des inondations dans la plaine du Gharb. Ces inondations avaient infligé d'importants dégâts humains et matériels pendant les années humides; 1963, 1996, 2009 et 2010.

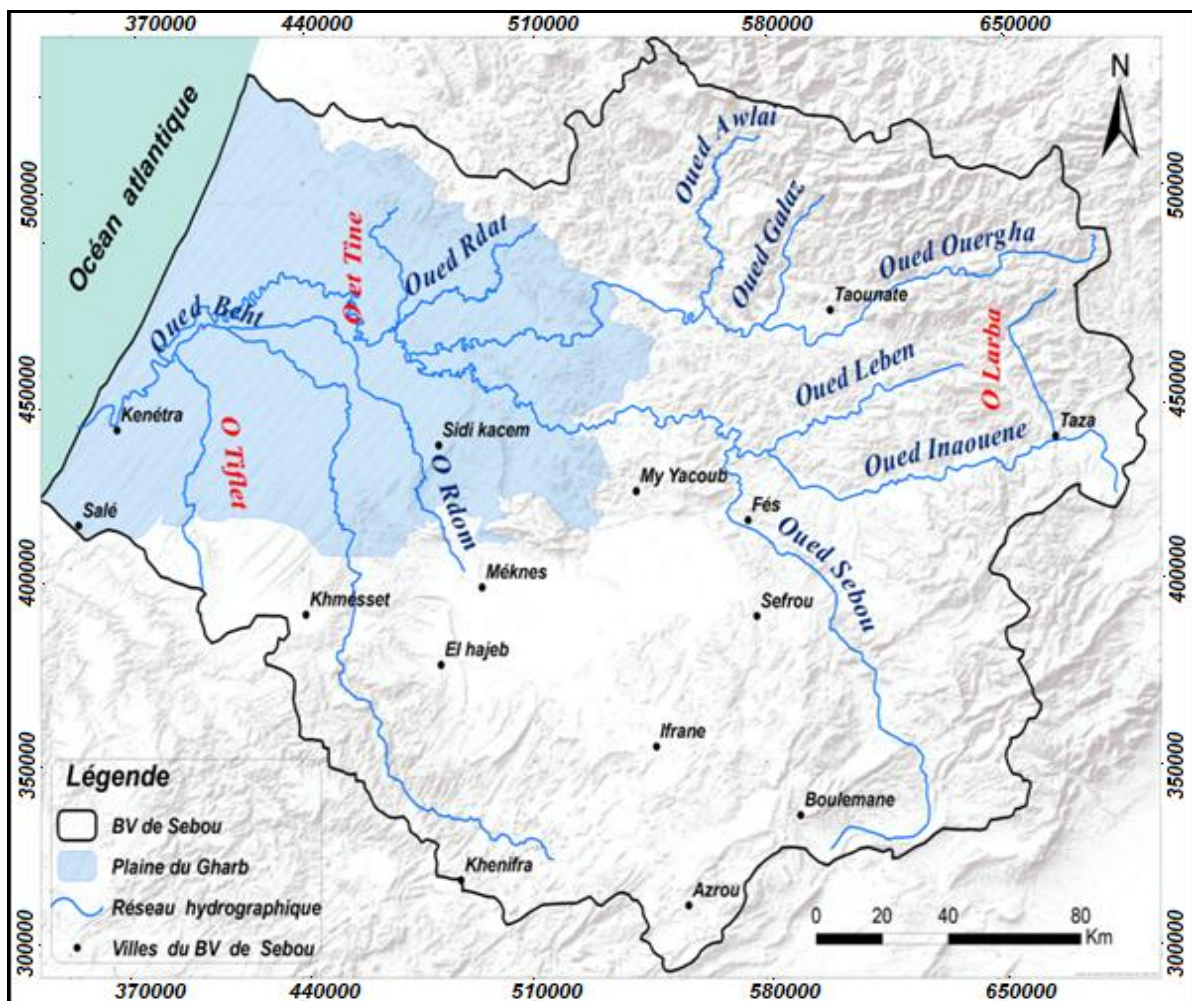
Les débits observés des crues historiques sont un élément primordial pour la prévision des inondations, la gestion des cours d'eau et des plaines inondables. L'application d'un modèle hydraulique plus fiable, nous permet de calculer la hauteur d'eau atteinte par l'écoulement et d'élaborer des cartes de la vulnérabilité à l'aléa d'inondation dans le Gharb.

À cet égard, nous avons effectué une spatialisation hydraulique de la plaine, dont l'objectif est de déterminer les zones de débordement, en intégrant tous les paramètres fondamentaux, tels que la géométrie, les débits, au sein d'un modèle hydraulique dont on espère que les résultats obtenus soient plus proches de la réalité. Ce travail a été réalisé par une combinaison de plusieurs logiciels: HEC-RAS 5.0.3, HEC-Géo-RAS et ARC GIS 10.2.

2.1. Présentation de la plaine du Gharb

La plaine du Gharb est située au Nord-Ouest du Maroc et couvre une superficie de l'ordre de 616 000 hectares, soit un peu plus de 6160 km² (TAKY. A 2009). Elle est limitée par l'Océan Atlantique, les collines de préif et le plateau de la Maâmora, avec une altitude comprise entre 4 et 25m. Cette plaine est composée d'une zone côtière constituée du cordon dunaire, des dépressions inondées, des dunes intérieures, et des bordures continentales de la plaine alluviale centrale du bas Sebou le cours principal du bassin.

Le Gharb à l'état naturel est une zone semi-marécageuse en saison froide avec la présence de vastes Merjas (marais temporaires) qui se transforment en steppes brûlées pendant la saison sèche. Le réseau hydrographique comprend l'oued Sebou et ses principaux affluents (Beht, Ouergha et R'dom ...) qui apportent un volume d'eau annuel de 6 milliards de m³, soit 27% du potentiel national en eau mobilisable. Les réserves d'eaux souterraines sont estimées à 900 millions de m³. Avant le creusement des canaux du "réseau d'assainissement du Gharb", les eaux pluviales, les eaux de ruissellement des collines périphériques et les apports de plusieurs oueds se rassemblaient dans les dépressions du Gharb pour former des «Merjas» quasi-permanentes qui ne disparaissent que par évaporation, pendant les saisons de sécheresses prolongées.



Carte. n°41: Situation géographique de la plaine du Gharb.

2.2. Modélisation des inondations historiques de la plaine du Gharb

La plaine du Gharb avait connu de vastes inondations catastrophiques, comme il a été évoqué pendant les années soixante, et deux mille. Si aux premières années elles se sont produites avant la construction du barrage EL Wahda (3,8 milliard de m³), celles de 2008-09 et 2009-10, se sont engendrées par de fréquentes lâchées d'eaux afin d'écarter le plus grand barrage du Maroc, ayant connu des flux rapprochés des crues durant la saison hivernale des

deux années. Dans le but d'étudier l'ampleur des inondations dans la plaine du Gharb, nous avons choisi de faire une modélisation de ce risque climatique qui va nous permettre de mesurer l'importance et le degré de submersion des eaux dans la plaine du Gharb.

2.2.1. Étapes d'élaboration du modèle hydraulique

D'après DEBIANE. K (2000), la simulation hydraulique d'un écoulement qu'il soit permanent ou non, peut se réaliser à travers l'utilisation du logiciel **HEC-RAS 5.0.3**, et le Système d'Information Géographique **Arc GIS 10.2**. Afin de garantir l'interopérabilité entre ces deux logiciels, l'USACE²⁷ a développé l'extension HEC-Géo-RAS (Fig. n°65). Cette extension assemble les différents utilitaires pour le traitement des données géospatiales dans Arc GIS en utilisant une interface utilisateur graphique. Elle permet de préparer les données géométriques à exporter vers HEC-RAS et de récupérer les résultats de simulations effectuées par ce dernier.

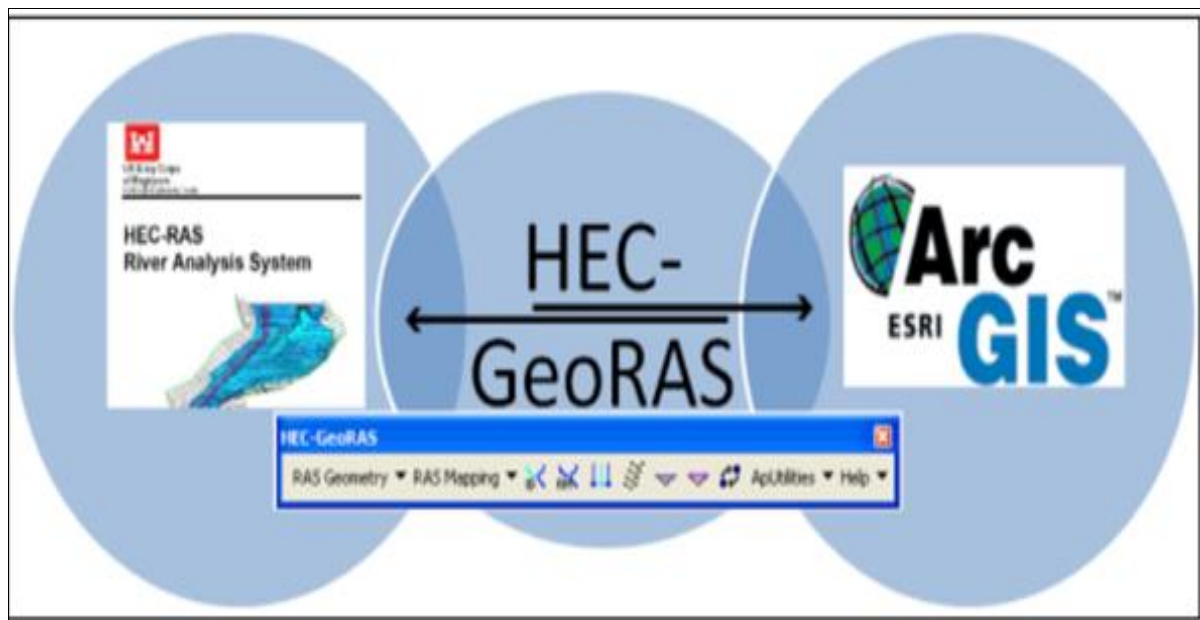


Figure. n°65: Schématisation de l'interopérabilité des programmes utilisés.

2.2.1.1. Création géométrique de certains tronçons d'oueds au sein du bassin

L'étape de la préparation des données topographiques est faite sur Arc MAP© à l'aide de l'extension HEC-Géo-RAS. L'opération consiste à élaborer des fichiers contenant les caractéristiques géométriques des tronçons d'oueds extraits du MNT.

²⁷ : US Army corps of engineers.

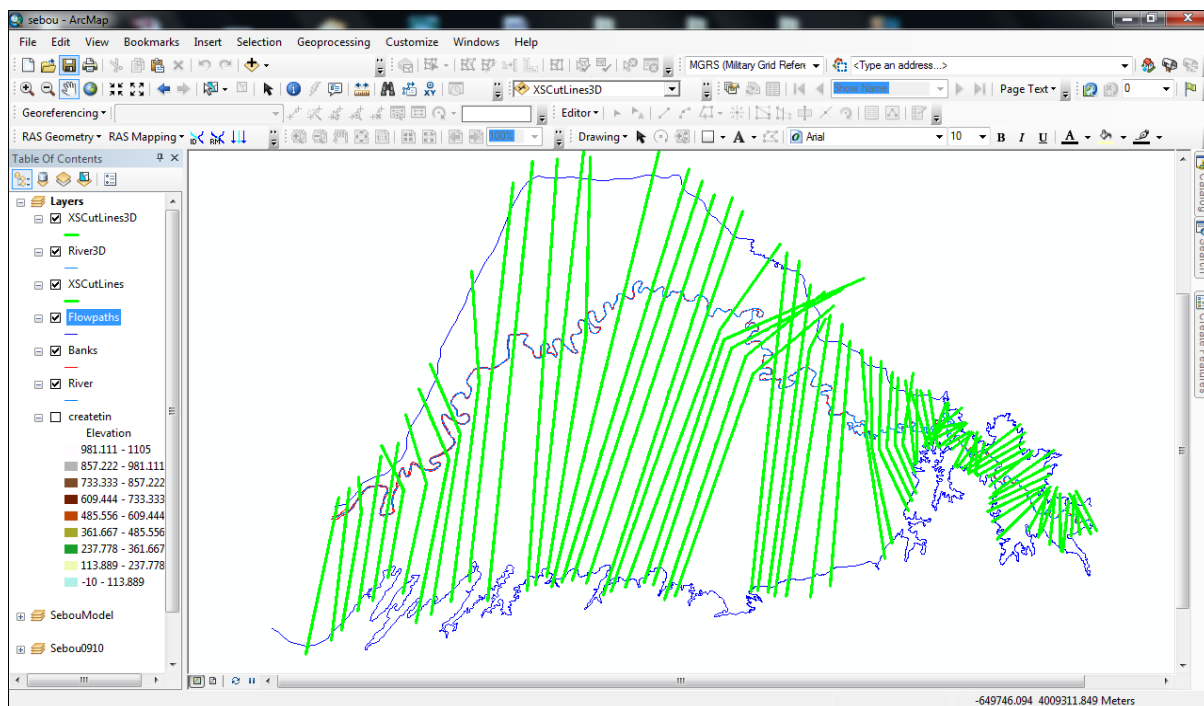


Figure. n°66: Quelques entités géométriques numérisées sur Arc Map à l'aide de l'extension HEC-Géo-Ras.

Le fichier de géométrie comprend le tracé du chenal principal de chaque oued, la délimitation du lit majeur exceptionnel, ainsi que des profils en travers (sections). Ces derniers méritent une attention particulière, car ils constituent la base de toutes les simulations hydrauliques des inondations. Afin d'augmenter leur précision, des centaines de profils en travers ont été relevés pour chaque oued. Une fois le dossier d'importation est prêt, HEC-RAS l'exporte grâce à la commande géométrique data et fait apparaître la fenêtre suivante:

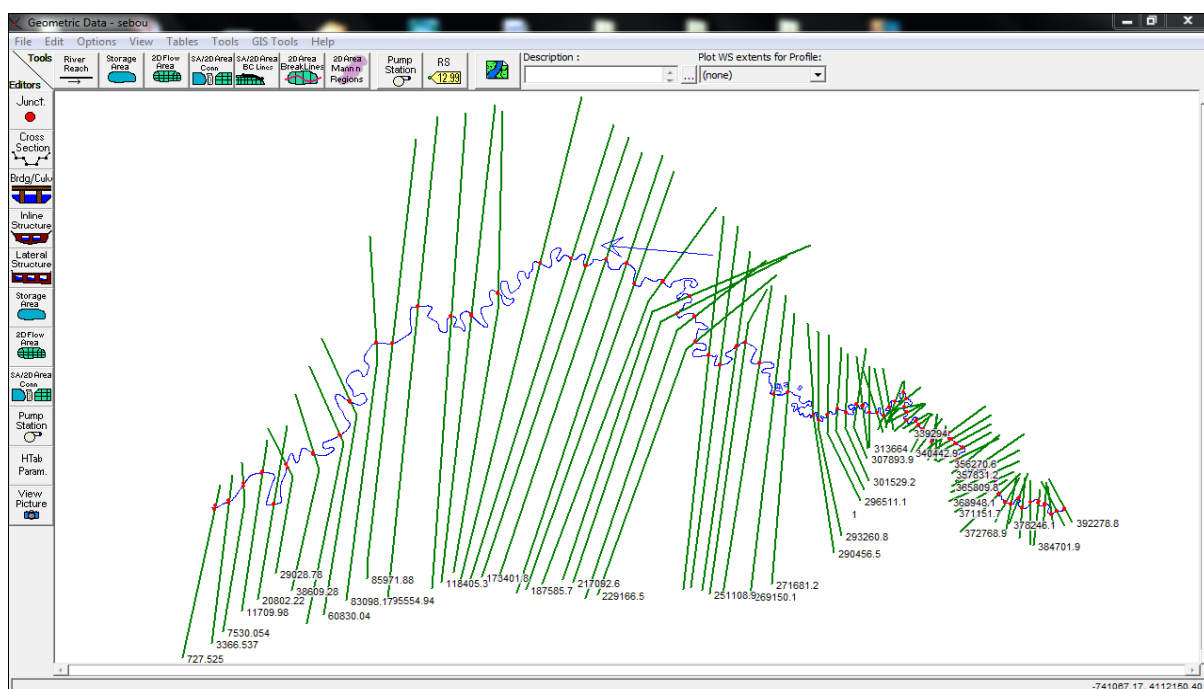


Figure. n°67: Importation de la géométrie du tronçon a modélisé dans HEC-Ras.

2.2.1.2. Choix des paramètres hydrométriques

Après la préparation géométrique des tronçons choisis, nous avons spécifié les débits utilisés (Fig. n°67) pour calculer les profils d'écoulements. Les valeurs obtenues concernent le débit significatif qui correspond aux années inondables; 1963, 1996, 2009 et 2010 dans la plaine du Gharb. Après avoir introduit tous les débits correspondant aux profils d'écoulement, nous avons défini les conditions aux limites. Si l'écoulement est torrentiel (Supercritique) les conditions aux limites vont être en amont, si l'écoulement est fluvial (Infra-critique) les conditions aux limites vont être en aval.

Le logiciel HEC-RAS offre la possibilité de faire entrer comme conditions aux limites, une hauteur d'eau connue, une profondeur critique, une pente normale du point en amont ou en aval selon le régime d'écoulement, et une courbe d'estimation de différentes hauteurs d'eau et leurs débits correspondants. Pour notre cas, nous avons introduit la valeur de **0.15 m/m** comme une pente normale évaluée à l'amont de la plaine du Gharb, la figure.n°68 indique ces conditions aux limites.

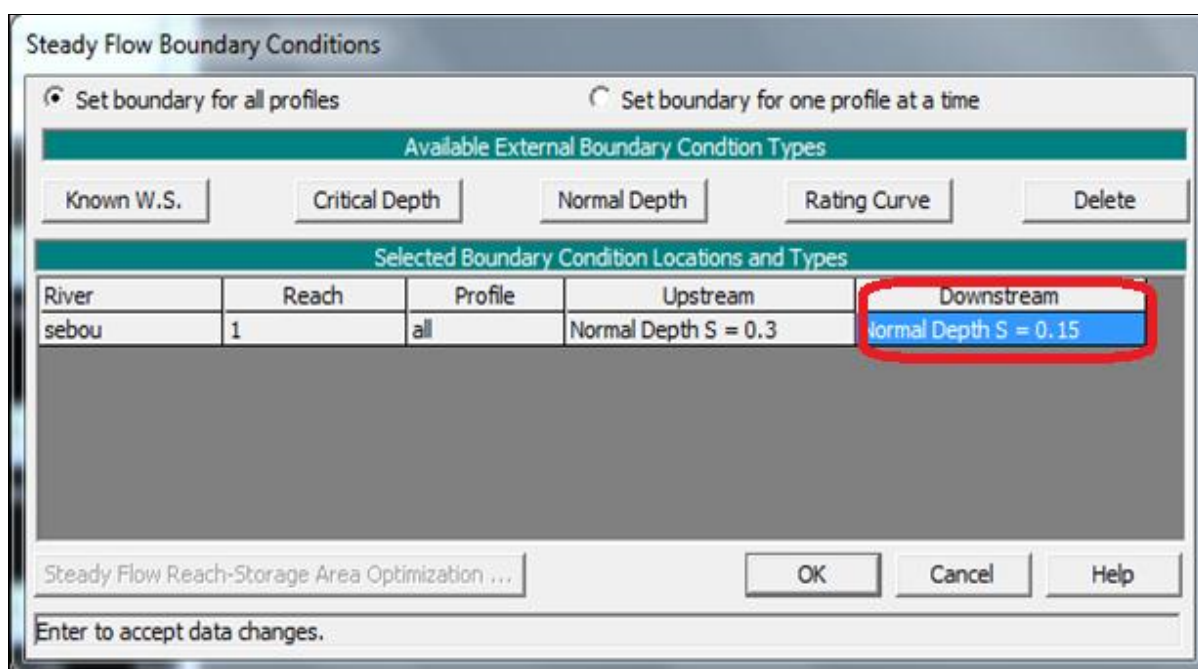


Figure. n°68: Introduction des conditions aux limites pour l'écoulement.

2.2.2. Simulation hydraulique

La saisie des données géométriques concernant les profils des sections transversales et les débits observés pendant les années: 1963, 1996, 2009 et 2010, ainsi que les conditions limites dans le logiciel HEC-RAS ont permis d'effectuer les calculs et d'extraire les résultats obtenus. Ceux-ci concernent la forme du profil de chaque tronçon simulé, le niveau d'eau de chaque période de retour sur les profils, est une vue en trois dimensions du niveau d'eau dans le tronçon d'étude des tables descriptives qui indiquent la courbe de tarage.

2.2.2.1. Les profils en long

La ligne d'eau représente une vue de profil du tronçon d'étude avec le niveau et la surface d'eau de l'oued Sebou et ses principaux affluents, puis le niveau de débits de l'oued à chaque année. Dans le cas de cette étude, la différence entre les niveaux des années étudiées est bien lisible. Le comportement des crues inondables est sensible aux irrégularités de la topographie de chaque oued traversant la plaine du Gharb.

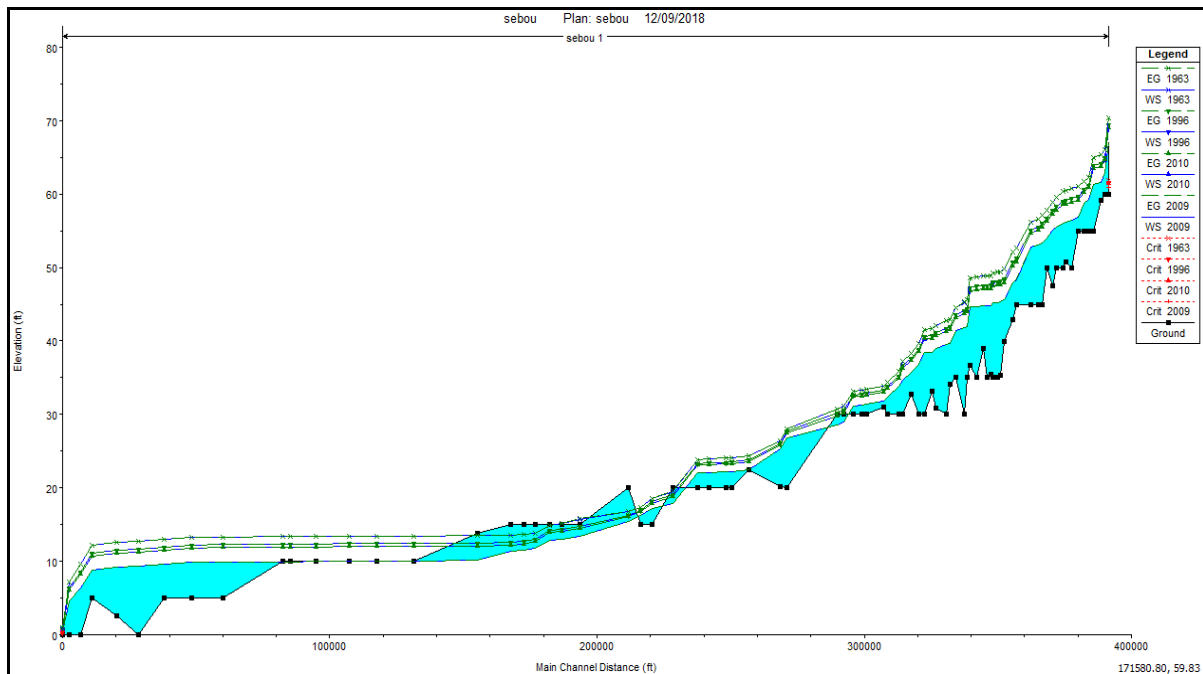


Figure. n°69: Le profil en long du tronçon modélisé de l'oued Sebou.

2.2.2.2. Étapes d'élaboration du model

Cette option d'affichage des résultats par profils transversaux, permet d'acquérir le maximum de détails à chaque point choisi du tracé du cours d'eau. La section transversale représentée par la figure. n°70, permet de comparer à ce point précis, les hauteurs d'eau résultantes des débits sortant face à celles des débits entrant.

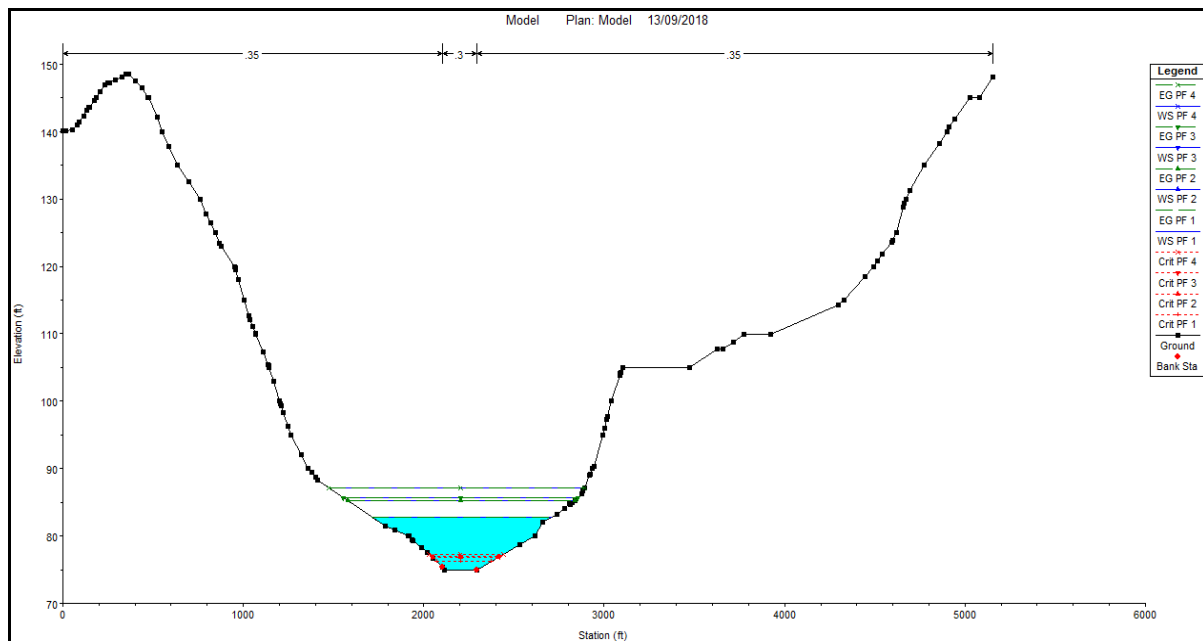


Figure. n°70: Le profil en travers d'une station.

2.2.2.3. Vue de trois dimensions du tronçon modélisé

La vue en **3D** (Fig. n°71) permet de déterminer les points de débordement d'eau toute au long du tronçon de l'oued Sebou, Ouergha et Beht. Mais il ne permet plus de donner des informations sur les zones inondables. Ce qui détermine les zones inondables, c'est le logiciel Arc-GIS 10.2 à travers l'extension HEC-Géo-RAS, celui-ci donne seulement les zones où il y a un débordement d'eau.

D'après la figure en dessous, le débordement au sein des tronçons étudiés qui concernent les inondations historiques des années 1963, 1996, 2009, et 2010, est causé essentiellement par la faible pente en particulier dans la plaine du Gharb qui est caractérisée par un dysfonctionnement de l'écoulement dont la concentration d'eau sera importante en fonction de la faible altitude qui se situe entre 4 et 25m.

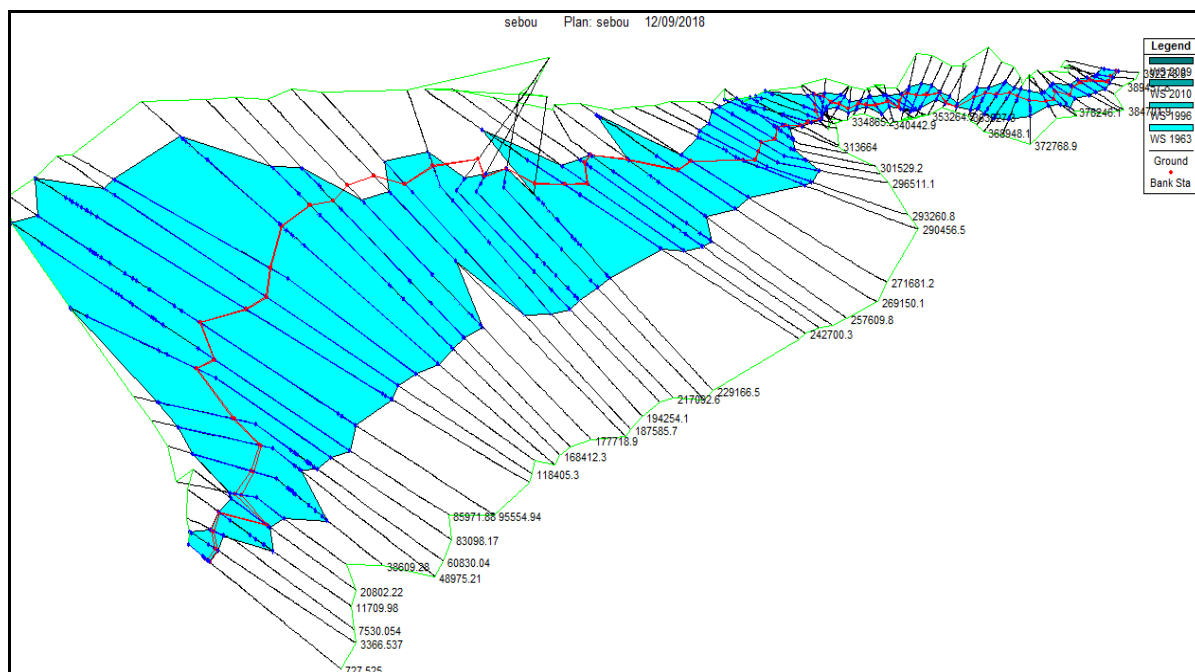


Figure. n°71: Vue en 3D de la zone la plus débordé du tronçon simulé.

2.2.2.4. Vitesse de l'écoulement

La figure n°72 présente la variation de la vitesse d'écoulement des eaux pour chaque cas étudié en fonction de la distance entre l'exutoire sur la bordure gauche, au centre et sur la bordure droite de l'oued Sebou après la confluence entre l'oued Ouergha et avant l'oued Beht.

Nous avons observé presque la même allure pour tous les niveaux d'eau, mais on a constaté une variation de vitesse; parfois cette vitesse d'écoulement augmente et d'autre fois elle diminue. Elle est plus importante à l'amont de la plaine où l'altitude dépasse 25m, néanmoins la diminution du débit sera progressive vers l'aval. Nous avons remarqué aussi que la vitesse varie entre la rive droite et la rive gauche du tronçon; elle est plus importante à gauche toute en long de l'oued Sebou.

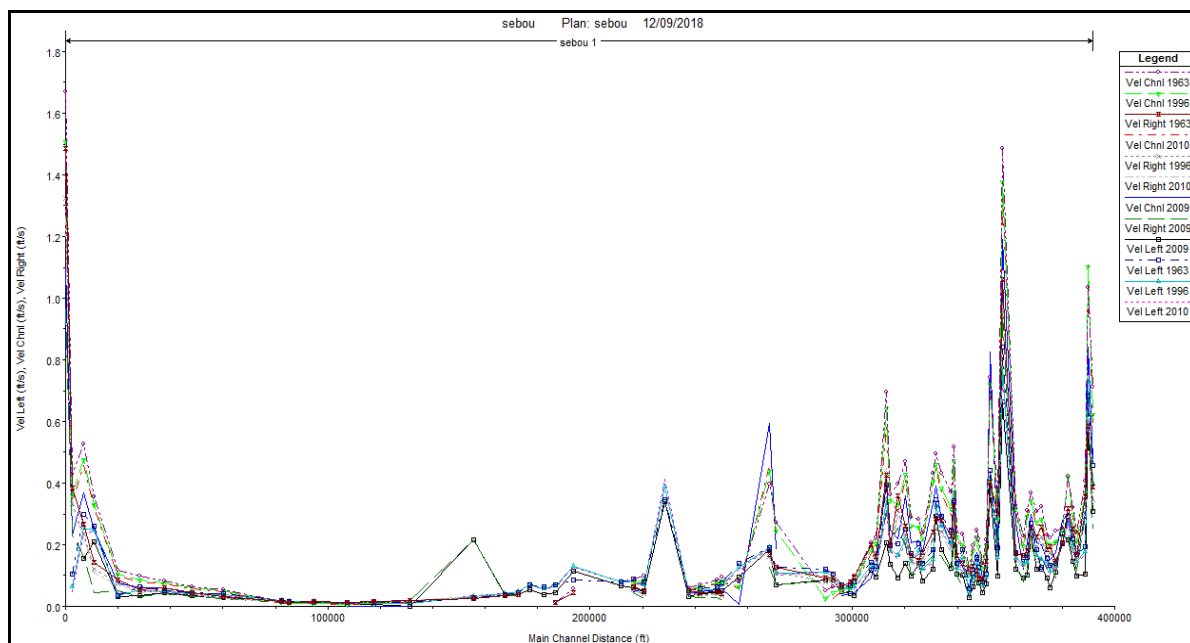


Figure. n°72: La variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire.

2.2.2.5. Restitution de la courbe de tarage

La figure n°73 représente la courbe de tarage décrivant la relation expérimentale entre les hauteurs d'eau en (**m**) et les débits en (**m³/s**) correspondants d'un cours d'eau. La courbe reliant les points expérimentaux apparaît généralement linéaire pour les hauteurs fortes et moyennes; en l'absence d'équation mathématique, la relation est utilisée sous sa forme graphique. Les causes d'instabilité de la relation hauteur-débit sont multiples: évolution du fond meuble, développement de la végétation aquatique, accumulation de débris...

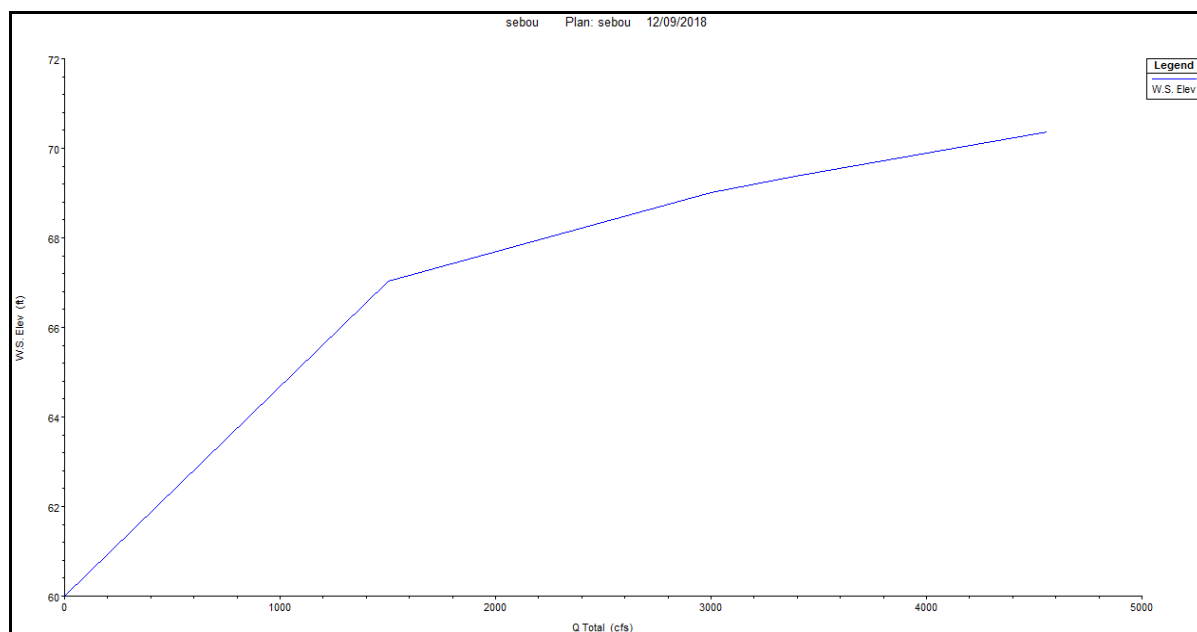


Figure. n°73: Courbe de tarage du tronçon modélisé de l'oued Sebou.

2.2.3. Détermination des zones inondables dans le Gharb

La détermination des zones touchées lors des inondations historiques a été réalisée par la cartographie de ces zones après extrapolations du logiciel Arc Gis 10.2. Pour la mise en évidence de cet aléa dans la plaine du Gharb, nous avons rétabli les lits de tronçon d'eau des oueds qui traversent le Gharb sur la base de fond topographique. Sachant que les débits sont en général forts, nous avons cartographié seulement les zones qui sont touchées par les crues inondables, et qui s'étalent sur une surface inondée significative.

2.2.3.1. Spatialisation des inondations historiques dans le Gharb et leurs caractéristiques

La plaine du Gharb a connu de sévères inondations, les plus dévastatrices ont eu lieu pendant les années 1963, 1996, 2009 et 2010. Ces événements hydrologiques catastrophiques ont inondé des milliers d'hectares de terrains agricoles, et endommagé les principales infrastructures de la plaine. Avec la submersion de plusieurs habitations, celles-ci se sont effondrées ce qui a nécessité l'évacuation de plusieurs familles sinistrées. Ainsi d'importants dommages économiques et sociaux (3^{ième} chapitre; partie III) se sont produites dans cette région durant ces inondations exceptionnelles (cartes: n°42, 43, 44 et 45 et le tableau n°40). Ci-dessous les noms des communes et les Douars inondés dans la plaine du Gharb à partir de Google Earth pro et la carte n°40, afin de situer ces endroits pour chaque inondation historique étudiée.

Tableau. n°40. Les caractéristiques des inondations historiques du Gharb.

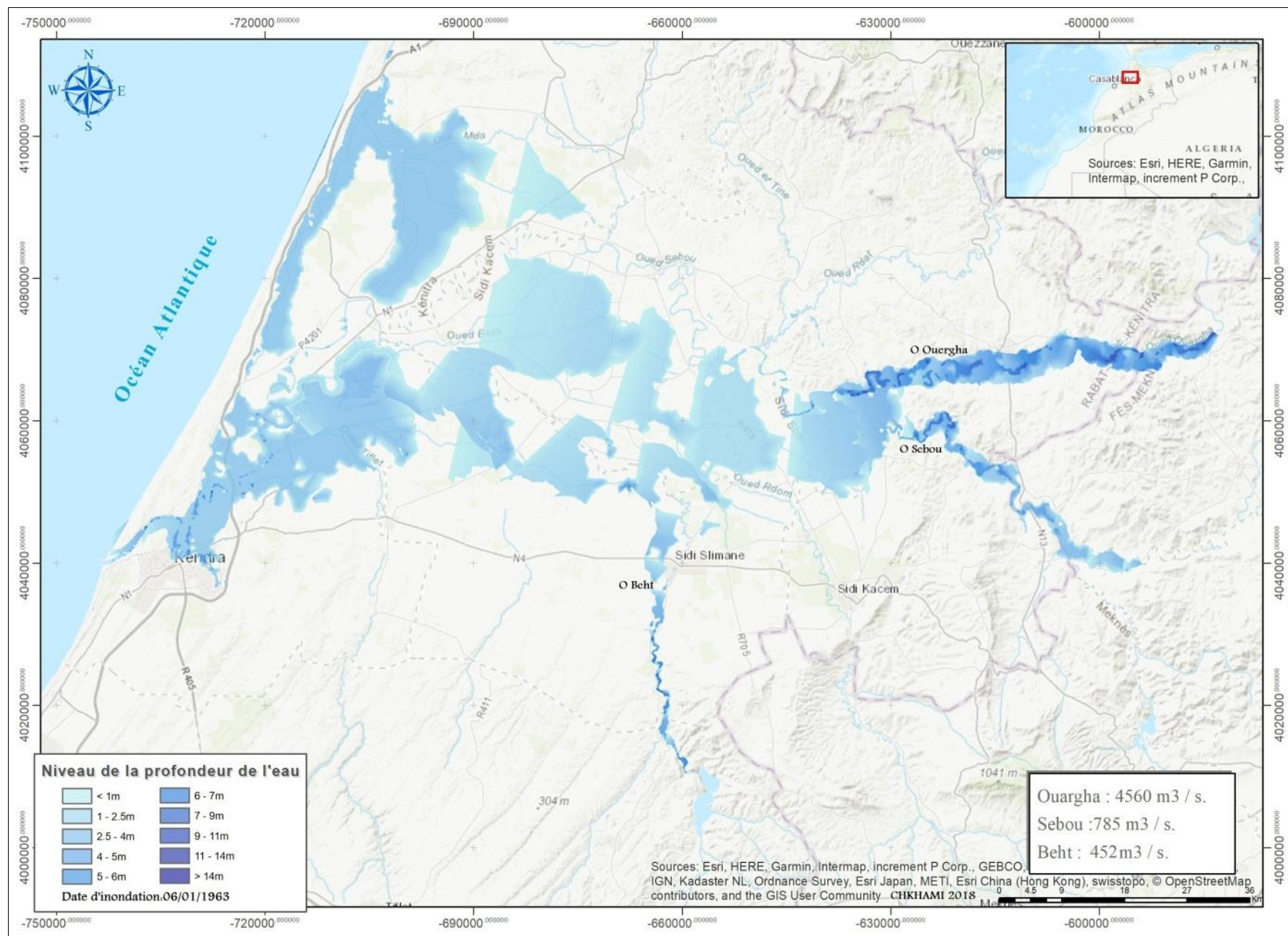
Stations hydrométriques	Coordonnées géographiques		Débits	Barrages	Cours d'eau	Dates	Surfaces inondées (ha)
	Lat (xm)	Lon (ym)					
M'jaâra	513,6	443,2	4560 m ³ /s	Al Wahda	Ouergha	06-janv 1963	238200
Azibe Soltane	492	413,9	785 m ³ /s	A El Fassi+ Idriss I	Sebou		
El Kansara	452,1	382,6	452 m ³ /s	El Kansara	Beht		
M'jaâra	513,6	443,2	3390 m ³ /s	Al Wahda	Ouergha	24-janv 1996	212400
Azib Soltane	492	413,9	327 m ³ /s	A El Fassi+ Idriss I	Sebou		
El Kansara	452,1	382,6	176 m ³ /s	El Kansara	Beht		
M'jaâra	513,6	443,2	1500 m ³ /s	Al Wahda	Ouergha	08-févr 2009	210300
Azibe Soltane	492	413,9	113m ³ /s	A El Fassi+ Idriss I	Sebou		
El Kansara	452,1	382,6	313m ³ /s	El Kansara	Beht		
M'jaâra	513,6	443,2	3000 m ³ /s	Al Wahda	Ouergha	10-mars 2010	253800
Azib Soltane	492	413,9	1247 m ³ /s	A El Fassi+ Idriss I	Sebou		

El Kansara	452,1	382,6	188 m ³ /s	El Kansara	Beht		

2.2.3.1.1. Inondation de janvier 1963 de la plaine du Gharb

Dans les années soixante, la plaine du Gharb a connu des inondations catastrophiques le 06 janvier 1963 qui restent gravés dans la mémoire de la population à cause du volume d'eau transporté de l'amont du bassin versant de Sebou vers les zones alluviales en aval. En effet, le débit de la crue du 6 janvier avait atteint 785m³/s au cours moyen de Sebou avant la confluence avec l'oued Ouerghra. Cependant en aval sur la plaine du Gharb, oued Sebou avait ajouté, 452m³/s de l'oued Beht, mais surtout 4560 m³/s issus de l'oued Ouerghra qui a fourni l'apport en eau le plus important de cette crue, qui a submergé une surface estimée à 238200 ha en raison de pluies abondantes sur le bassin de provenance de façade atlantique, qui ont apporté par exemple 432,8mm à Bab Ouender sur le Haut Ouerghra, entre le 25 décembre 1962 au 8 janvier 1963.

La propagation de cette crue inondable est à l'origine de la submersion des zones avales, où les plans d'eau peuvent atteindre +14,5m aux fonds de vallées de l'oued Ouergha et ses bordures, comme à Jorf El Melha, Khenichet. Au niveau de l'oued Sebou nous pouvons citer; Laabiyate, Ouled Jerrar, Tekna et Mograne. Pour l'oued Beht; la zone engloutie d'eau est celle qui se trouve entre barrage El Kensara et Dar Bellemer. Cependant, plus en bas la profondeur de la lame d'eau diminue entre 7m et 14,5m, au sein des dépressions intérieures (Merjas) dans la province de Kenitra-Sidi-Yahya (Dar Gueddari, Sidi Kamel, Allal Tazi, Tarchan et Lemnassera) et à la province de Sidi Kacem. Enfin, la hauteur de l'inondation devient plus faible, et descend vers une fourchette de 1 à 7m, sur les bordures les plus élevées de la plaine, dont El Haouafate, Mechrâa Belksiri, Souk Larbaa du Gharb et Ouled Youssef). La topographie du Gharb en fait, avait joué un rôle primordial dans la stagnation et la profondeur différente des lames d'eau de la plaine.



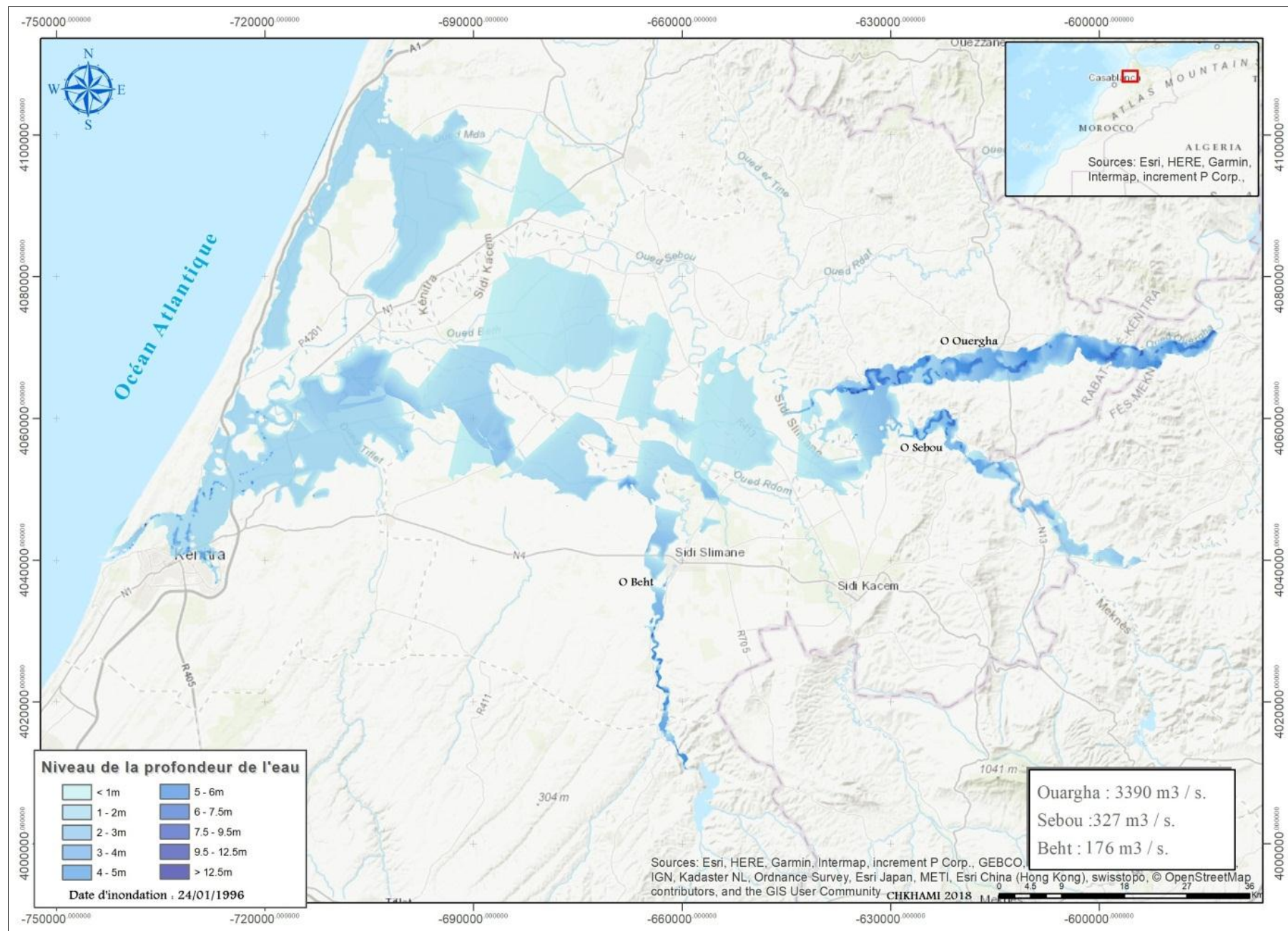
Carte. n°42: Spatialisation des inondations historiques (06-01-1963) dans la plaine du Gharb.

2.2.3.1.2. Inondation de janvier 1996 de la plaine du Gharb

La carte n°43 et le tableau n°40 représentent la crue inondable de la plaine du Gharb le 24 janvier 1996. Cette crue est classifiée parmi les événements hydro-climatiques exceptionnels dans le bassin versant de Sebou en prenant en compte le volume d'eau déplacé vers l'aval du bassin. La genèse atmosphérique de cette crue inondable est due principalement au passage des flux perturbés atlantiques qui ont suivis une trajectoire Nord-Ouest atlantique.

Les pluies responsables de cette crue, sont réparties sur 6 jours entre le 19 et 24 avec un cumul important au bassin de l'Ouergha; 147mm à la station de Bab Ouender, 105mm à Ain Aicha et 398,1mm à Jbel Ouedka dans le Rif. En revanche pour d'autres bassins, les précipitations reçues sont moindres; 71mm à Bab Marzouka au bassin d'Inaouène, 55,9mm à Oueljet Soltane et 77mm à Sidi Mokhfi au bassin de Beht. Ainsi l'origine géographique de cette inondation est plutôt rifaine car l'oued Ouergha avait connu un débit journalier de 1164m³/s le 24-01-1996 à la station d'Ain Aicha, 224 m³/s le 22-01-1996 à Galaz et 587m³/s le 24-01-1996 à Ghafsai, mais 3390 m³/s plus en aval à la station de M'jaâra. Cependant l'oued Beht pendant cette crue avait écoulé 247m³/s enregistré le 23-01-1996 à la station d'Oueljet Soltane.

Les surfaces inondées dans le Gharb pendant cette phase de crue se sont étalées selon nos estimations sur 212400 ha. La carte n°43, nous a permis de dégager les limites et la hauteur variable des plans d'eau d'inondation dans la plaine. Dans les fonds des vallées, elle peut dépasser plus de 14,5m dans la vallée de l'oued Ouergha à la commune de Jorf El Melha et Khenichet, aux vallées de Sebou à la commune de Laabiyate et dans le Douar d'Ouled Jerrar et Tekna et Mograne et à la commune de Sidi Yahya Gharb qui est submergée par oued Beht. Cependant la profondeur d'eaux se trouve entre 7m et 14,5m au niveau des zones planes de la province de Kenitra-Sidi-Yahya (commune à Sidi Kamel, Allal Tazi et Lemnassera) et à la province de Sidi Kacem (commune de Khenichet à la confluence de l'oued Ouergha et Sebou). Aux bordures de la plaine, dont certaines parties de la commune d'El Haouafate, Mechrâa Belksiri) la hauteur de l'eau descend à moins de 7 m et même jusqu'à 1m.



Carte. n°43: Spatialisation des inondations historiques (24-01-1996) dans la plaine du Gharb.

2.2.3.1.3. Inondation de la plaine du Gharb du mois de février 2009

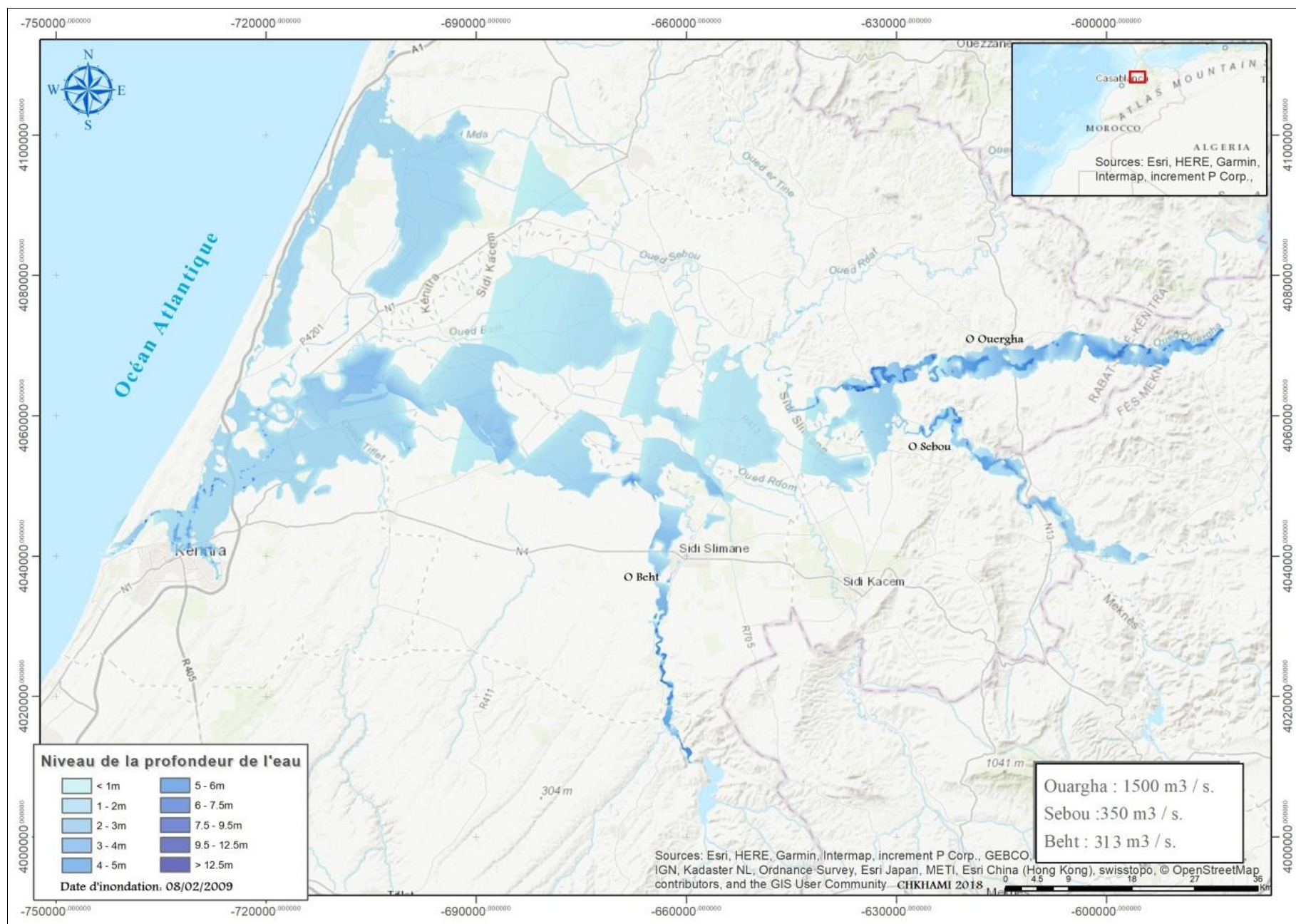
Le bassin du Sebou et particulièrement la zone du Gharb ont été le théâtre de crues exceptionnelles durant le mois de février 2009. Ces crues ont été causées par des inondations de grande ampleur dans la plaine du Gharb (carte n°44 et Tab. n°40).

La situation pluviométrique dans le bassin du Sebou à la veille de l'épisode pluvieux du 30 janvier au 08 février 2009 a été caractérisée par une grande vallée froide qui a occupé l'Océan Nord Atlantique marquant le déplacement du courant-Jet subtropical vers le Maroc. Le centre dépressionnaire sur l'atlantique proche a poussé un temps perturbé de NO en direction du bassin. Cette situation pluvieuse a été accompagnée de pluies diluviennes sur les zones rifaines les plus exposées à ce flux humide. Les cumuls des pluies journalières sur le domaine rifain du 30 janvier au 07 février 2009 ont atteint 198mm à Tabouda, 334 mm à la station Ratba en amont de Rafsai, 175mm à la station de Bab Ouender, et Tissa, 103mm à Ain Aicha. Au bassin d'Inaouene il est tombé; 152,9mm à Bab Marzouka et 106mm à Bab Echehoub. Au bassin de Beh la station de Sidi Mokhfi a été arrosée par 212mm lors de cet épisode pluvieux.

On peut noter que la genèse de la crue du 08 février 2008 est due au changement de comportement hydrologique de l'oued Ouergha qui a enregistré un débit journalier de 615 m³/s le 06-02-2009 à la station d'Ain Aicha et 397m³/s le 02-02-2009 à la station de Galaz. En ce qui concerne le débit journalier de l'oued Sebou il est resté inférieur de 113m³/s à la station de Dar Arsa à cause du barrage Idriss I. Cependant, l'oued Beht à la station Oueljet Soltane a écoulé 310m³/s le 07-02-2009 sur

Étant donné que l'activité pluviométrique de cette année a débuté depuis le mois de septembre, le cumul enregistré depuis le 1^{er} septembre 2008 au 7 février est considérable sur le Rif; 968mm à la station Ratba, 802mm à Bab Ouender et 810mm à Tabouda, le barrage d'Al Wahda avait atteint sa capacité maximale de rétention d'eau, ce qui a obligé un écrêtement de 1500m³/s sur l'oued Ouergha, 350m³/s sur l'oued Sebou par le barrage Allal Al fassi et Idriss I, et 313m³/s sur l'oued Beht par le barrage El Kansera. La surface inondée par ces opérations était estimée à 210300 ha dans la plaine du Gharb.

La spatialisation de cette crue inondable (carte n°44), nous a permis de dégager les limites de propagation de l'inondation dans la plaine du Gharb. Comme lors des cas prétendant la nuance de profondeur de l'eau est hétérogène d'un endroit à l'autre, puisque la lame d'eau augmente comme nous l'avons dit précédemment dans les fonds des vallées et les dépressions topographiques qui peuvent dépasser plus de 14,5m, dont l'oued Ouergha et ses bordures. Concernant l'oued Sebou il y a le douar Mograne (carrefour entre oued Ouergha et Sebou), Ouled Jerrar et Tekna. Également on retrouve l'inondation de Dar Bellemer et la commune de Sidi Yahya par le débordement des eaux du barrage El Kensara sur l'oued Beht.



Carte. n°44: Spatialisation des inondations historiques (08-02-2009) dans la plaine du Gharb.

Dans les zones plus basses du Gharb, les plans d'eau de submersion de l'oued Sebou et ses affluents diminuent à moins de 14,5m, dans la province de Kenitra-Sidi Yahya (Dar Gueddari, Allal Tazi et Labrahma). Et entre 1 et 7m dans les zones plus au moins élevées à l'intérieur de la plaine, notamment à la commune de Mechrâa Belksiri et au Douar Sidi Kacem Harouch.

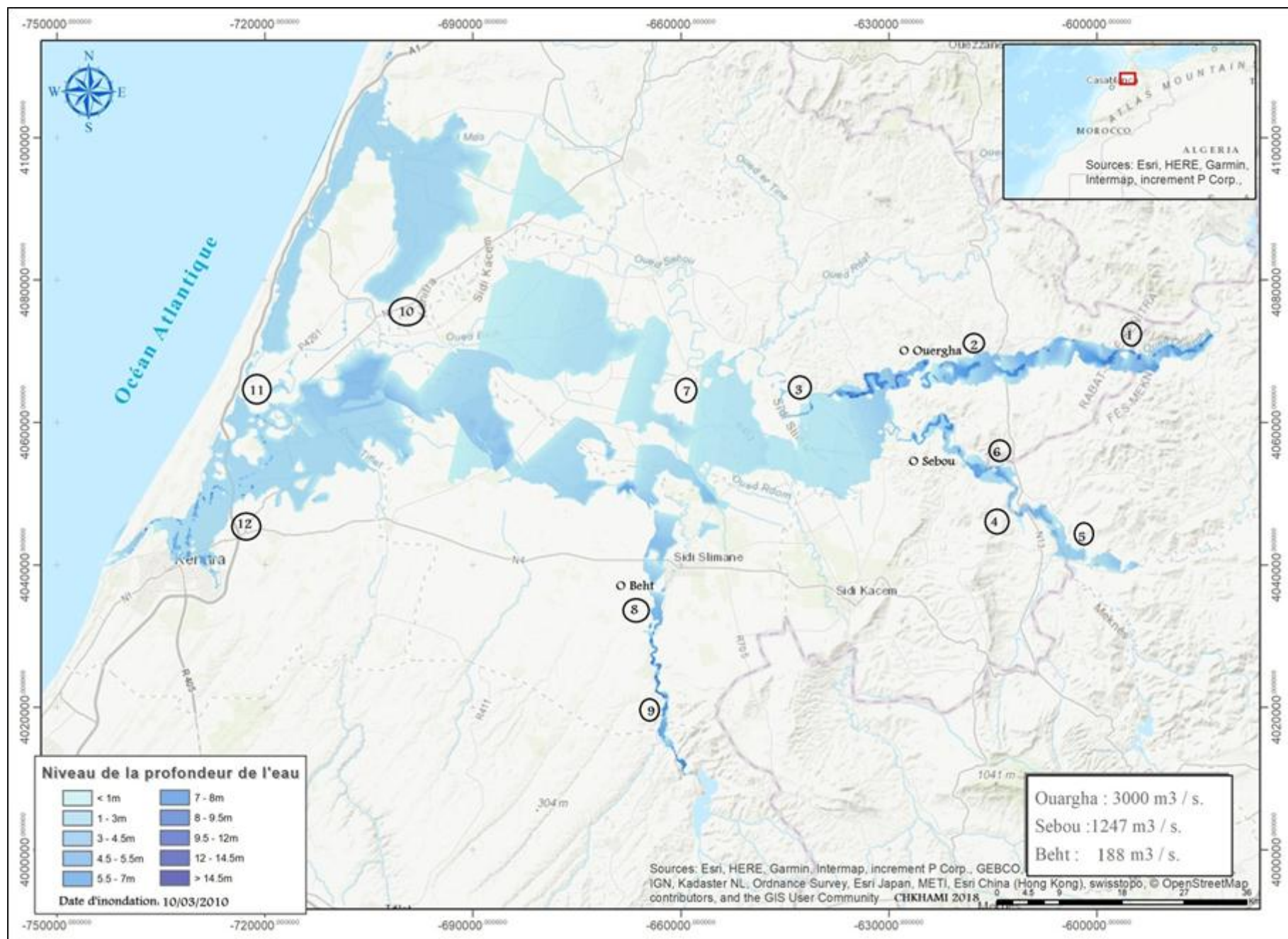
2.2.3.1.4. Inondation historique de la plaine du Gharb le 10 mars 2010

L'inondation de la plaine du Gharb le 10 mars 2010 est l'un des cas hydrologiques mémorables dans le bassin de l'oued Sebou compte tenu des apports d'eaux charriées dans la plaine du Gharb. La carte n°45 et le tableau n°40 montrent l'ampleur de ce phénomène hydro-climatologique exceptionnel.

La genèse atmosphérique de cette inondation peut être expliquée par la provenance des masses d'air humides atlantique de Nord-Ouest. La situation pluvieuse installée sur le bassin de Sebou, est liée à la présence en altitude 500 hPa d'une vaste vallée planétaire constituée par le jet subtropical, où les dépressions atlantiques sont obligées de se diriger vers le Maroc à cause de la présence d'une crête chaude située sur la Grande-Bretagne, supportant des masses d'air chaud sur le Nord de l'Europe. Le 07-03-2010, la dépression centrée au large du Portugal (1000 hPa) a commandé des fronts froids et chauds qui ont traversé le Maroc dans le sens NO.

En effet l'exceptionnalité pluvieuse de cette année hydrologique réside dans une alternance rapprochée des situations météorologiques humides pendant toute la saison hivernale qui a vu tomber plus de 85% du total annuel pluviométrique pendant une période allant du 29 novembre 2009 au 11 mars 2010, c'est-à-dire en trois mois et quelques jours. À titre d'exemple dans le Rif, il est tombé 1911mm à la station Ratba, 1158mm à Galaz et 1110mm à Bab Ouender. Pourtant, dans le Moyen Atlas, les pluies sont moins affluentes à la genèse des crues dans le Gharb par apport le domaine rifain. On peut citer dans ce sens, les quantités pluviométriques enregistrées entre 06 et 10 mars 2010, qui sont; 19mm à Ait Khabache et 38mm à Azzaba.

Ces pluies étant plus torrentielles sur les sommets de montagnes du Sebou, en particulier au Rif a produit un drainage excessif de l'oued Ouergha. Le débit journalier de la crue de l'oued Ouergha est monté progressivement jusqu'à atteindre 1127m³/s le 09-03-2010 à la station d'Ain Aicha, 235m³/s à Galaz et 606m³/s à Tabouda. Au bas Ouergha, les débits à l'entrée du barrage El Wahda sont de toute évidence considérable du fait qu'on a enregistré un débit maximum instantané de 7000 m³/s au cours de cette journée. Ainsi le débit responsable de l'inondation de la plaine du Gharb le 10 mars 2010, et celui qui est lâché par le barrage Al Wahda; 3000m³/s sur l'oued Ouergha, 1247m³/s sur l'oued Sebou et 188m³/s sur l'oued Beht. Ces écrêtements ont inondé la plaine sur une surface inondée estimée à 253800 ha.



Carte. n°45: Spatialisation des inondations historiques (10-03-2010) dans la plaine du Gharb.

À partir de la carte n°45, nous avons observé au sein de la plaine du Gharb que la hauteur de débit de la crue du 10 mars 2010 est très similaire à la hauteur de la propagation de la crue de janvier 1963. La hauteur de l'eau s'élève à plus de 14,5m au sein de l'oued Ouergha à Jorf El Melha et Khenichet. À l'échelle de l'oued Sebou, de nombreuses régions sont inondées; Laabiyate, Ouled Jerrar, Tekna et Mograne. Pour l'oued Beht, la commune de Sidi Yahya est la plus touchée. En outre, ce plan d'eau baisse à moins de 14m dans les zones marécageuses (Merjas) dans la province de Kenitra-Sidi-Yahya (Dar Gueddari, Sidi Kamel, Allal Tazi, Tarchan et Lemnassera) et à la province de Sidi Kacem (Laabiyate et Khenichet). Finalement, la propagation de l'inondation du 10-03-2010 devient moins profonde et recule entre 1 et 7m dans les zones les plus hautes de la plaine, comme à El Haouafate, Mechrâa Belksiri et Souk Larbaa du Gharb. Ces submersions sont dues essentiellement au fort débordement de l'oued Sebou et ses affluents (Oued R'dom, D'rader, M'da et Beht...) à partir des brèches et des méandres qui caractérisent le cours principal du Sebou au sein de la plaine.

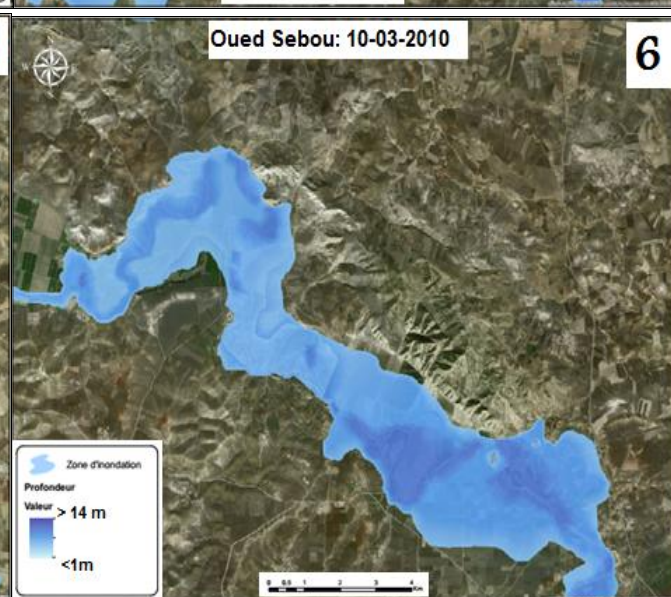
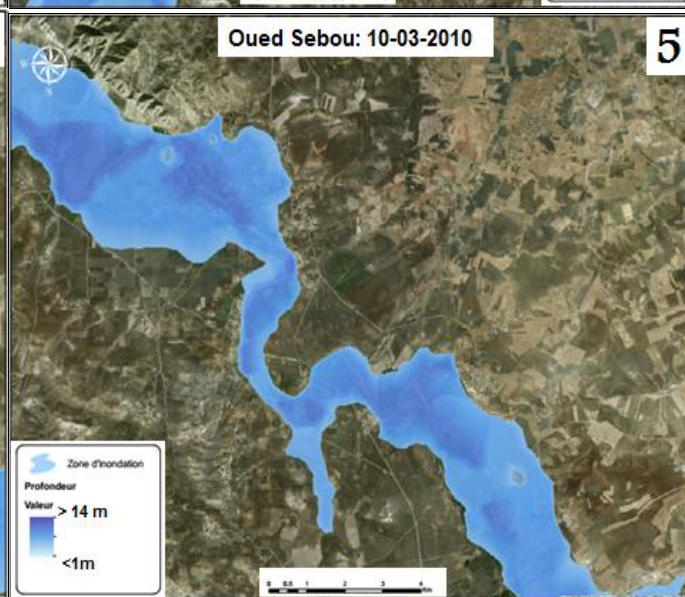
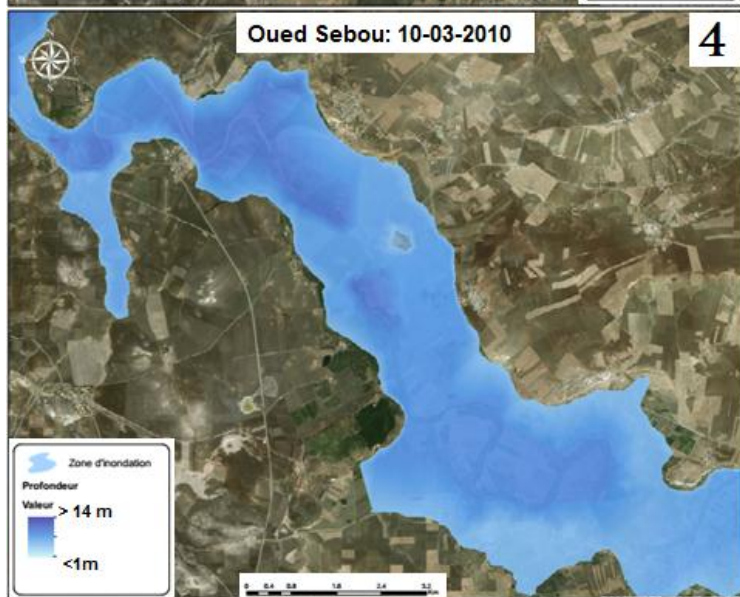
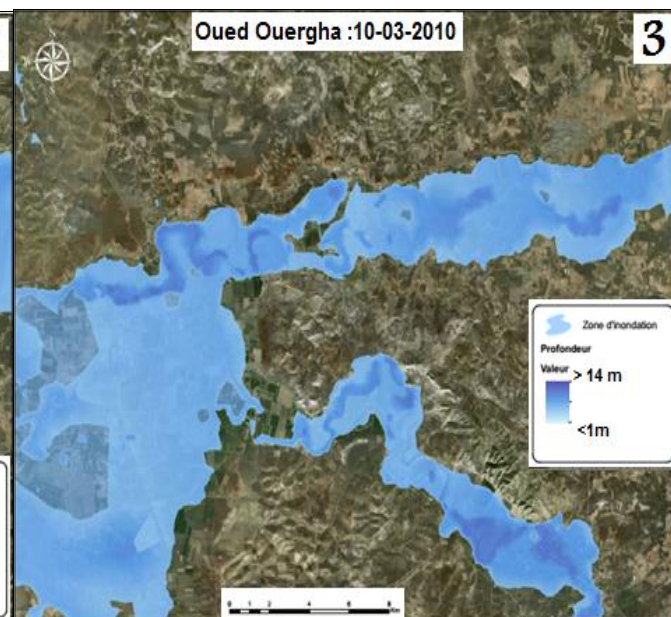
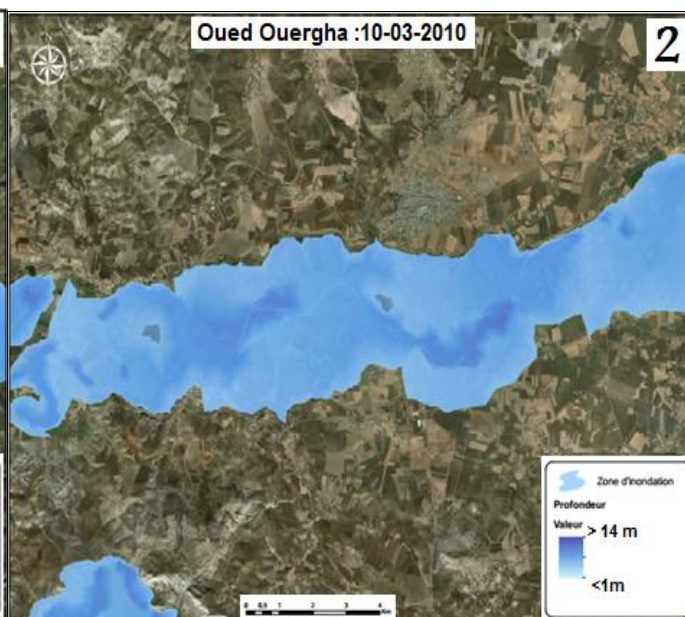
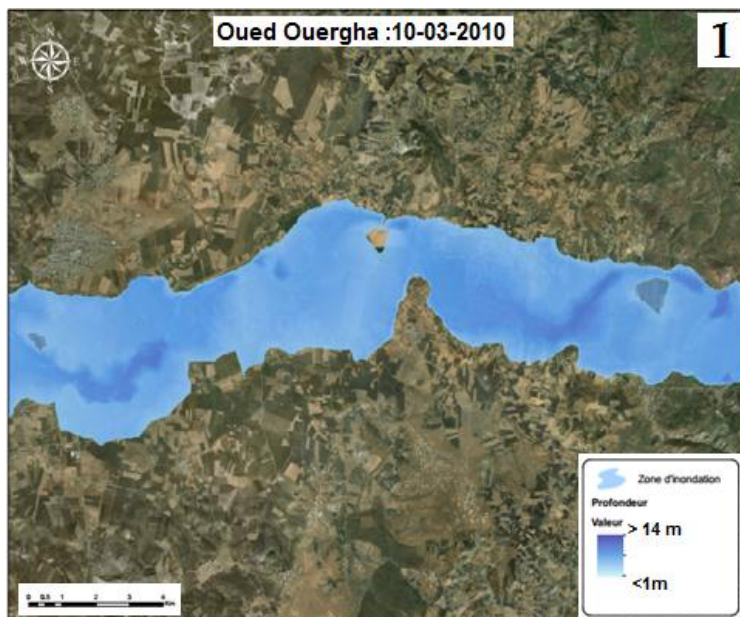
2.2.3.2. Focalisation sur les tronçons inondables dans le Gharb

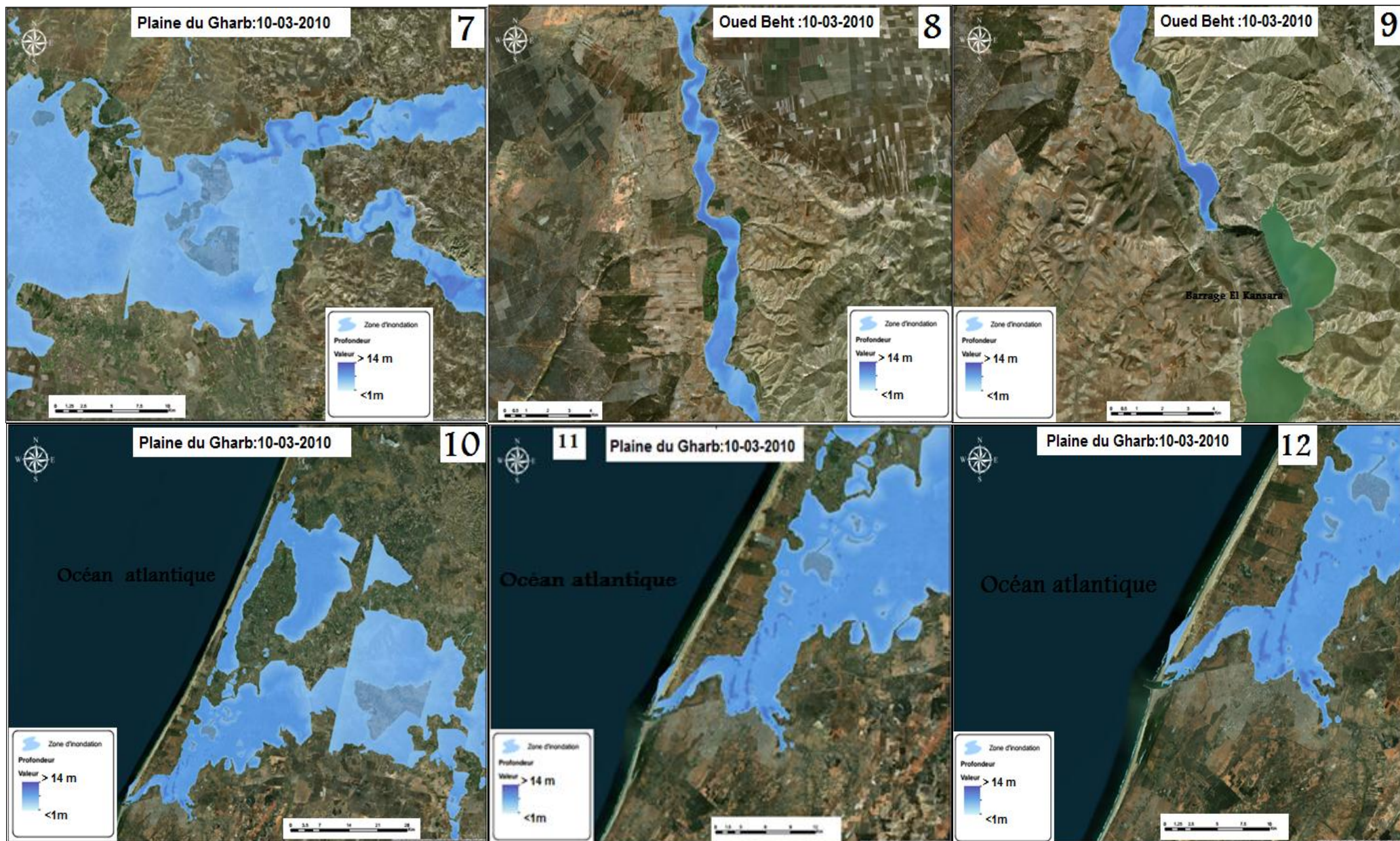
Nous avons également pour les zones inondables de la plaine du Gharb essayé d'établir un travail d'atlas dans l'objectif de rappeler l'existence et les conséquences des événements hydrologiques du 10 mars 2010 (carte. n°45). Nous avons dans ce contexte pris comme référence le plus fort débit significatif (oued Ouergha; $3000\text{m}^3/\text{s}$ qui représente le débit d'écêtement du barrage Al Wahda, Sebou; $1247\text{m}^3/\text{s}$ et Beht; $387,7\text{m}^3/\text{s}$) qui est à l'origine des inondations du Gharb. Ce travail vise notamment l'identification des champs d'expansion des crues inondables afin de les interdire à l'urbanisation. Il permet aussi de délimiter les zones fortement à risque pour mettre en place une stratégie de prévention et de préservation des vies humaines et leurs biens contre les aléas climatiques.

La spatialisation hydraulique des tronçons d'oued Sebou, Ouergha, et Beht, sur la plaine permet en fait de faire un diagnostic de tous les événements hydrologiques inondables dans le Gharb (cartes. n°42-45 et Tab.n°40). Par ailleurs la cartographie des surfaces inondées repose sur une simulation hydraulique afin de calculer les hauteurs d'eau et déterminer les zones de débordement en utilisant le logiciel Arc Gis 10.2 et HEC-RAS.

Ce travail a été réalisé à partir des informations disponibles sur des tronçons entiers des oueds modélisés (carte. n°45; inondation 10-03-2010 et Tab. n°40) qui couvrent une superficie inondée dépassant 253800h . Ainsi l'atlas des zones inondées pourra être un outil d'élaboration des cartes informatives des phénomènes hydrologiques historiques, une base des données pour la gestion durable du risque des inondations, et un support cartographique pour les décideurs en matière d'aménagement et d'urbanisme. Nous rappelons que la propagation des inondations change d'une zone à l'autre suivant la topographie de l'oued Sebou et de ses affluents et le volume d'eau écoulée dans chaque tronçon au sein de la plaine. La nuance du

bleu traduit ainsi les différences d'altitude du relief de la plaine, ce qui explique la profondeur variable entre les zones de celle-ci comme il est expliqué plus haut.





Cartes. n°46: Atlas des zones inondables dans la plaine du Gharb (10-03-2010).

2.2.4. Cartographie de la vulnérabilité de la plaine du Gharb face à l'aléa d'inondation

Les données relatives à la vulnérabilité sont obtenues à partir de la synthèse cartographique des inondations historiques de 1963, 1996, 2009 et 2010 en considérant une base de données relative à l'occupation des sols dans le Gharb. Cette base était recueillie grâce à l'analyse des cartes topographiques et des images satellites SPOT de l'aire d'étude. Notre objectif est de définir les zones fragiles face à l'aléa d'inondations dans le Gharb. De ce fait, il est possible d'étudier les aspects de la vulnérabilité qui se manifestent à travers la détermination des zones submergées, l'exposition des réseaux routiers, des zones agricoles et des plantations fruitières, ainsi que des zones bâties qui sont menacées à différents degrés à la submersion des plans d'eau.

2.2.4.1. Présentation de l'approche adoptée

Afin de comprendre la vulnérabilité de la plaine du Gharb à l'aléa d'inondation, nous avons eu recours au traitement de l'imagerie satellitaire et au système d'Information Géographique (SIG) pour spatialiser l'aléa et le degré de risque des inondations dans la plaine du Gharb. Notre but est de produire des informations utiles aux décideurs qui cherchent à mener une gestion adéquate des programmes de protection du Gharb contre les inondations.

La méthodologie adoptée dans le cadre de cette étude de la vulnérabilité de la plaine face à l'aléa d'inondation est l'adoption de «**l'approche de couplage**». Cette approche s'articule essentiellement autour de trois axes principaux:

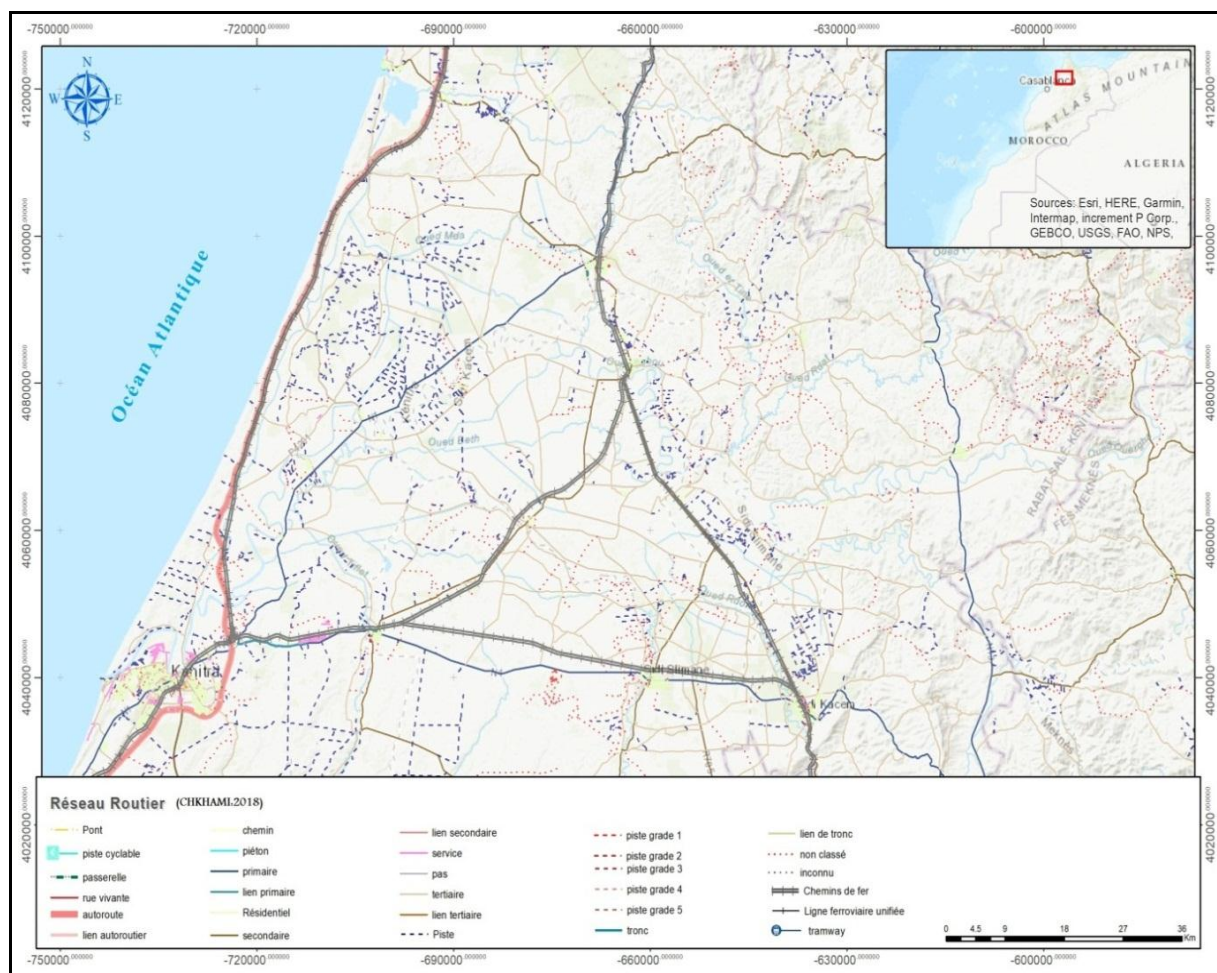
- L'acquisition et la préparation des données relatives aux variables de la vulnérabilité (le réseau des voiries, les zones agricoles et bâties, et les surfaces des plantations fruitières);
- La modélisation de l'aléa d'inondations historiques liées aux épisodes pluvieux des années: 1963, 1996, 2009 et 2010 dans le bassin versant de Sebou;
- La validation des résultats obtenus à travers le couplage des données relatives aux variables de la vulnérabilité avec les aléas des inondations modélisées.

2.2.4.2. Le réseau des voiries

La carte n°47 et la monographie de la région (2013) indiquent que le Gharb est traversé par un réseau de voiries très variées totalisant 3178 km avec une densité de 398m/km² (Nationale; 80,6m/km²). Le réseau a été construit depuis la période protectorale jusqu'à maintenant, et représente 5,5% du réseau routier national. La répartition selon les types des routes montre la dominance des routes provinciales avec 78,7% de l'ensemble du réseau construit, et seulement 11,5% pour les routes régionales, et 9,8% pour les routes nationales. Si la région n'abrite que 2,9% des routes nationales, elle est néanmoins plus desservie par des routes provinciales qui relient les chefs-lieux des provinces et les villes de la région. Le réseau

provincial de la région constitue 7% du réseau national et s'étale sur une superficie qui constitue 1,2% du territoire national.

La région est desservie aussi par le réseau ferroviaire qui relie les principales villes à savoir Kenitra, Sidi Yahia, Sidi Slimane, Sidi Kacem, Mechrâa Belksiri, Sidi Allal Tazi, Souk Larbaa...etc, et aussi les différents centres ruraux du Gharb aux autres régions du Royaume.



Carte. n°47: Le réseau des voiries dans la plaine du Gharb.

2.2.4.3. Estimation des tronçons inondés des voiries

La vulnérabilité du réseau des voiries a été étudiée à travers un inventaire de la longueur et de l'état des sections inondées, obtenues grâce à leur croisement avec l'aléa d'inondation. Les dommages ont été pris en compte selon les types de voiries (cartes. n°48-51) tel que route nationale, route régionale, route provinciale, piste et chemin ferroviaire... Elles ont été coupées et dégradées, leurs chaussées détériorées à cause du débordement de l'oued Sebou et de ses affluents durant les différentes périodes d'inondations qui ont submergé des longueurs très importantes des routes.

En 1963 ces dernières ont été affectées sur 1305,6 km, 1133,5 km en 1996, 1116,2 km en 2009 et 1425,2 km en 2010 (Fig.n°74). Ainsi les inondations de 1963 et 2010 étaient les

plus néfastes pour le réseau routier de la plaine. Les principaux axes de ce réseau sont: la route nationale n°1, la route nationale n°4, la route régionale n°411, la route régionale n°413, la route régionale n°409, la route régionale n°406, et la liaison ferroviaire Kenitra-Sidi Kacem, puis Sidi Kacem-Mechrâa Belksiri (Pho.n°14), et finalement l'autoroute Rabat-Tanger qui traverse la zone côtière de la plaine entre Kenitra et Moulay Boussalham.

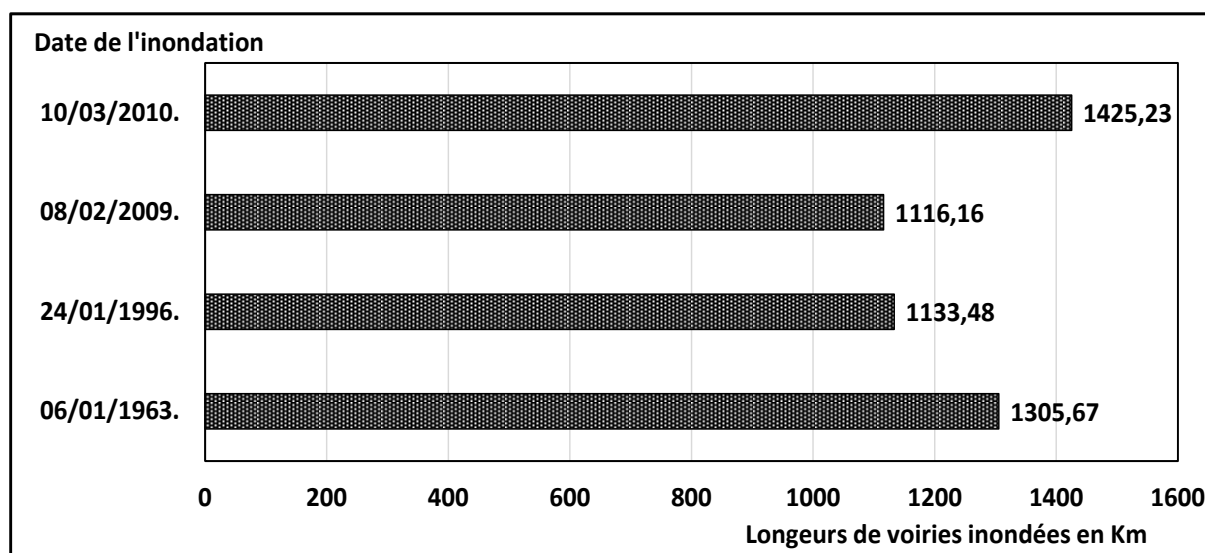
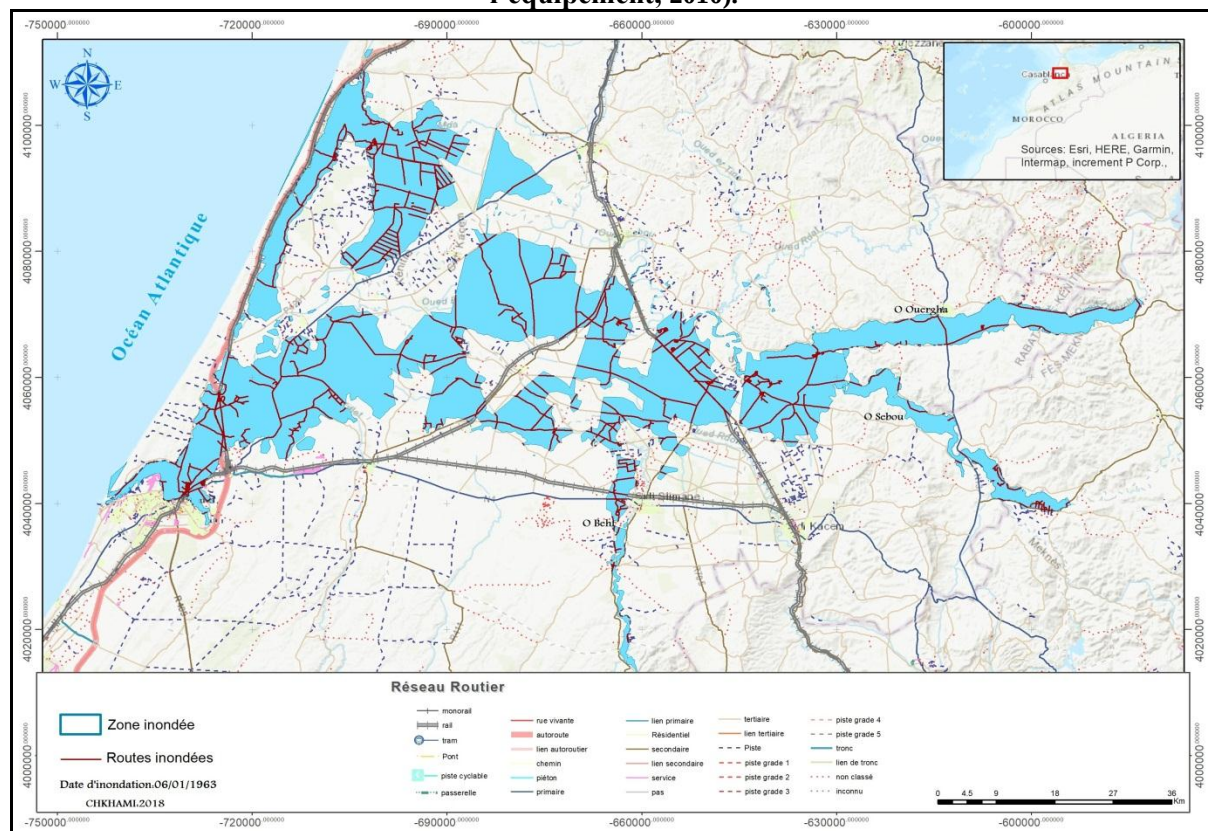


Figure. n°74: La longueur des voiries inondées dans la plaine du Gharb.

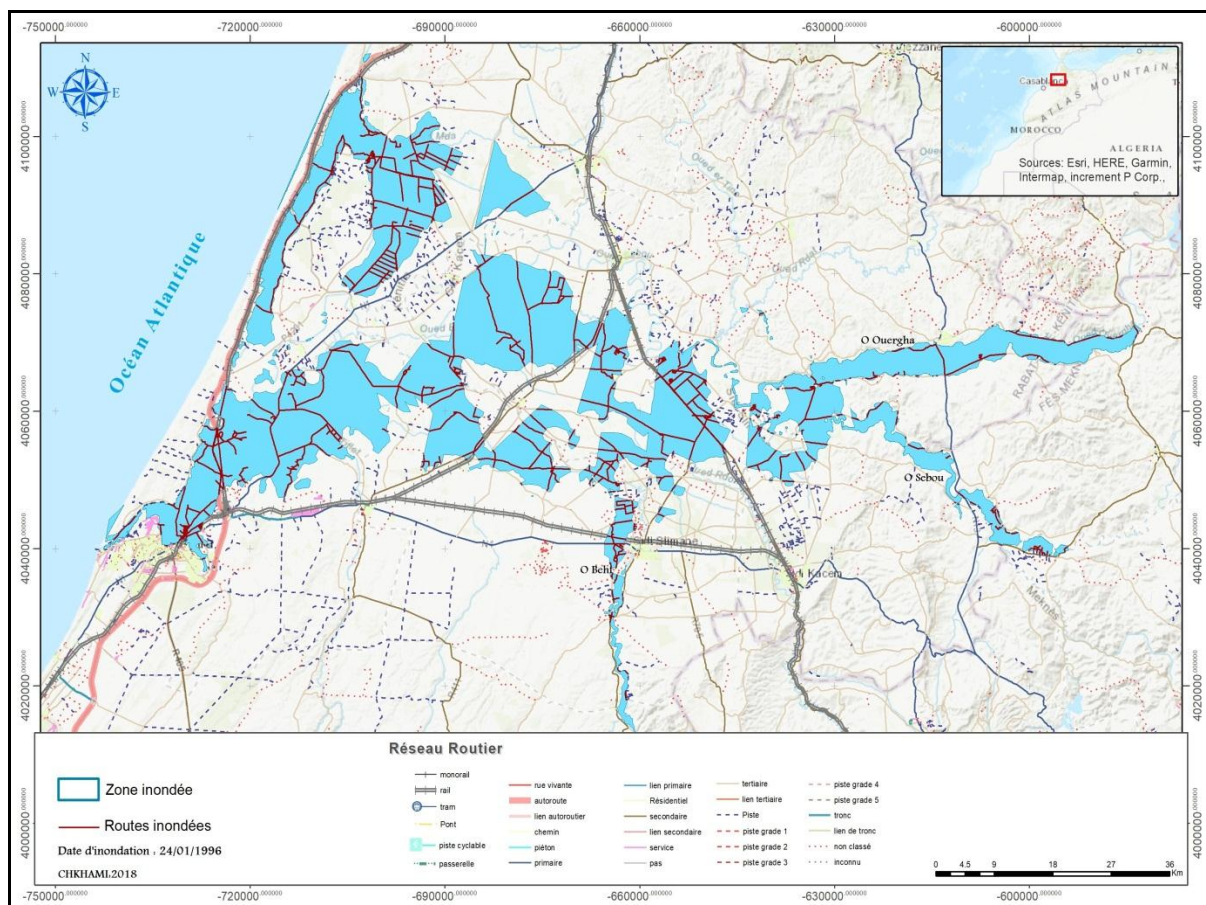
Les dégradations constatées sur les sections de routes dues aux inondations selon HIMMI. M et al (2010), ont touché aussi bien les corps de chaussées, les accotements, les autres dépendances de la chaussée et les remblais d'accès aux ouvrages. La vulnérabilité des voiries dans le Gharb face aux aléas d'inondations en 2010 (Pho. n°14 comme exemple), se manifeste sous forme des affouillements engendrant des accotements qui dans certains endroits sont profonds de plus de 50cm. On a relevé également de grands nids des poules, des affaissements importants, des départs de remblai d'accès aux ouvrages hydrauliques, des submersions par la boue et de l'eau qui atteint parfois 40cm environ, avec des stagnations au niveau de la route causées par un problème d'assainissement, et une coupure de la liaison ferroviaire dans la plaine.



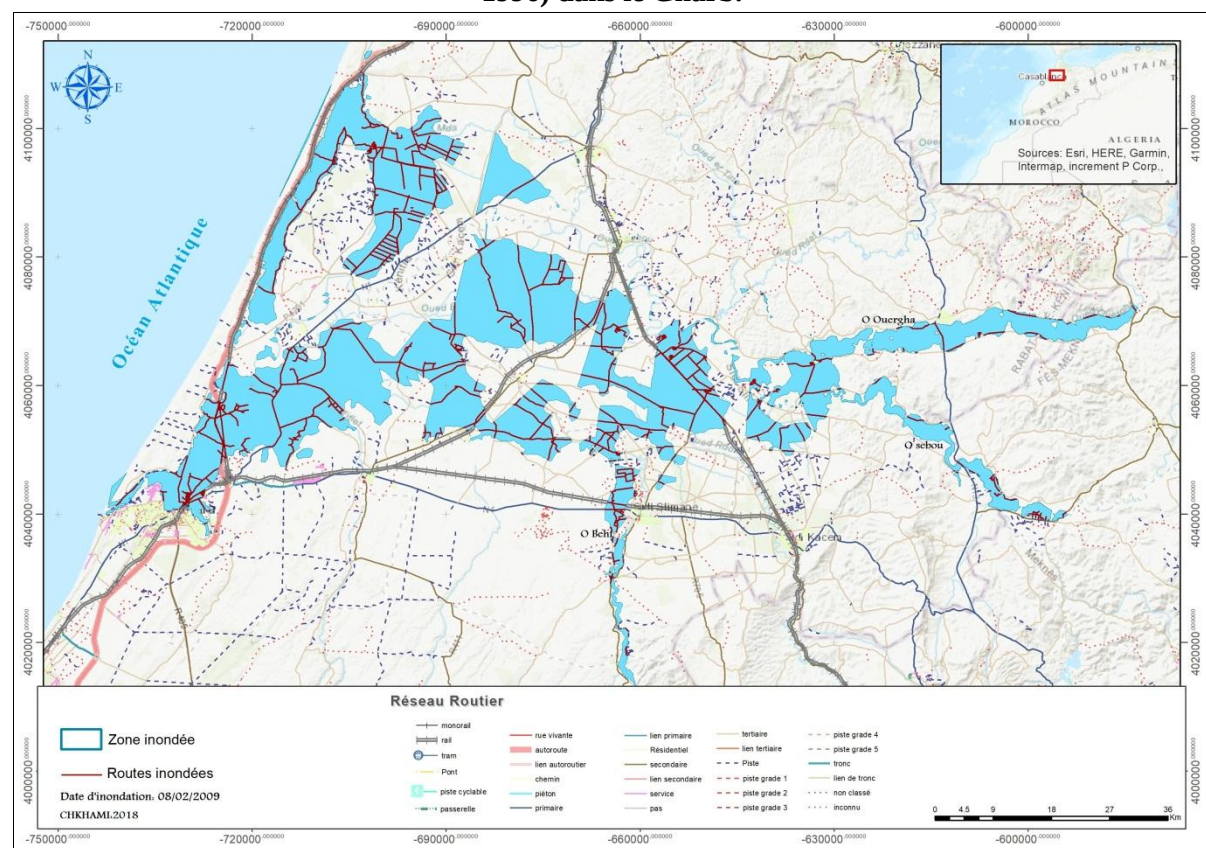
Photos. n°14: Vulnérabilité des voiries face à l'aléa d'inondation à Sidi Kacem (Ministre de l'équipement, 2010).



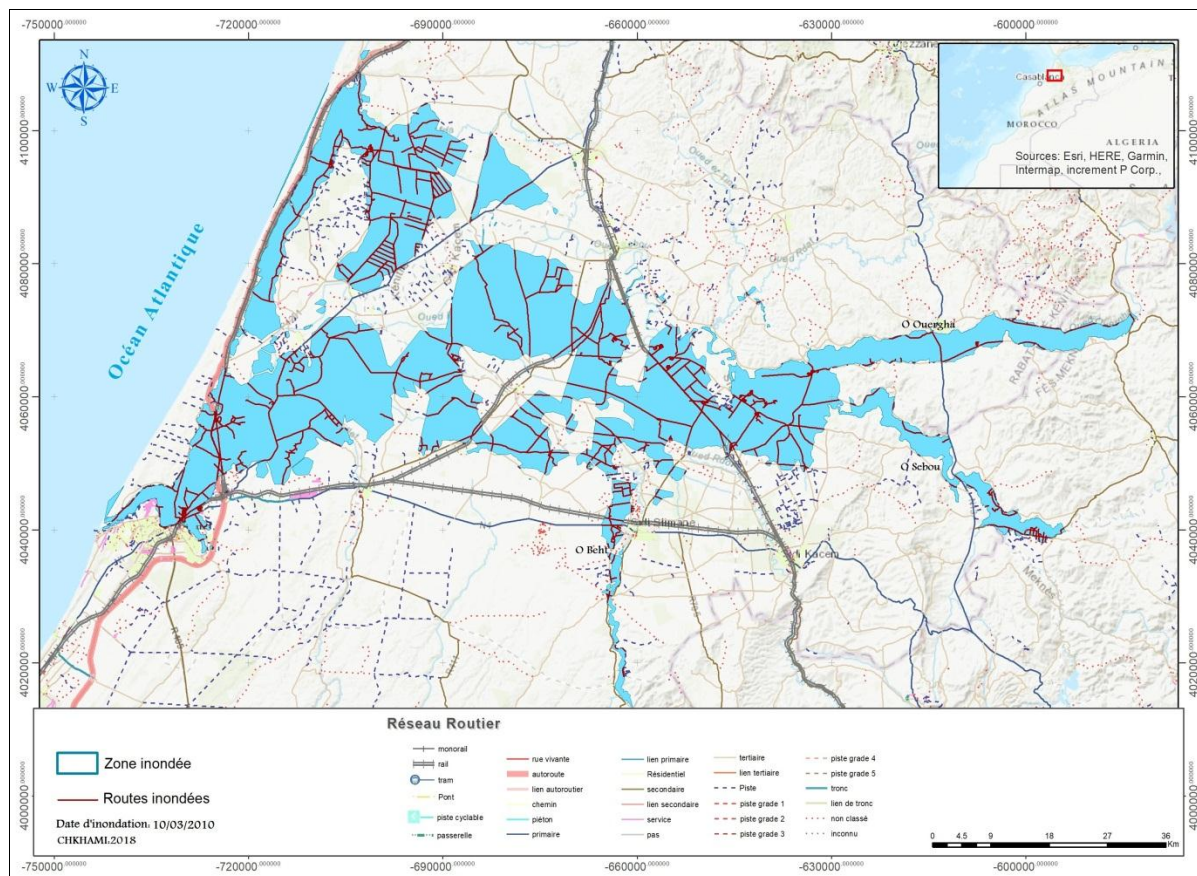
Carte. n°48: Croisement de la vulnérabilité du réseau des voiries à l'aléa d'inondation (06-01-1963) dans le Gharb.



Carte. n°49: Croisement de la vulnérabilité du réseau des voiries à l'aléa d'inondations (24-01-1996) dans le Gharb.



Carte. n°50: Croisement de la vulnérabilité du réseau des voiries à l'aléa d'inondations (08-02-2009) dans le Gharb.

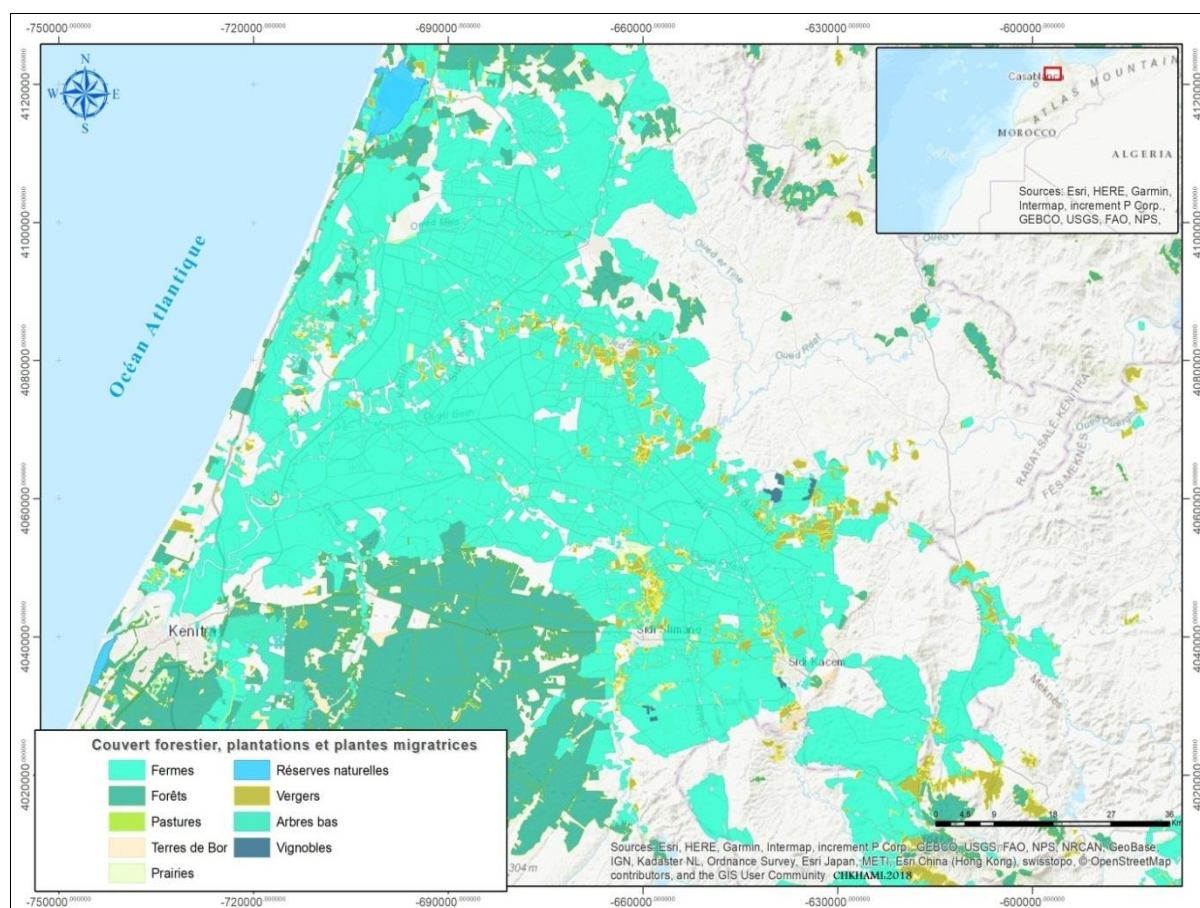


Carte. n°51: Croisement de la vulnérabilité du réseau des voiries à l'aléa d'inondations (10-03-2010) dans le Gharb.

2.2.4.4. Les zones agricoles et les plantations fruitières

D'après la carte. n°52, la superficie agricole utile de la plaine du Gharb est d'environ 388 000 ha dont 250 000 ha constitue le périmètre irrigable, et 138 000 ha des zones bours selon AHBS en 2010 et le plan de développement économique et social de la région du Gharb (2000-2004). La surface actuellement équipée du Gharb (114 000 ha) comprend le périmètre du Beht (29 000 ha) desservi à partir du barrage El Kansera, et 85 000 ha irrigué par le barrage Idriss I. Un autre secteur est en cours de réalisation avec un équipement représentant la troisième tranche du projet.

Parallèlement aux équipements nouveaux, un important programme en matière de réhabilitation a été entrepris par l'Office de Recherche et de Mise en Valeur de l'Agriculture du Gharb (ORMVAG). Ce programme concerne la zone Est du périmètre du Beht sur 9 000 ha, d'où une superficie de 3600 ha, et déjà équipée depuis plus de 30 ans. À l'aide de ces aménagements hydro-agricoles, la plaine du Gharb reste l'une des zones les plus agricoles du pays surtout en matière de production dans plusieurs secteurs: sucre, oléagineux, maraîchage, riz, agrumes, lait, miel etc.... Ses productions participent d'une manière substantielle à l'économie agricole nationale.



Carte.n°52: Les espaces agricoles et les plantations fruitières dans la plaine du Gharb.

2.2.4.5. Estimation des surfaces inondées des zones agricoles et des plantations fruitières

Le couplage entre les données prédictives des zones agricoles et les plantations fruitières face aux aléas d'inondations modélisées dans le Gharb, montre l'étendue de la surface endommagée, pendant les années 1963, 1996, 2009 et 2010. (Fig. n°75).

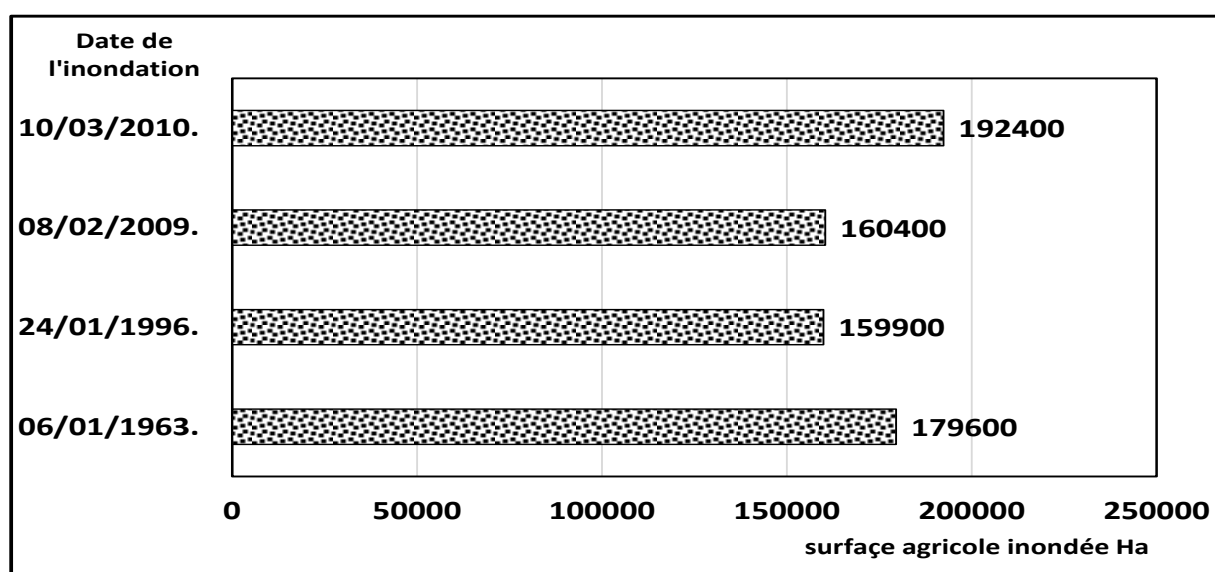
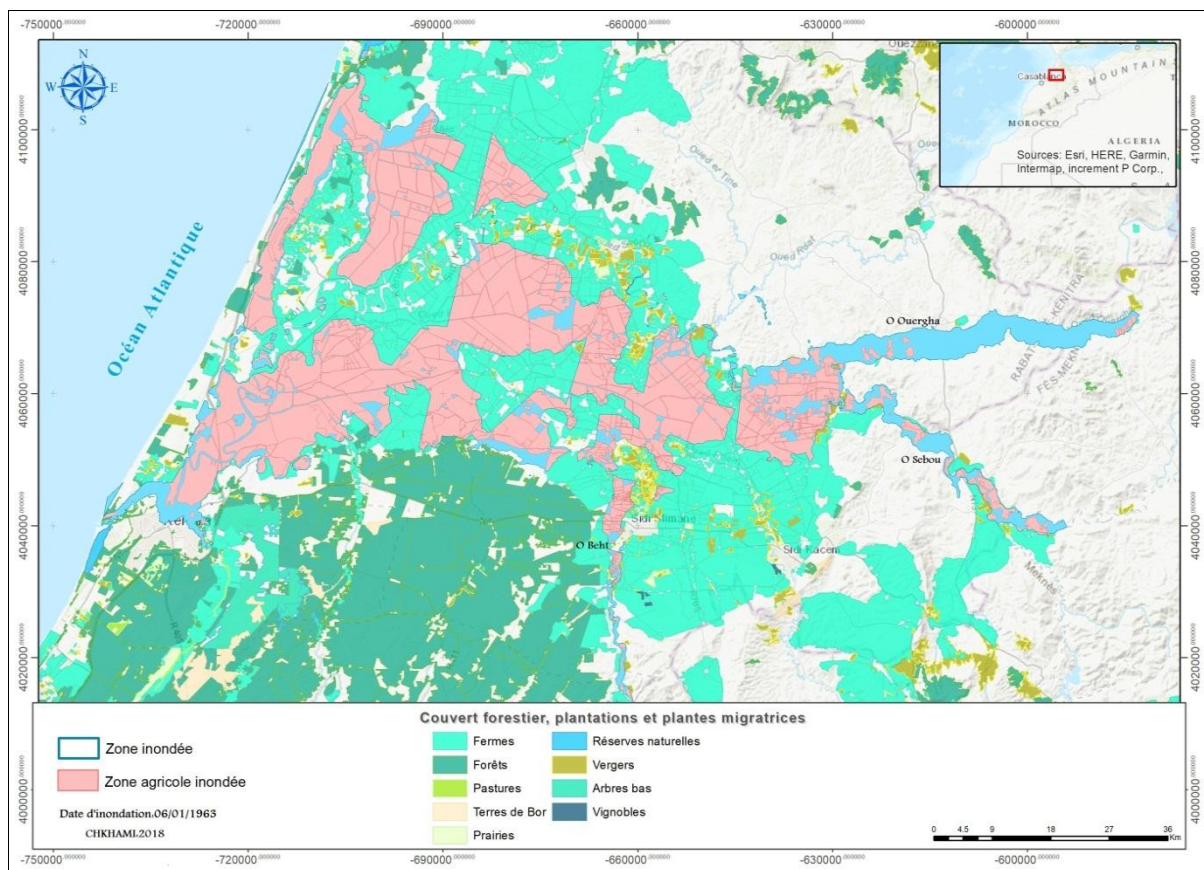


Figure.n°75: Surfaces agricoles inondées durant les grandes inondations du Gharb.

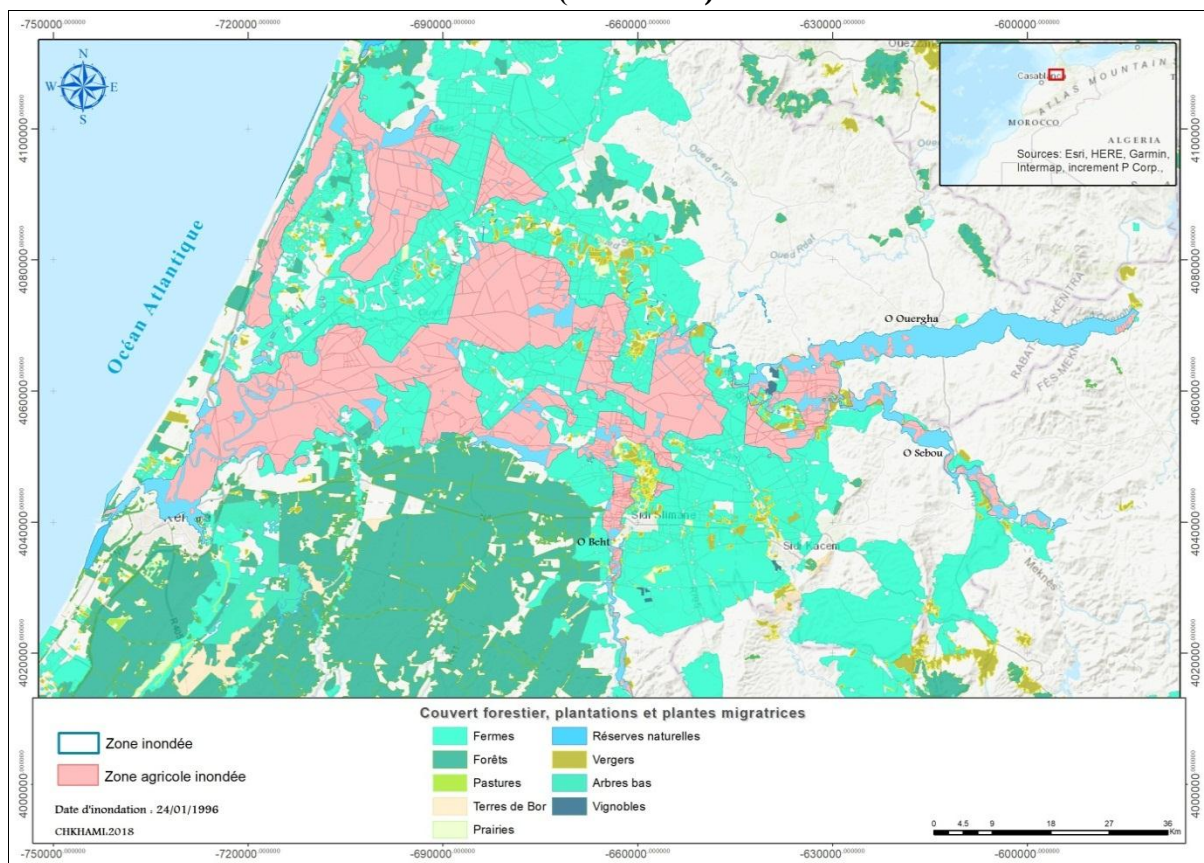
Compte tenu du fort potentiel agricole de la plaine du Gharb, les dommages subis par les exploitations agricoles sont considérables. Les zones agricoles nues et celles plantées inondées durant l'hiver 1963 étaient estimées à 179 600 ha, 159 900 ha en 1996, 160 400 ha en 2009 et 192 400 ha en 2010: (cartes. n°53-56). Elles se composent essentiellement des cultures suivantes: légumes, céréales, maïs, fourrages, maraichages, cannes à sucre, plantations fruitières, tournesol et agrumes qui sont submergés à des degrés différents au niveau des périmètres de Sidi Allal Tazi et Machraâ Belksiri. (3^{ème} chapitre; partie III).



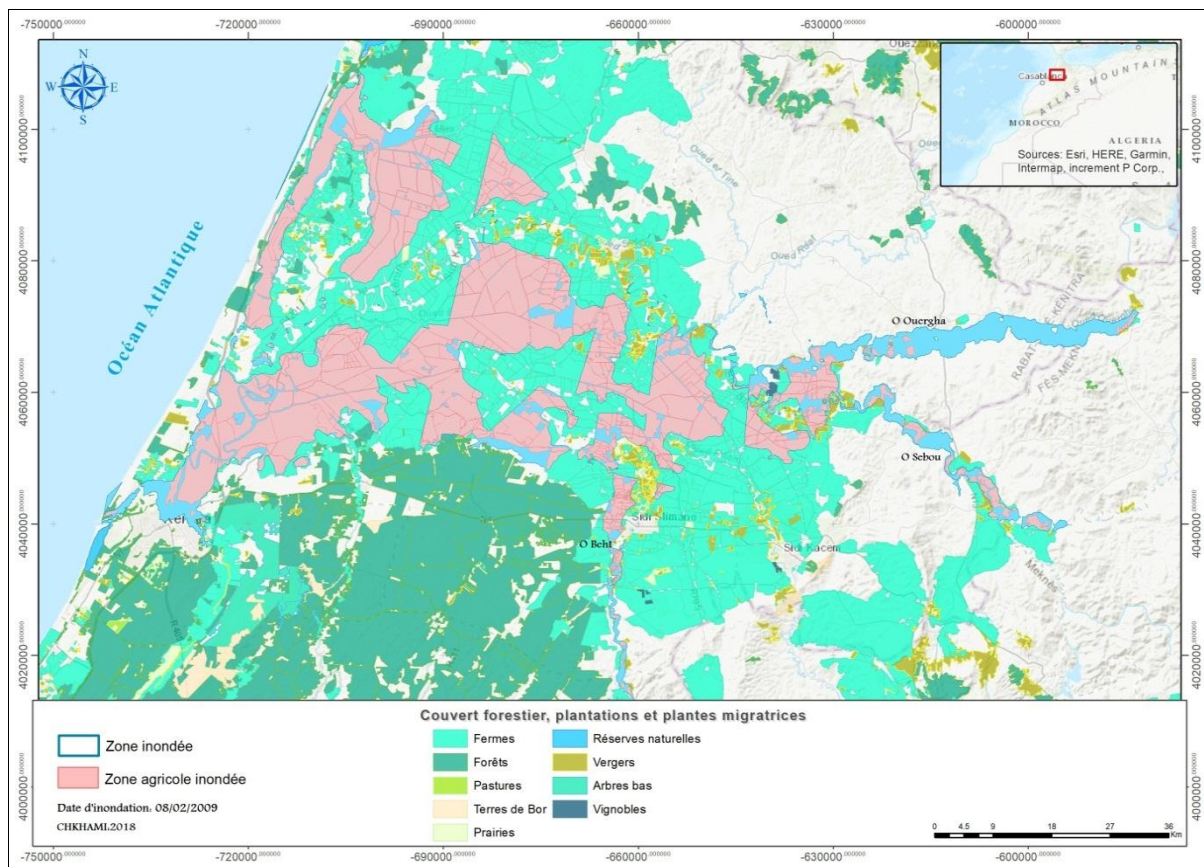
Photos. n°15: Zones agricoles et des plantations fruitières inondées dans le Gharb (Sidi Kacem, 2010).



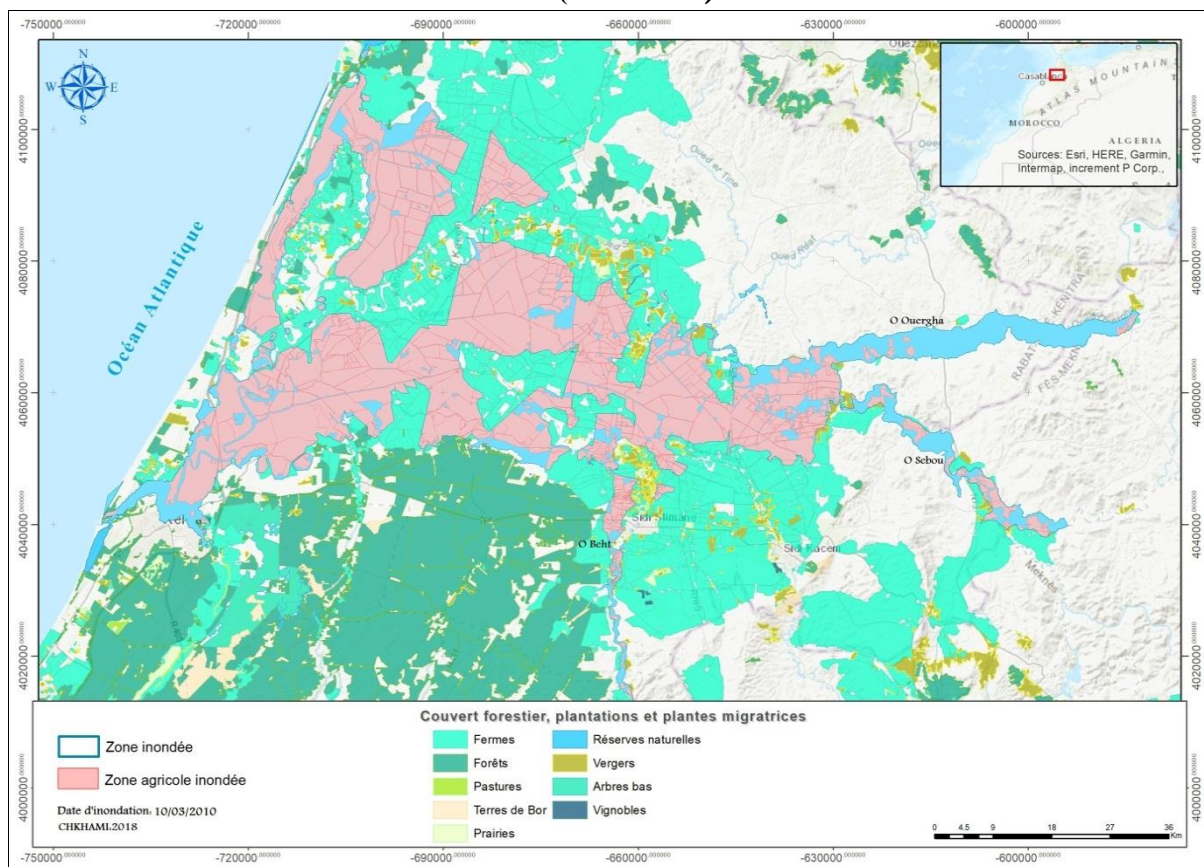
Carte. n°53: Croisement de la vulnérabilité des zones agricoles et des plantations fruitières à l'aléa d'inondation (06-01-1963) dans le Gharb.



Carte. n°54: Croisement de la vulnérabilité des zones agricoles et des plantations fruitières à l'aléa d'inondation (24-01-1996) dans le Gharb.



Carte. n°55: Croisement de la vulnérabilité des zones agricoles et des plantations fruitières à l'aléa d'inondation (08-02-2009) dans le Gharb.

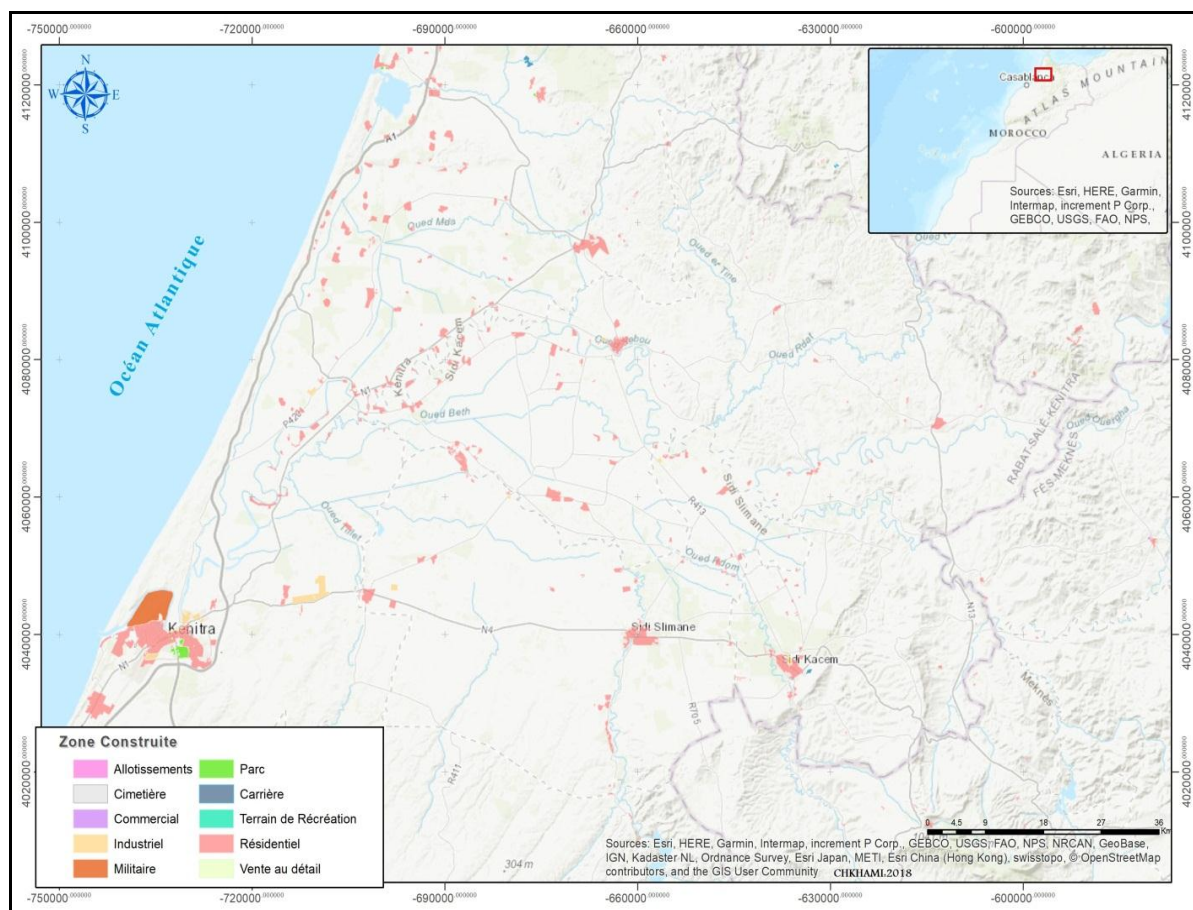


Carte. n°56: Croisement de la vulnérabilité des zones agricoles et des plantations fruitières à l'aléa d'inondation (10-03-2010) dans le Gharb.

2.2.4.6. Les zones bâties

La région du Gharb abrite 5,5% de la population nationale. Il en résulte que la densité régionale de la population est relativement élevée en comparaison avec l'ensemble du royaume. En 2004, la densité a atteint 207 ha/km² contre 42 ha /km² au niveau national; ce qui correspond à près de 5 fois la moyenne nationale (RGPH, 2004).

Dans la zone d'étude (carte. n°57), les données statistiques du Haut-Commissariat au Plan (HCP) relatives à la démographie de la région du Gharb, montrent que dans la zone de Kenitra-Sidi Kacem, les bâtis sont dominés en zones rifaines par des logements du type rural avec (71,3%). En zone urbaine, c'est la maison marocaine qui domine avec (72,4%). Dans notre travail, nous avons considéré l'ensemble des bâtis dans les douars comme des logements du type rural et des bâtis dans les grandes et petites villes comme étant des bâtis de type maison marocaine. Nous avons par la suite évalué la surface des bâtis submergés par hectare pour les années soumises à aléa d'inondation en 1963, 1996, 2009 et 2010.



Carte. n°57: Les zones bâties dans la plaine du Gharb.

En général, le caractère rural de la région du Gharb, influence clairement l'architecture des logements et des douars de la plaine. Ces derniers sont distribués au voisinage de l'oued Sebou et de ses affluents d'une manière irrégulière sur des grandes étendues des terrains

alluviaux. Ce facteur est l'une des difficultés qui entrave l'atténuation du risque des inondations dans la plaine du Gharb.

2.2.4.7. Estimation des surfaces bâties inondées

Pour montrer la vulnérabilité de la plaine du Gharb face à l'aléa d'inondation, il est obligatoire de caractériser les différents types de bâtis de la zone d'étude en vue du couplage à la carte d'aléa. Les résultats de ce travail montrent l'ampleur des dégâts qu'ont subie les populations du Gharb au niveau de leur lieu d'habitation pendant ces années d'inondation exceptionnelles (Fig. n°76).

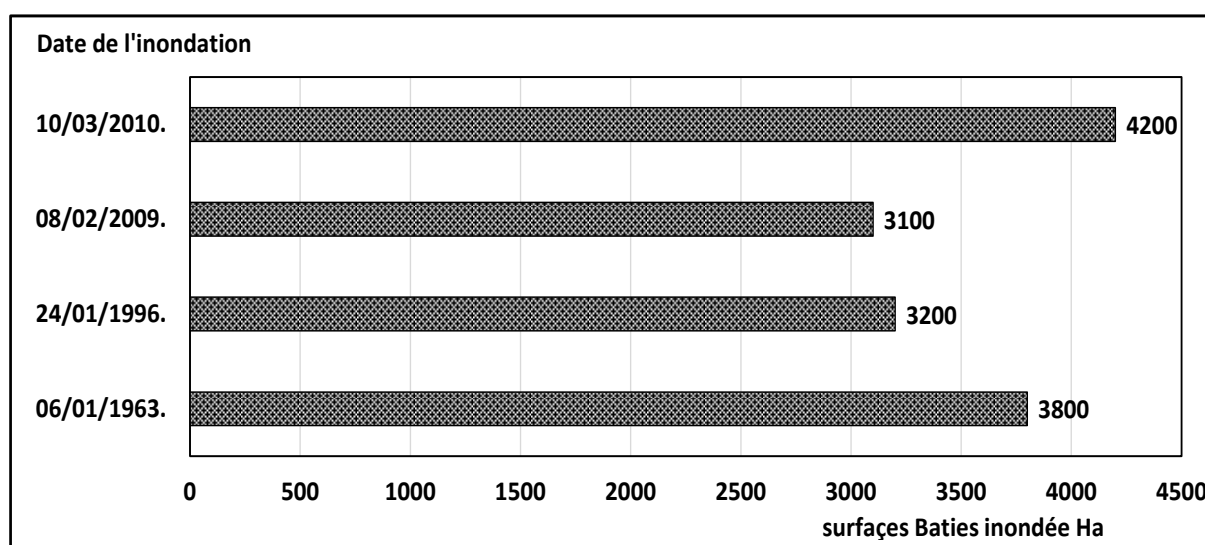
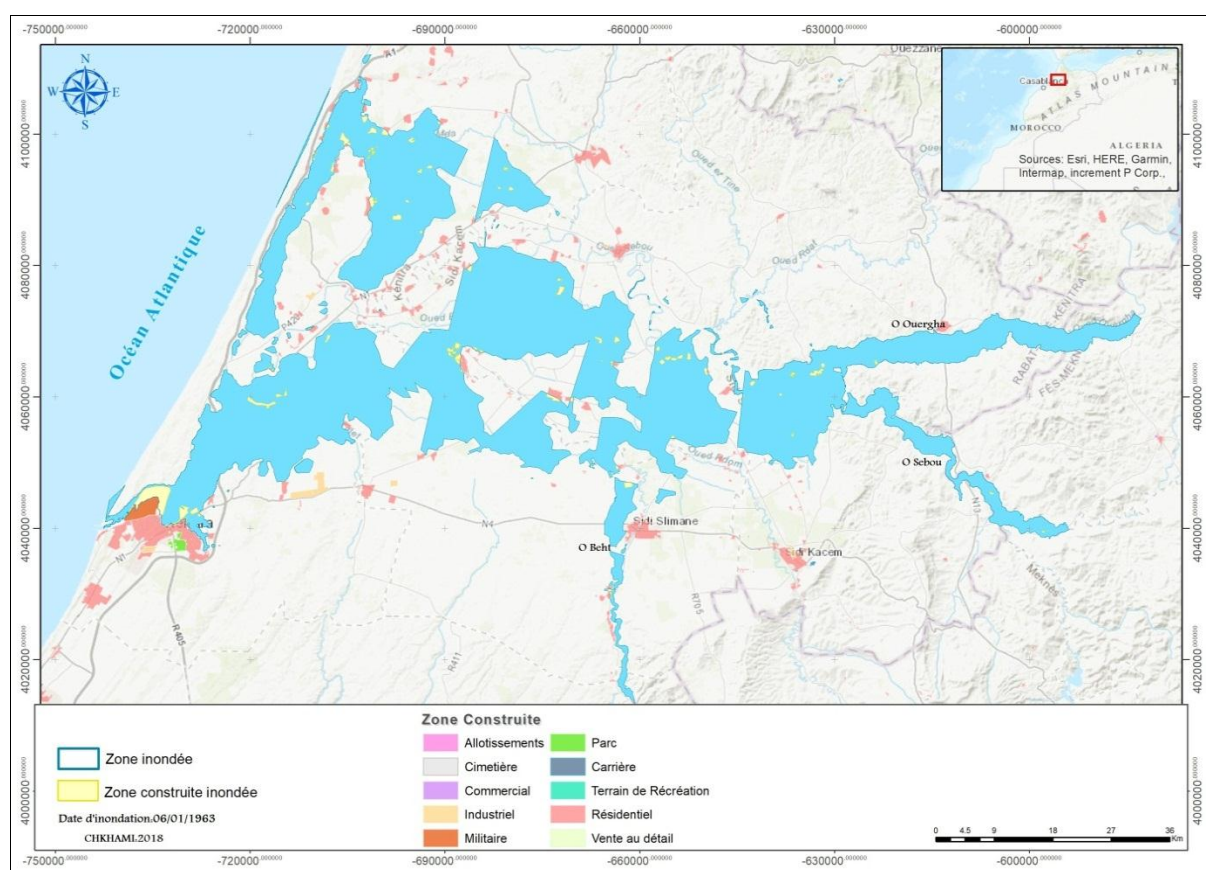


Figure. n°76: La surface inondée des bâties dans la plaine du Gharb.

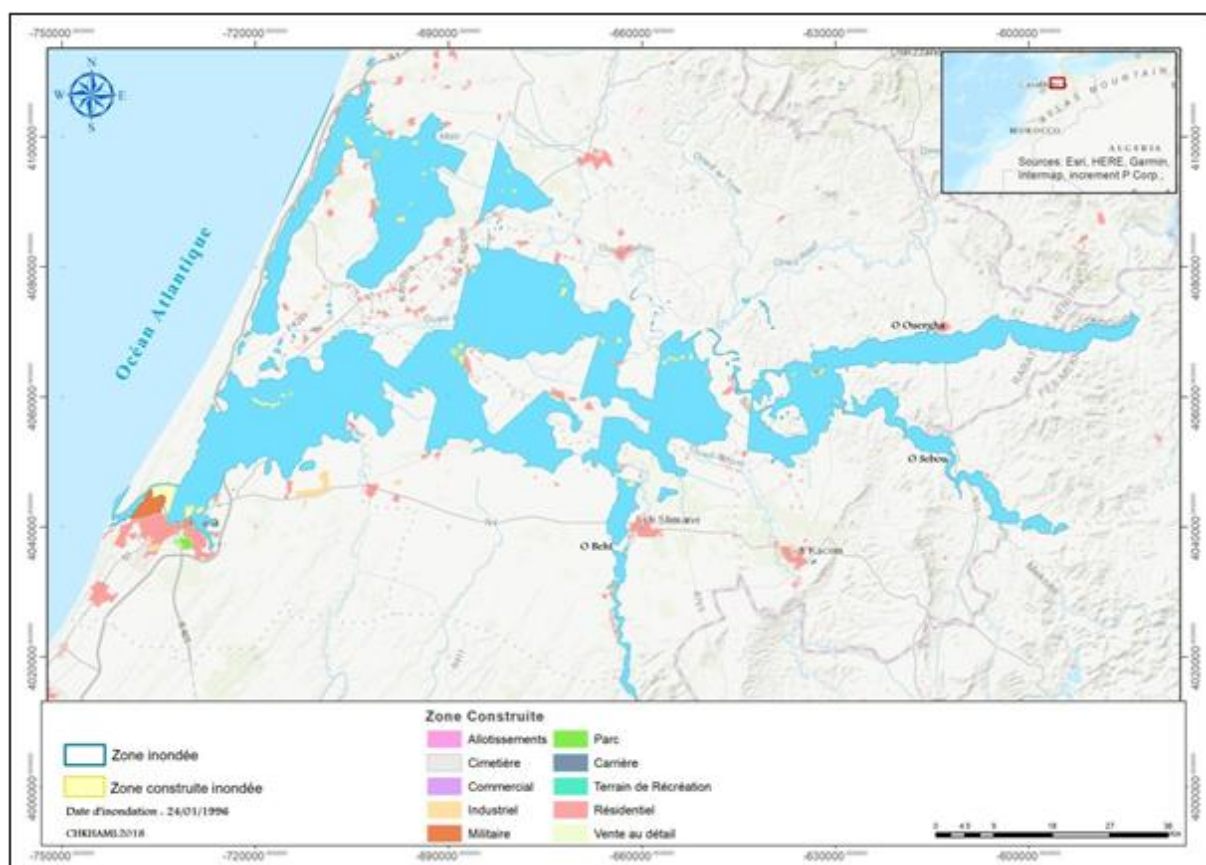
Le croisement de l'aléa d'inondation avec la vulnérabilité des zones bâties (cartes. n°58-61 et Pho. n°16), nous permet de constater que les inondations de l'année 1963 ont submergé 3800 hectares, 3200 ha en 1996, 3100 ha en 2009, 4200 ha en 2010. Pour cette dernière 91,25% des bâties inondées sont des types ruraux regroupées en douars, 3,87% sont des habitations de grandes villes, et 4,88% sont des habitations de petites villes (FOFANA. O et al 2013). La submersion des habitations était causée par la stagnation des plans d'eau dont la profondeur peut dépasser 3 à 4 m (carte. n°42-45), dans certaines zones peuplées du Gharb.



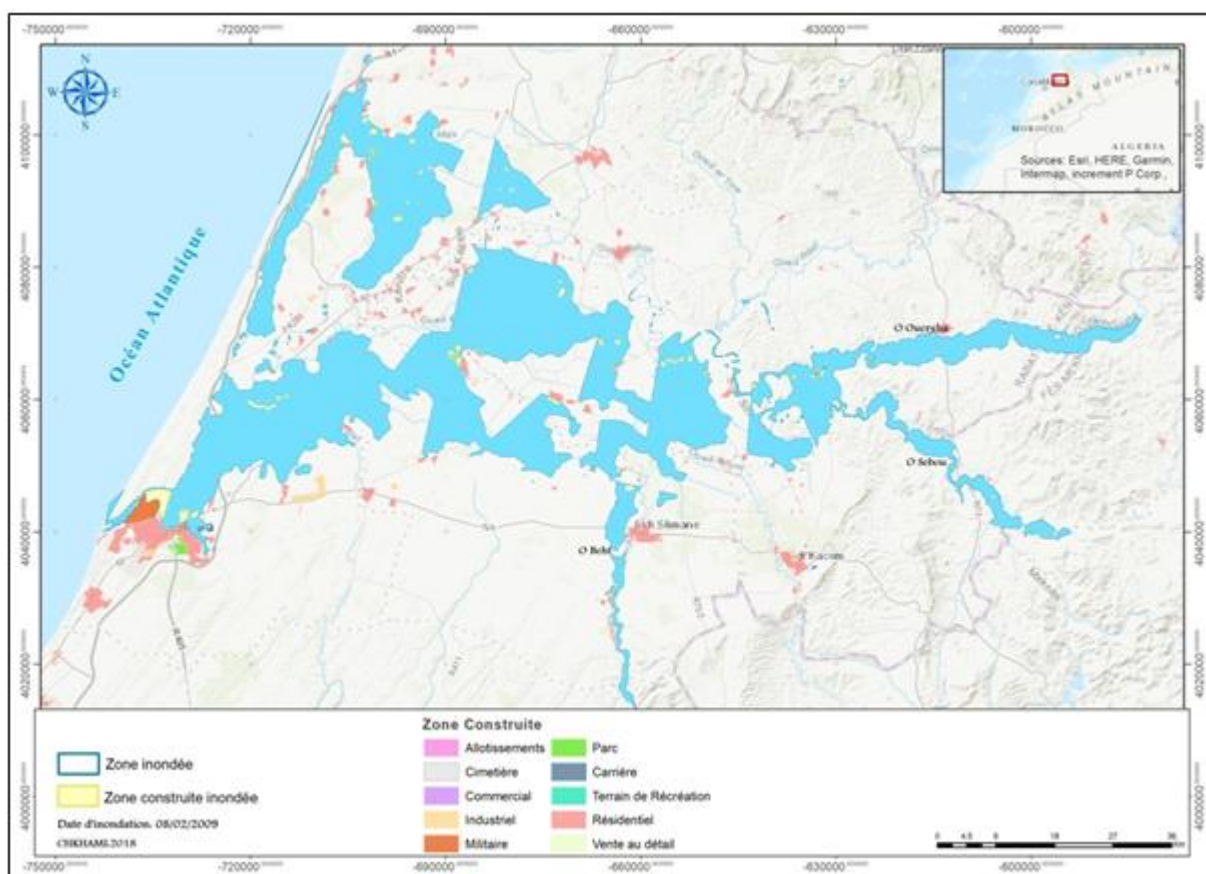
Photos. n°16: Inondations des zones bâties dans le Gharb (Merjet Fourat et Hawafat, 2010).



Carte. n°58: Croisement de la vulnérabilité des zones bâties à l'aléa d'inondations (06-01-1963) dans le Gharb.

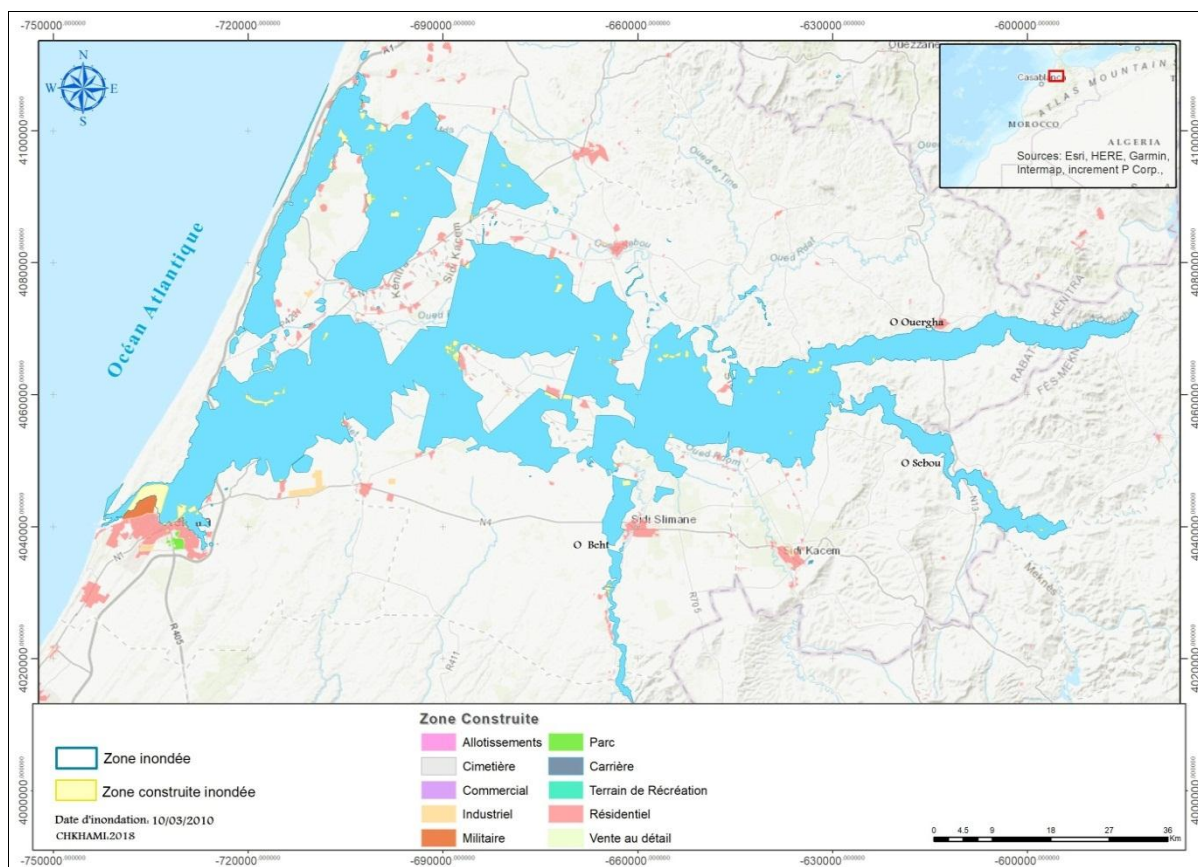


Carte. n°59: Croisement de la vulnérabilité des zones bâties à l'aléa d'inondations (24-01-1996) dans le Gharb.



Carte. n°60: Croisement de la vulnérabilité des zones bâties à l'aléa d'inondations (08-02-2009) dans le Gharb.

dans le Gharb.



**Carte. n°61: Croisement de la vulnérabilité des zones bâties à l'aléa d'inondations (10-03-2010)
dans le Gharb.**

Conclusion du 2^{ème} chapitre:

L'étude de la modélisation hydraulique de la plaine du Gharb à travers la spatialisation des inondations historiques de 1963, 1996, 2009 et 2010 a permis d'une part de faire une étude diagnostique de l'ampleur de ce phénomène dans le bassin de Sebou. À travers l'application de la simulation hydraulique on a pu évaluer les hauteurs d'eau d'inondation et de stagnation en utilisant le Système d'Informations Géographiques « SIG » et le logiciel de modélisation de rivières « HEC-RAS ».

D'autre part, le couplage entre l'aléa d'inondation de ces événements historiques avec les enjeux économiques du Gharb, a montré une grande vulnérabilité des milieux et des infrastructures de la plaine en ce qui concerne les voiries, les zones agricoles, les plantations fruitières, et les zones bâties. Ce constat nécessite une bonne politique de gestion face au risque d'inondation. Dans le prochain chapitre, nous allons étudier la stratégie menée par l'État dans le domaine de la protection des zones inondables du Gharb. Et puis grâce à une étude de terrain il serait question de savoir la perception des populations de ce fléau qui a laissé des conséquences très graves en 2010 et les actions menées par celle-ci pour garantir un minimum de protection de leur milieu d'habitation.

TROISIÈME CHAPITRE:

Les inondations dans la plaine du Gharb: Gestion, ampleur et perception

Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons étudier l'impact des crues inondables à l'aval du bassin versant de Sebou, en particulier dans la plaine du Gharb qui est la zone la plus susceptible de subir les effets des inondations historiques comme celles que nous avons étudié. À cet égard, les études menées par l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou, se concentrent en particulier sur l'aspect technique et ne s'intéressent pas suffisamment aux aspects socio-spatiaux de la population et sa vulnérabilité face aux impacts de cet aléa. Pour analyser cette situation, nous allons adopter une approche par témoin basée sur le remplissage des questionnaires et des entretiens sur terrain.

Les résultats attendus après le dépouillement du questionnaire par le logiciel statistique SPSS 17.0 et Microsoft Excel 2010, étaient de définir les caractéristiques de l'habitat et la susceptibilité d'exposition de la population du Gharb face aux risques d'inondation, et ce après l'identification des causes de ce phénomène auprès de la population locale. Cet aléa climatique dans la plaine du Gharb a un caractère spécifique qui s'explique par ses ampleurs et ses manifestations, qui nous incitent à connaître la perception de ce risque par la population et les modes d'adaptation et de protection menée par de celle-ci.

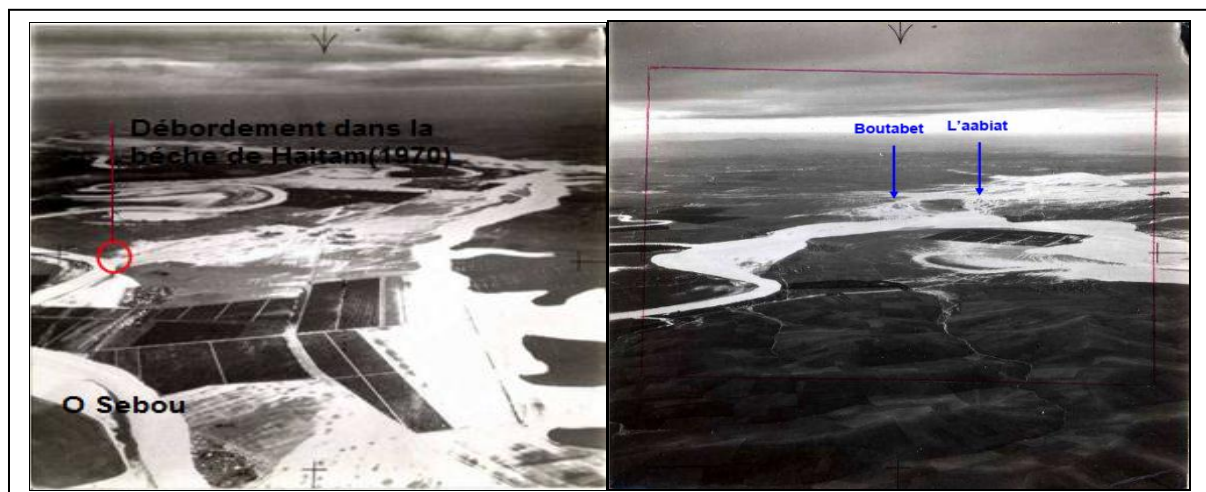
L'objectif final est de proposer les solutions qui peuvent être en accord avec les aspirations des populations afin d'atténuer le risque d'inondation. Dans ce qui suit nous allons établir une chronologie des inondations dans le Gharb, donner les éléments généraux de la stratégie d'aménagement menée par l'État et ensuite étudier les impacts de ce fléau sur la population du Gharb et leur capacité de résilience face à ce risque climatique.

3.1. Chronologie des inondations dans la plaine du Gharb

D'après les rapports de l'Agence Hydraulique de Sebou (2010), les crues observées au XX^e siècle, en particulier celle de 1927, 1960, 1963, 1970, 1971, 1991, 1996 et 1998 ... ont poussé les autorités de l'époque à effectuer d'importants travaux d'assèchement et d'assainissement à travers de grands collecteurs de drainage sur chacune de deux rives de l'oued Sebou.

Depuis la construction du barrage Beht en 1933, Idriss I en 1973 et Al Wahda en 1997, la plaine du Gharb a été protégé de crues inondables, cependant en 2009 et 2010 malgré la présence des barrages, la menace existe encore, mais cette fois en raison des opérations d'écroulements. En effet, la plaine vient de subir les effets de deux années successives de forte hydraulité ayant engendré l'inondation de vastes superficies et mis en danger les habitants

de la zone et leurs biens. L'importance des pluies et le volume des écoulements ont fait déborder l'oued Sebou, Ouergha et Beht, dont les eaux inondables dépassent de loin les capacités d'évacuation du réseau d'assainissement. En conséquence, les inondations dans la plaine du Gharb sont dues à la situation de la plaine en aval du bassin du Sebou, comme exutoire de tous les oueds qui la traversent en direction de l'Atlantique (ABDELMALEK. S et al 2017).



Photos. n°17: Prise de vue aérienne de la brèche de Haitam et Boutabet (Crue 1970) (AHBS 2010).

L'inondation dans le Gharb est évidemment due à l'existence de plusieurs brèches le long de l'oued Sebou et ses affluents (Pho.n°17), à la faible capacité des canaux d'assainissement, à la difficulté d'évacuation des eaux en raison des faibles pentes et l'effet de la marée. Toutes ses caractéristiques expliquent l'importance des étendues d'eau de submersion dans la plaine.

Ainsi les débordements du Sebou en 2008-09 et 2009-10 se sont effectués en plusieurs endroits (oued Okba, Lahmidyine, Hajj El Arbi, Briber, Souk Tleta, oued Myet), et l'inondation des zones basses ont entraîné une surélévation des plans d'eau jusqu'à des côtes jamais atteintes depuis la construction du barrage Al Wahda. L'accumulation des eaux dans la plaine a isolé de nombreux villages entiers, coupant une grande partie des voies de communication pendant des jours et causant des dommages aux cultures. De ce fait, la question de l'évacuation des eaux des pluies, ne peut être dissociée de celle de l'évacuation des eaux de crues pour garantir une protection de la plaine du Gharb contre les inondations.

Puisque la plaine du Gharb a connu de sévères inondations, dévastatrices aux années 1963, 1973, 1989, 1996, 2009 et 2010, ces événements catastrophiques ont laissé de graves répercussions sur les populations de la région surtout avec la submersion de plusieurs milliers d'hectares de terrains agricoles, la destruction des infrastructures et l'effondrement de maisons, ce qui a nécessité l'évacuation de plusieurs familles sinistrées. Les dommages économiques et sociaux sont considérables. Cette situation catastrophique sera discutée en détail à travers notre analyse du questionnaire et des entretiens sur terrain qui ont été effectué

dans la plaine en 2017. Le tableau suivant représente les principales inondations historiques dans le Gharb:

Tableau. n°41: Chronologie des inondations dans la plaine du Gharb (AHBS, 2010).

Années	Zones touchées	Oueds concernés
1973, 1963, 1968 et 1989	Plaine du Gharb	Sebou et Ouergha
1991	Plaine du Gharb	Sebou et Ouergha
1996	Plaine du Gharb	Sebou, Ouergha, Beht, R'dom et Tiflet
2009	Plaine du Gharb	Sebou, Ouergha, Beht, R'dom, Tiflet, Smento et Bouchahla
2010	Plaine du Gharb	Sebou, Ouergha, Beht, R'dom, Tiflet, Smento et Bouchahla

En général, les zones touchées dans la plaine du Gharb pendant ces inondations historiques, sont nombreuses. On peut citer la province de Kenitra-Sidi-Yahya (Dar Gueddari, Sidi Kamel, Allal Tazi, Tarchan, Dar Bellemer, Lemnassera El Haouafate et Mechrâa Belksiri) et à la province de Sidi Kacem (Jorf El Melha, Khenichet, Laabiyate, Ouled Jerrar, Tekna et Mograne).

3.2. Aménagement de la plaine du Gharb

Comme, mentionné auparavant, les inondations dans la plaine du Gharb ne sont pas de nature torrentielle et violente. Elles sont plutôt de type d'inondations dites «**de plaine** » où l'eau d'abord déborde du lit des oueds: Sebou, Ouergha et Beht, à des endroits où la débitante est faible et se répand progressivement par gravité au niveau des zones basses, autrefois connues par la population comme zones de marécages (Merjas) où l'eau stagnait pendant de longues périodes de l'année (Pho.n°17 et Tab.n°41). Cette situation avait obligé l'Agence Hydraulique de Sebou de proposer plusieurs programmes pour aménager la plaine du Gharb contre des inondations.

3.2.1. Rôle des barrages vis-à-vis des crues

D'après Sébastien MERCKLE, Paul ROYET, Gérard DEGOUTTE, Patrice MERIAUX (2010), les barrages écrêteurs sont souvent l'un des éléments d'une stratégie de ralentissement dynamique des crues à l'échelle d'un bassin versant. Les débits entrant aux barrages dans le bassin versant du Sebou ont été écrêté de façon notable durant l'année 2009-10 (Tab. n°42).

Tableau. n°42: Taux d'écrêtement des barrages dans le bassin de Sebou (AHBS, 2010).

Barrages	Débit entrant en m ³ /s	Débit sortant en m ³ /s	% d'écrêtement
Al Wahda	7000	1500	27%

Idriss I	930	450	48%
El Kansera	800	350	44%

Ainsi les barrages n'ont pas joué un rôle suffisant de protection de la plaine du Gharb contre les inondations, or si l'apport volumineux entrant au le barrage Al Wahda s'élève à 7000 m³/s le débit d'écrêtement était 1500 m³/s soit un taux de 27%. Pour les autres barrages, Idriss I et El Kansera les apports d'eau entrantes restent un peu moindres que le barrage Al Wahda, mais le taux d'écrêtement semble plus élevé, car il atteint 48% à Idriss I et 44% à El Kansera. Ceci traduit l'importance des barrages dans la protection contre les crues pendant les années humides exceptionnelles, mais avec le problème de l'envasement de celles-ci on risque d'écrêter encore plus des volumes d'eau avec la baisse des capacités de stockage.

Par ailleurs les débits maximums instantanés d'autres oueds non contrôlés par des retenues de barrages, ont participé de manière significative aux apports d'eau qui s'écoulent vers la plaine du Gharb (Tab.n°43):

Tableau. n°43: Débits maximums Instantanés des oueds non contrôlés par les barrages (AHBS, 2010).

Stations	Oueds	Provinces	Débit max (m³/s)	Date et heure
Azib Soltane	Sebou	Sidi Kacem	1247	08-02-09 à 10h
Souk El Had	R'dom	Sidi Kacem	150	08-02-09 à 4h
R'dat	Had Kourt	Sidi Kacem	240	07-02-09 à 6h
My Ali Cherif	M'da	Kenitra	190	02-02-09 à 16h
Tissa	Lebéne	Taounate	265	03-02-09 à 2h

Si l'amont de bassin versant du Sebou fournit des apports d'eaux très importantes qui peuvent engendrer des crues inondables sur le cours principal de l'oued Sebou et ses affluents, celles-ci peuvent être exprimées par des apports d'eaux retenues par les barrages suivants (AHBS, 2010):

❖ Barrage Al Wahda: 7325 Mm³ avec un taux de 71%, soit 1,97 fois le volume de sa retenue.

❖ Barrage Idriss I et Allal El Fassi: 1692 Mm³ avec un taux de 16%, soit 1,51 fois le volume de sa retenue (y compris dérivation par la galerie de Matmata de 297 Mm³).

❖ Barrage Kansera: 792 Mm³ avec un taux de 8%, soit 3,58 fois le volume de sa retenue.

❖ Autres barrages: 538 Mm³ avec un taux de 5%.

Dans ce contexte, nous allons prendre à titre d'exemple la gestion de la retenue du barrage Al Wahda qui joue un rôle primordial dans la protection de la plaine du Gharb. Cette gestion tantôt stratégique, tantôt tactique consiste à vider partiellement de l'eau pour stocker les nouveaux apports de crues en procédant à des lâchers anticipés, le plus souvent valorisés énergétiquement. Cela a permis d'éviter des dégâts considérables dans le Gharb étant donné le caractère exceptionnel de l'événement hydrologique.

3.2.2. Gestion du Barrage Al Wahda durant l'année 2009-10

À partir de notre visite de la zone d'étude et après les observations sur le terrain et les entretiens qu'on a faits avec les responsables du barrage, ce dernier représente l'ouvrage principal qui garantit un grand degré de protection de la plaine contre les inondations de l'oued Ouergha. Mais l'exceptionnalité de certaines années comme celles de 2008-09 et 2009-10 exige une gestion adéquate pour éviter que les lâchées d'eau ne constituent pas une source additionnelle d'inondation. En effet, pendant cette dernière année l'intensité et l'abondance des pluies hivernales ainsi que le caractère irrégulier et violent de l'écoulement de l'oued Ouergha entre la fin de novembre et le début de mars, ont perturbé la gestion du barrage Al Wahda à partir du 15 décembre 2009 jusqu'au 9 mars 2010.

Selon les explications de (JANATI IDRISSE.A 2012), la gestion d'écêtement du barrage, à partir de la première séquence pluviométrique du 18 au 25 décembre 2009, la réserve a augmenté jusqu'à 2750 Mm^3 . Mais avec l'arrêt de la vidange lors d'une deuxième séquence pluviométrique au début de janvier, le volume de stockage atteint 3500 Mm^3 . Juste après, il était possible de prévoir l'arrivée d'une autre séquence le 10 janvier grâce aux cartes météorologiques, pour activer la vidange du barrage avant l'avènement de la crue, surtout que les pluies étaient intenses sur les sommets du Rif (170mm à Jbel Ouedka en 2010). Ainsi cette gestion n'a pas pu éviter le déversement du 12 janvier. Vers la moitié de février, il fallait aussi vidanger plus avant le début des pluies importantes de cette phase pour épargner la plaine du Gharb les conséquences du deuxième déversement survenu le 17 février (Fig.n°77), surtout que le volume d'eau emmagasiné a dépassé 3500 Mm^3 .

La figure n°77 fait état du bilan de gestion du barrage Al Wahda depuis le début de l'année hydrologique 2009-10:

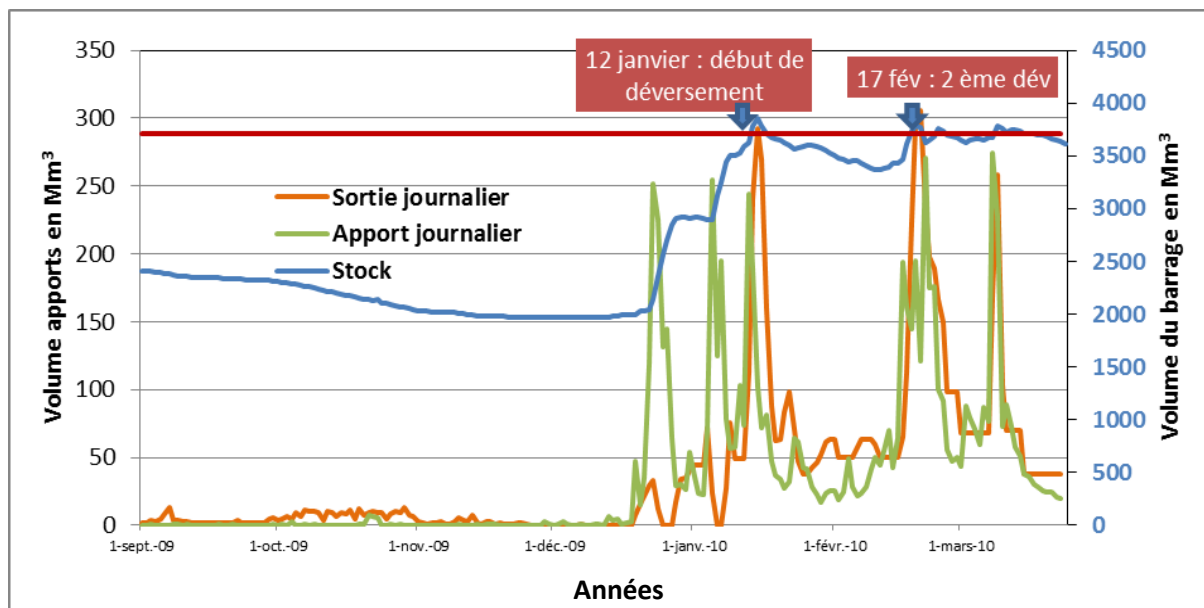


Figure. n°77: Gestion de barrage Al Wahda (AHBS, 2010).

La gestion stratégique de la retenue du barrage Al Wahda, et le rôle des autres retenues en amont ont permis d'éviter des dégâts considérables à la plaine du Gharb étant donné le caractère exceptionnel de l'événement hydro-pluviométrique de cette année (2009-10). En effet le caractère continu des crues de cette année et la faible capacité de vidange de la plaine du Gharb n'a pas permis le bon écrêtement des barrages et donc d'éviter des inondations dans la plaine du Gharb.

Généralement les dispositions prises ont permis d'atténuer considérablement l'intensité des crues et d'éviter des inondations graves d'une ampleur dans la plaine, comme en témoigne le graphique ci-dessous qui représente les débits entrants et sortants à partir du barrage Al Wahda. On y voit bien que les débits sortants (en jaune) sont très inférieurs aux débits entrants.

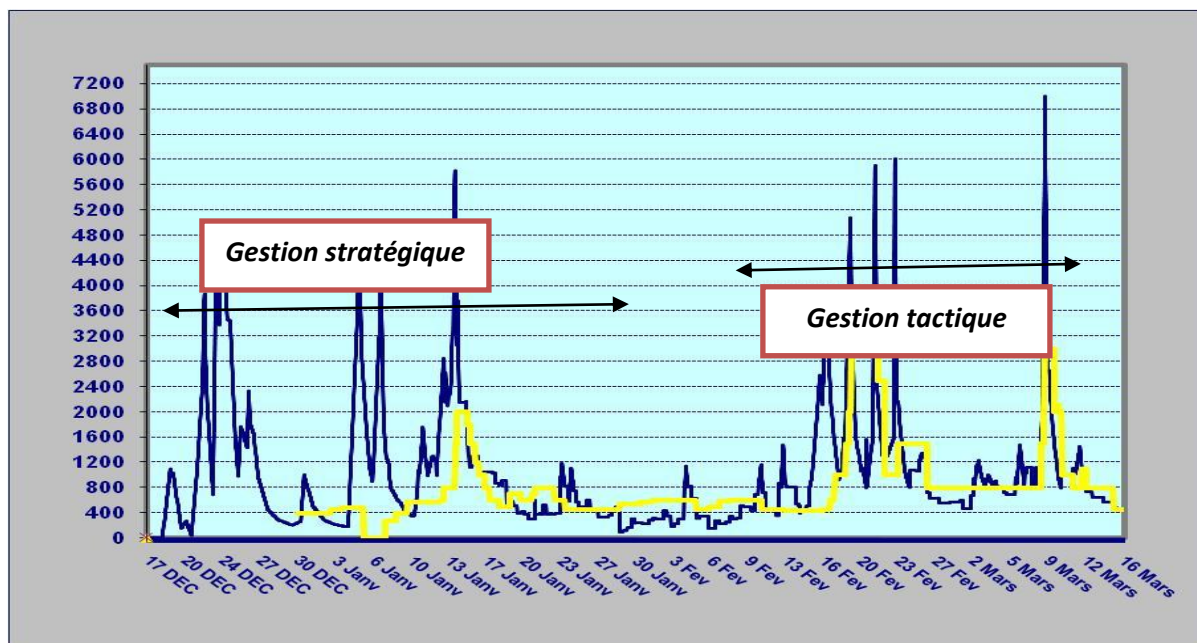
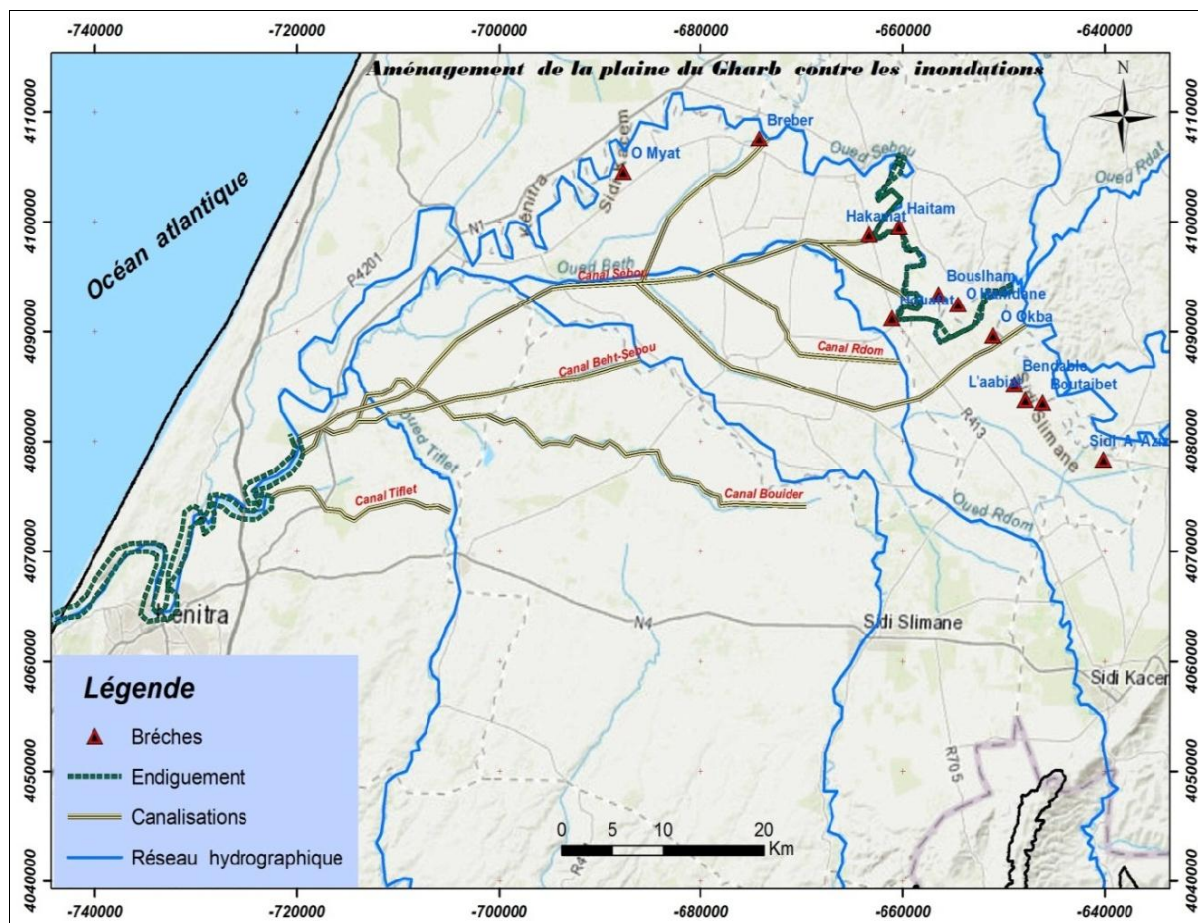


Figure. n°78: Débits entrant et sortant à partir du barrage Al Wahda en 2009-10 (AHBS, 2010).

3.2.3. Moyens de protection contre les inondations

Les débordements des oueds de bassin versant de Sebou montrent que les volumes d'eaux qui coulent dans la plaine ne sont pas totalement évacués vers la mer par le bas-Sebou. Par conséquent, toute solution de protection contre l'inondation doit limiter le volume des crues des affluents montagneux d'oued Sebou de façon à ce que les débits écoulés vers l'aval, soient compatibles avec la capacité de transit du bas-Sebou. C'est ainsi que plusieurs solutions de protection de la plaine du Gharb avaient été envisagées par le projet Sebou et qui sont repris par d'autres études postérieures menées par l'Agence Hydraulique de Sebou sur la base des objectifs suivants:

- ❖ Régulariser les eaux à l'amont du confluent par la construction d'un certain nombre de barrages sur l'oued Sebou (Barrage Allal Fassi) et sur les bassins suivants: Ouergha (Barrage: Al Wahda, Asfalou et Sahla), Beht (Barrage El Kansera) et Inaouene (Barrage Idriss I).
- ❖ Endiguer le bas-Sebou afin d'augmenter sa débitante vers la mer (carte. n°62).



Carte. n°62: Aménagement de la plaine du Gharb contre les risques des crues inondables.

❖ Créer des chenaux de dérivation sur les deux rives du Sebou qui traversent la plaine afin de dévier les eaux excédantes qui dépassent la capacité de transport du bas-Sebou (Pho. n°18).

❖ Stocker les eaux dans les dépressions centrales de la plaine (Merja) qui seront endiguées sur 13700 ha et qui peuvent stocker 135 millions de m³ environ.



Photos. n°18: Canal de Nador, écoulement vers Merja Zerga et Canal Beht-Sebou (AHBS, 2010).

En outre, il était proposé, comme une protection provisoire immédiate d'endiguer les secteurs actuellement équipés par un réseau d'irrigation, d'assainissement et de drainage.

Cette protection immédiate devrait être accompagnée par la réalisation de couloirs de débordements préférentiels qui ne seront pas destinés à l'irrigation, et qui recevront les eaux à chaque débordement.

3.3. Impact des inondations sur la plaine du Gharb

La situation de la plaine du Gharb en aval du bassin versant de Sebou est aggravée par le phénomène d'inondation qui a connu une ampleur considérable au cours des deux années (2008-09 et 2009-10). Ceci est en relation avec la combinaison de plusieurs facteurs, liés d'abord aux conditions physiques comme la forme et la topographie de la plaine, son ouverture océanique permettant un déplacement facile du flux humide vers les montagnes du Rif et du Moyen Atlas, arrosées par des chutes pluviométriques importantes. Ensuite, c'est une zone réceptrice des écoulements provenant des sous-bassins de Sebou qui connaissent un déferlement des crues lors des événements pluvieux les plus intenses. Finalement ses facteurs physiques et climatiques bien qu'ils sont une source de richesse agricole ils augmentent la vulnérabilité de ce milieu s'il n'est pas protégé contre les inondations. Car de toute évidence l'installation des populations les plus fragiles dans les zones menacées par les débordements des oueds et la qualité médiocre des bâtiments moins résistants aux inondations, sont les éléments qui aggravent les impacts de ce risque climatique sur la plaine.

3.3.1. Présentation de la méthodologie d'enquête

La méthodologie consiste à déterminer les Quartiers/Douar qui feront le sujet de l'enquête de terrain, et puis il a fallu choisir les critères à adopter pour notre échantillon et d'établir le questionnaire qui comprendra les informations que nous devons savoir sur le degré de vulnérabilité des populations de la plaine et leur capacité d'adaptation dans ce milieu inondable. Après l'étape de terrain, il serait question de faire un traitement de données et d'interpréter les résultats de notre enquête.

3.3.1.1. Choix des Quartier/Douars, échantillonnage et étude de terrain

Compte tenu de la taille relativement importante de la plaine du Gharb, l'étude a été circonscrite à des quartiers et douars bien précis. Ces Quartiers/Douars ont été choisis en tenant compte la subdivision de la plaine du Gharb en trois provinces (Kenitra, Sidi Kacem et Sidi Slimane), où chaque province est constituée de plusieurs communes. En plus des critères de comparaison, ce sont les critères de vulnérabilité de la population au phénomène étudié qui a guidé les choix. En effet au cours des inondations de l'année 2009-10, certains Quartiers/Douars ont été les plus touchés. Les rapports et documents d'observation indiquant que les endroits susceptibles de débordements des crues inondables dans la plaine, ont servi de guide pour notre démarche. Après avoir identifié ces Quartiers/Douars, nous avons effectué un échantillonnage simple et aléatoire des ménages et des personnes enquêtés de façon individuelle. Le choix des ménages dans chaque Quartier/Douar retenu est porté sur la base de

leur proximité aux zones à risques dans la plaine du Gharb (oueds Sebou, Ouergha et Beht ...). C'est-à-dire que les ménages ont été choisis en fonction de leur degré de vulnérabilité au risque. Au total l'échantillon est constitué de 300 ménages. L'ancienneté dans le Quartier/Douar et l'âge des personnes interrogées ont été des critères primordiaux de l'échantillon.

La phase du terrain a permis de recueillir les informations concernant le comportement de la population face aux aléas d'inondation et leur mode d'adaptation, suite aux différents entretiens tenus auprès des hommes âgés qui ont vécu plusieurs cas d'inondations. Cette approche, était d'un intérêt particulier quant à l'obtention de données relatives aux inondations historiques survenues dans le Gharb.

3.3.1.2. Outils et techniques de collecte des données

3.3.1.2.1. Enquêtes des ménages et objectifs

Nous avons établi une enquête sur les risques d'inondation et leurs impacts dans le Gharb à travers des étapes durant l'année 2017. Cette enquête couvre uniquement les zones touchées par ce phénomène. Elles ont concerné l'ensemble des ménages (tires au sort) dans ces zones. La collecte des données proprement dite s'est faite à l'aide des questionnaires effectués sur les ménages. Celles-ci ont été destinées prioritairement au chef de ménage ou à défaut à une personne du ménage âgée de plus de dix-huit ans. Les sujets d'enquêtes portent dans l'ensemble sur la confrontation des ménages face au problème des inondations, leurs attitudes et comportements en cas de crises, les causes et les impacts des inondations selon leurs avis sur leurs Quartier/Douar. En somme cette phase a eu pour objectif d'analyser la perception, le comportement et le niveau de conscience des individus envers les aléas d'inondations dans la plaine du Gharb.

3.3.1.2.2. Entretien avec les gestionnaires des inondations

Outre les enquêtes domiciliaires, nous avons effectué des entretiens avec des acteurs et des gestionnaires des ressources en eau dans le bassin versant de Sebou et notamment dans le Gharb. Il s'agit donc des services responsables qui gèrent le phénomène d'inondation, dont l'Agence du bassin Hydraulique de Sebou et les chefs de service technique de la municipalité de Khénichet, les services de l'environnement et de l'urbanisme dans la préfecture provinciale de Sidi Kacem, l'Office de Recherche et de Mise en Valeur de l'Agriculture dans la plaine du Gharb à la ville de Kenitra.

3.3.1.2.3. Observations directes du terrain

En plus des enquêtes domiciliaires et des entretiens, nous avons procédé à la détermination des zones submergées dans la plaine du Gharb à l'aide de l'outil cartographique, la prise des photos et l'utilisation de GPS. Les observations sont faites aux moments des tournées de diagnostic du terrain et à divers endroits de débordement des oueds traversant la

plaine. Au cours de ces observations, nous avons répertorié à l'aide de la carte, les limites des crues inondables et les zones submergées dans différents endroits. Certains points ont été relevés avec un GPS (Global Positioning System) et ont été représentés sur un fond de carte qui devra confirmer les positions de débordement des eaux par observation directe de la carte utilisée pour le terrain.

3.3.1.2.4. Dépouillement et analyse des données

Le dépouillement et l'analyse des données collectées sont effectués grâce au logiciel de traitement et d'analyse statistique, SPSS 17.0. Le codage des réponses est entré au préalable dans le format du logiciel SPSS ainsi que l'identification statistique des variables. Car au moment de la saisie, la préoccupation était d'assurer la simplicité des tris (CHARDON, 1981). Les résultats obtenus ont fait l'objet de la représentation graphique avec Microsoft Office Excel 2010.

3.3.2. Vulnérabilité, impact et adaptation face aux inondations du Gharb

Dans le cadre d'établissement de notre recherche sur les impacts des inondations dans la plaine du Gharb, nous avons choisi les endroits les plus touchés par ce phénomène. Pour cela, les questionnaires (annexe. n°5) ont été remplis auprès de la population de la plaine, en ciblant les anciens chefs de ménages résidents, qui ont bien vécu et mémorisé les effets dramatiques des inondations. Les submersions catastrophiques de l'année 2009-10, ont constitué la source des données spatiales de notre échantillon choisi.

3.3.2.1. Caractéristiques de l'habitat dans la plaine

À travers l'observation du terrain et lors du remplissage des questionnaires nous avons pris connaissance de la morphologie de l'habitat dans la plaine constituée des douars dispersés, éclatés ou groupés. Ceci est dû à la topographie de la plaine, aux structures foncières et à la localisation des ressources naturelles (eau et terre). La typologie de l'habitat du Gharb a été présentée par KACHMAR. M (1986) comme suivante:



Photos. n°19: La morphologie d'habitat et douar dans la commune Had Kourt au Gharb (Google earth, 2018).

- ❖ Un habitat traditionnel groupé sur les terres collectives (pho.n°19).
- ❖ Un habitat récent dispersé, résultant de la répartition des fermes de grandes exploitations agricoles de caractère Melk et enfin un habitat résultant de l'installation individuelle de la main-d'œuvre (pho.n°19).
- ❖ Des centres urbains petits et moyens localisés près des oueds et des routes.

Le résultat du dépouillement des questionnaires montre que la moitié de la population résidentielle a hérité son logement à raison de 54,3%, et 5,7% des interrogés sont des locataires et 41% des propriétaires de leurs logements (Tab.n°44).

Le statut de l'habitat peut s'expliquer par l'étendue de la reconstruction dans la plaine du Gharb, ce qui est dû à l'installation des tribus arabes dans ces régions pour pratiquer des activités agricoles en raison de la disponibilité des sols fertiles et des conditions climatiques appropriées. La grande stabilité humaine a été obtenue grâce à la possibilité de l'emploi dans le secteur agricole, ce qui a permis aux jeunes d'être davantage attachés au patrimoine immobilier et familial.

Tableau. n°44: Statut de l'habitat dans la plaine du Gharb (Enquête, 2017).

Statut de l'habitat	Pourcentages %
Propriétaire	41
Locataire	4,7
Héritier	54,3
Total	100

Les douars et les centres urbains du Gharb sont vulnérables à l'inondation, à cause de leur forte exposition à ce risque, eu égard aux conditions qui la caractérisent (Enquête, 2017):

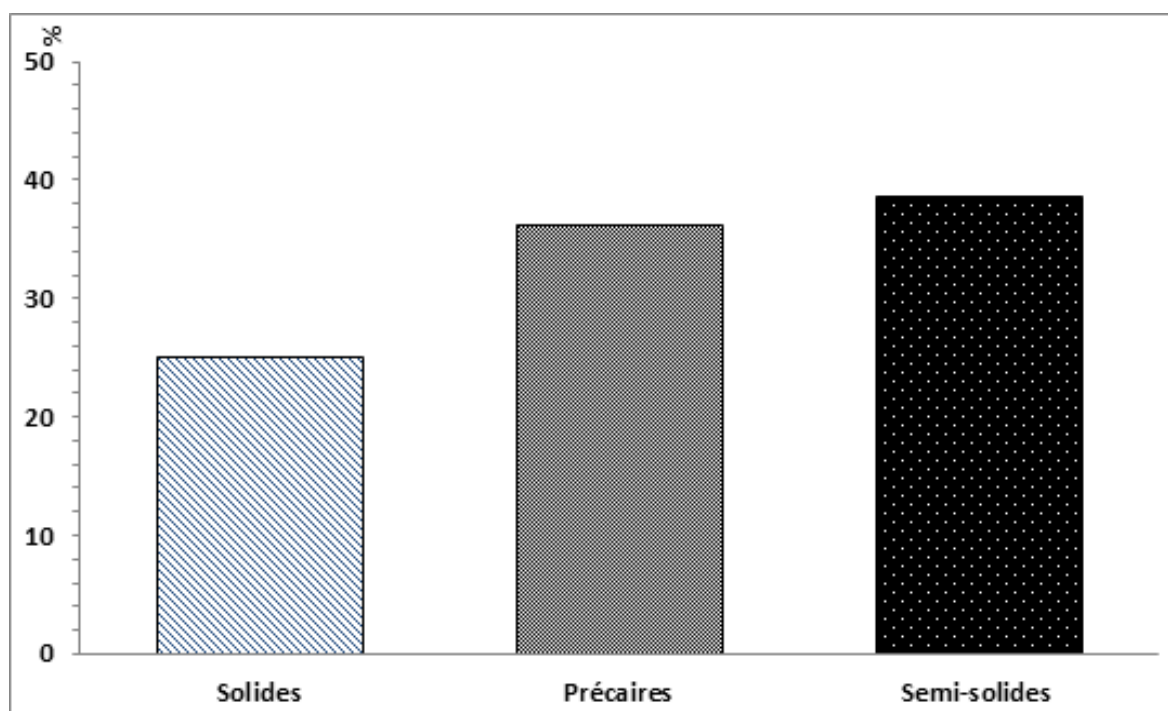


Figure. n°79: Type des constructions d'habitat dans la plaine du Gharb (Enquête, 2017).

❖ 61% des interrogés sont localisés au bord de la rivière que ce soit les bordures de l'oued Sebou, Ouergha et Beht

❖ 35% sont installés dans les zones marécageuses au fond de la plaine du Gharb. Ces zones se caractérisent par le dysfonctionnement d'assainissement de l'eau débordée des oueds ou des eaux pluviales.

❖ 4% des populations demeurent dans les zones les plus élevées sur des collines avoisinantes.

Ce qui a aggravé les effets négatifs des inondations dans le Gharb en 2009-10, c'est le type de construction des habitats, construit par des matériaux locaux (Pho. n°20) qui constitue 36,3% des bâtis. Il y a un autre type d'habitat édifié avec un mélange des matériaux locaux et des ciments armés qui représente 38,7%. Et dernièrement, le type d'habitat solide des centres urbains qui, avec quelques bâtis isolés dans les douars représente un taux de 25%.



Photos. n°20: État de Douar Syabna (Gharb) après les inondations de mars 2010. Et Type des édifices précaires menacés par les inondations de février 2010.

Les réponses que nous avons obtenues concernent le risque d'inondation dans les endroits les plus vulnérables de la plaine, sont favorables pour 96% d'individus qui admettent que leurs Quartiers/Douars sont submergés par les inondations au début de leurs installations, et seront toujours exposés à ce fléau. Mais seulement 4% ne voient aucune menace durant leur occupation de la plaine (Enquête, 2017).

Afin d'expliquer cette situation, nous avons posé une série de questions pour déterminer comment les populations sont conscientes du risque d'inondation. Tout d'abord, les premières réponses, 35,3% ont déclaré que leurs logements ont déjà été inondés, car ces personnes ont des bâtis implantés dans les zones marécageuses et aux bordures de l'oued Sebou et ses affluents (Enquête, 2017). Ensuite, 64,7% des enquêtés avancent qu'ils ont été informé que la plaine est menacée d'inondation par leurs communes respectives et également par l'Agence Hydraulique de Sebou. Enfin, seulement 4% des personnes ont répondu n'avoir pas connu le phénomène d'inondation avant leurs installations dans la plaine.

3.3.2.2. Causes des inondations selon la population locale

Les causes des inondations d'après les populations interrogées, sont diversifiées selon les endroits où les lieux d'habitation. D'après le tableau n°45, 83,3% des chefs de ménages expriment que les causes primordiales des inondations dans la plaine du Gharb, sont dues au débordement de l'oued Sebou et de ses affluents. En outre les entretiens auprès des populations dans le village de Sidi Abdelaziz, la municipalité de Khénichet et le Douar Magrane (confluent entre oued Sebou et oued Ouergha), confirment qu'après le passage des épisodes atmosphériques pluvieux, le débit des deux oueds: Ouergha et Sebou, augmente au fur et à mesure pour atteindre des niveaux plus élevés.

Tableau. n°45: Causes des inondations dans la plaine du Gharb (Enquête, 2017).

Les causes des inondations	pourcentages
Le débordement de la nappe phréatique	12
Le débordement de cours d'eau (Sebou) et de ses affluents	83,3
Les ruissellements pluviaux	4,7
Total	100

En effet, au niveau de la zone de confluence, l'augmentation du débit et la violence d'écoulement de l'oued Ouergha sont susceptibles de bloquer l'écoulement de l'oued Sebou en le forçant à diminuer la vitesse de son écoulement, ce qui favorise le débordement des eaux dans la région de Khénichet en Est de la province de Sidi Kacem (Pho. n°21).

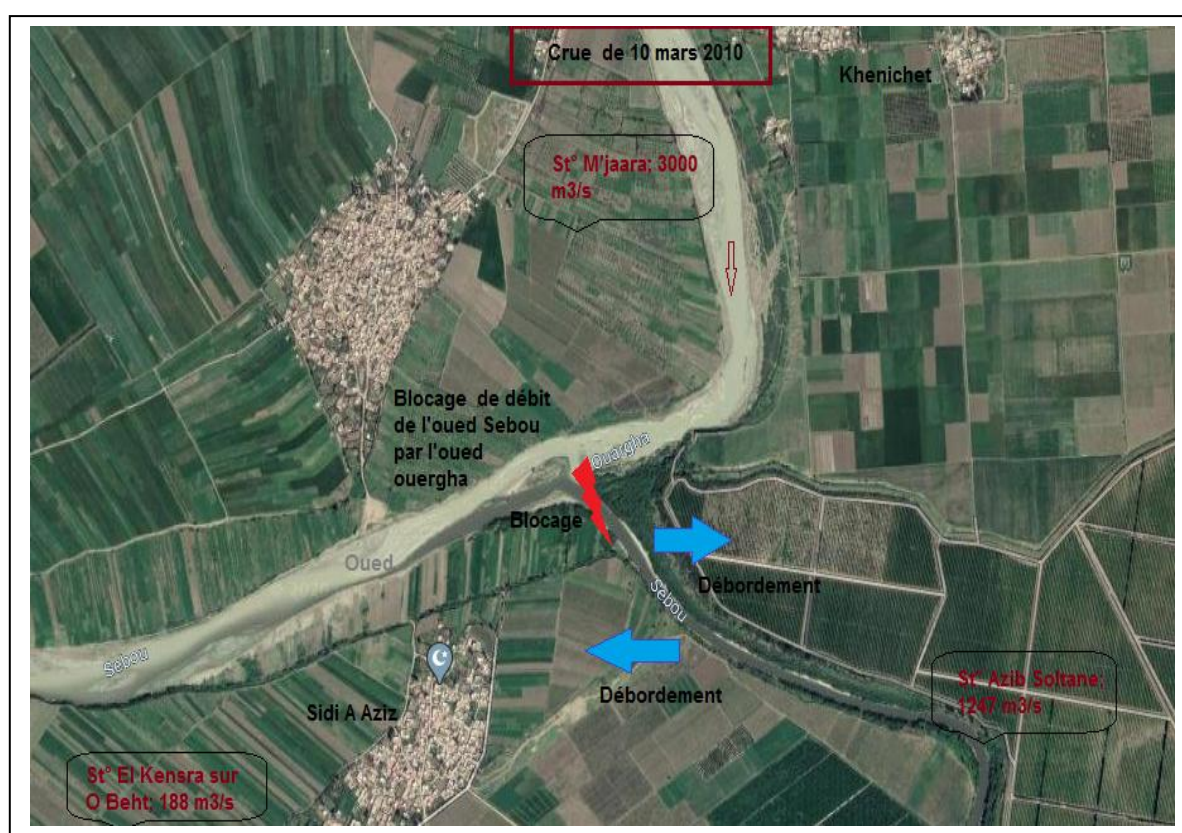


Photo. n°21: Confluence entre oued Ouergha et oued Sebou au Magrane(Gharb).

La deuxième cause d'inondation dans la plaine exprimée par 12% d'individus interrogés, est le débordement de la nappe, car le Gharb est une zone qui forme une cuvette marécageuse établie par la remontée de la nappe durant les années humides (1963,1996, 2009, et 2010), ce qui accentue le phénomène d'inondation par la submersion. La troisième cause, c'est les ruissellements pluviaux qui représentent un taux de 4,7%. En effet, la chute des pluies est renforcée par la forme plane du Gharb, ce qui est défavorable à l'écoulement, d'où la présence des zones marécageuses (Pho. n°17).

Dans la figure n°80, nous avons proposé huit causes des crues inondables, et nous avons demandé à la population de les réordonner selon leurs priorités dans la plaine. Tout d'abord, la cause principale classée au rang n°1, c'est l'insuffisance des ouvrages qui permettent de protéger la population pendant les crues volumineuses. En effet, la capacité des barrages devient insuffisante devant les quantités d'eau précipitée. C'est le cas de la situation hydrologique spectaculaire de l'année 2009-10.

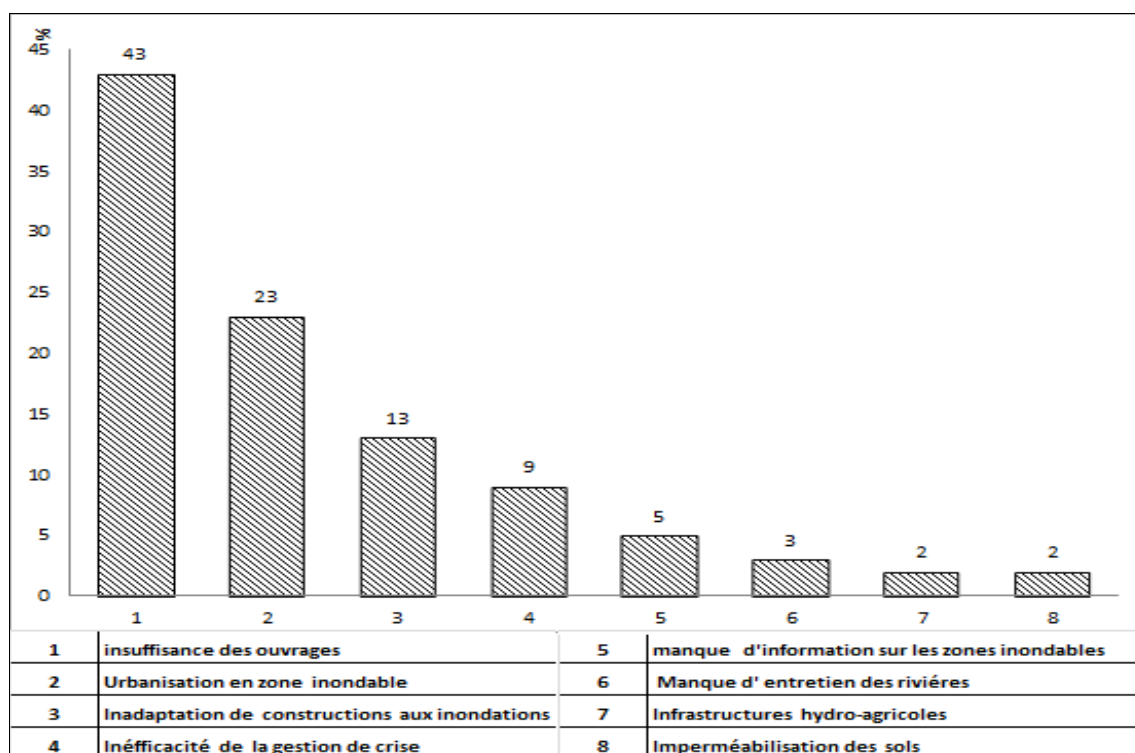


Figure. n°80: Importance des causes des inondations dans le Gharb (Enquête, 2017).

Ensuite, la deuxième cause des inondations dans la plaine, c'est l'urbanisation dans les zones inondables. Il semble clairement que l'extension des Douars (Syabna, Haouafate et Ouled Berihil), et des centres urbains (Khénichet, Sidi Slimane, Mechrâa Belksiri ...) dans la plaine auprès de l'oued Sebou et ses affluents (Ouergha et Beht), augmente le risque d'inondation. Ces petits centres au bord des oueds accroissent la vulnérabilité des biens et des personnes face à cet aléa. Au troisième ordre, l'inadaptation des constructions aux inondations, illustrée par la figure n°80 qui indique que 36,33% d'habitats précaires utilisent des matériaux locaux, et 38,67% d'habitat semi-solides mélangent les matériaux locaux et les ciments armés.

L'inefficacité de la gestion de crise se place au quatrième rang. Elle est due essentiellement à la mauvaise gestion des inondations de 2009-10 par les autorités locales, car le nombre des personnes concernées par le sauvetage et l'évacuation a touché 23000 personnes (AHBS; 2010). Ainsi la protection de leurs biens, était caractérisée par une sorte de lenteur et d'improvisation face à l'ampleur, et au volume des eaux qui a engloutie des grandes surfaces (110500 h) le 23 février 2010. Cela a entraîné d'importants dommages dans les terres

agricoles, ce qui a provoqué l'isolement de certains villages laissés longtemps sans abri et sans nourriture (citation de témoignage; été 2017). La population de la plaine du Gharb met également en cause le manque d'information sur les zones inondables, classée en ordre n°5, ce qui explique qu'elle est moins intéressante. Ensuite, le manque d'entretien des rivières et des oueds qui traversent la plaine. Ce facteur ne retient pas l'attention de la population, ce qui le met en rang n°6. La plaine du Gharb a connu un programme d'aménagement hydro-agricole depuis le protectorat, mais la population ne considère pas les infrastructures dans ce domaine comme une cause directe de l'inondation, car elle le met dans l'ordre n°7. Enfin, la population enquêtée place l'imperméabilisation des sols dans le dernier ordre n°8.

Dans l'ensemble, la population de Gharb malgré leurs remarquables expériences face aux dernières inondations de 2009-10, elles ont subi des pertes humaines et matérielles importantes. Elle affirme que la première cause de la propagation des inondations dans la plaine est l'incapacité des barrages à stocker les apports d'eau et réduire l'impact des crues inondables. Elle est de ce fait consciente que le risque vient de l'amont de Sebou (Bv d'Ouergha, Inaouene, Haut Sebou et Beht ...) et que ces oueds inondent la plaine du Gharb lors des événements pluviométriques extrêmes. En revanche, elles n'oublient pas qu'il y a longtemps, elles se sont installées près de sinuosités des oueds: oued Sebou, Ouergha, Beht R'dat et R'dom Et ce facteur augmente davantage la menace des inondations pendant l'avènement de grandes crues inondables.

3.3.2.3. Fréquence et ampleur des inondations dans le Gharb

Dans le 1^{er} chapitre de la 3^{ème} partie, nous avons établi une étude fréquentielle qui s'est basée sur l'approche statistique pour déterminer les périodes de retour des crues inondables dans le bassin de Sebou. Et pour confirmer ces résultats, nous avons enquêté sur l'opinion de la population en ce qui concerne la récidivité des inondations. En outre, pour comprendre l'ampleur temporaire des inondations dans la plaine, nous nous sommes appuyés sur les données fournies par la population locale, afin d'étudier la propagation des inondations en 2009-10 dans la plaine du Gharb. C'est une tentative qui a été faite pour trouver une explication de la stagnation des eaux dans cette zone.

3.3.2.3.1. Le Gharb la région la plus inondable du bassin

Dans ce contexte, nous avons précisé les périodes de retour des inondations, en se basant sur le témoignage (approche par témoin) apporté par des personnes qui ont subi de nombreuses inondations dans le Gharb. À travers la figure n°81, nous constatons que 77% des chefs des ménages ont estimé le retour des crues inondables dans la plaine du Gharb, durant une période supérieure à 30 ans. Et si on revient à l'histoire des inondations, les plus importantes qui sont restées gravé dans la mémoire, se sont celles de 1963, 1996, 2009 et 2010. Les périodes de retour ont été déterminées en fonction des catégories d'âge des personnes interrogés. Cependant 17% des enquêtés dont l'âge varie entre 20 et 30 ans ont

avoué qu'ils ont connu l'événement d'inondation une fois dans leur vie. La troisième catégorie entre 10 et 20 ans ayant vécu une fois les inondations ne représente que 3,7%, 1,7% seulement pour la catégorie entre 5-10 ans et 0,7% pour la catégorie de moins de 5ans. Cela dit, l'enquête met en faveur les gens les plus âgés qui ont vécu fréquemment le débordement de l'oued Sebou dans la plaine du Gharb.

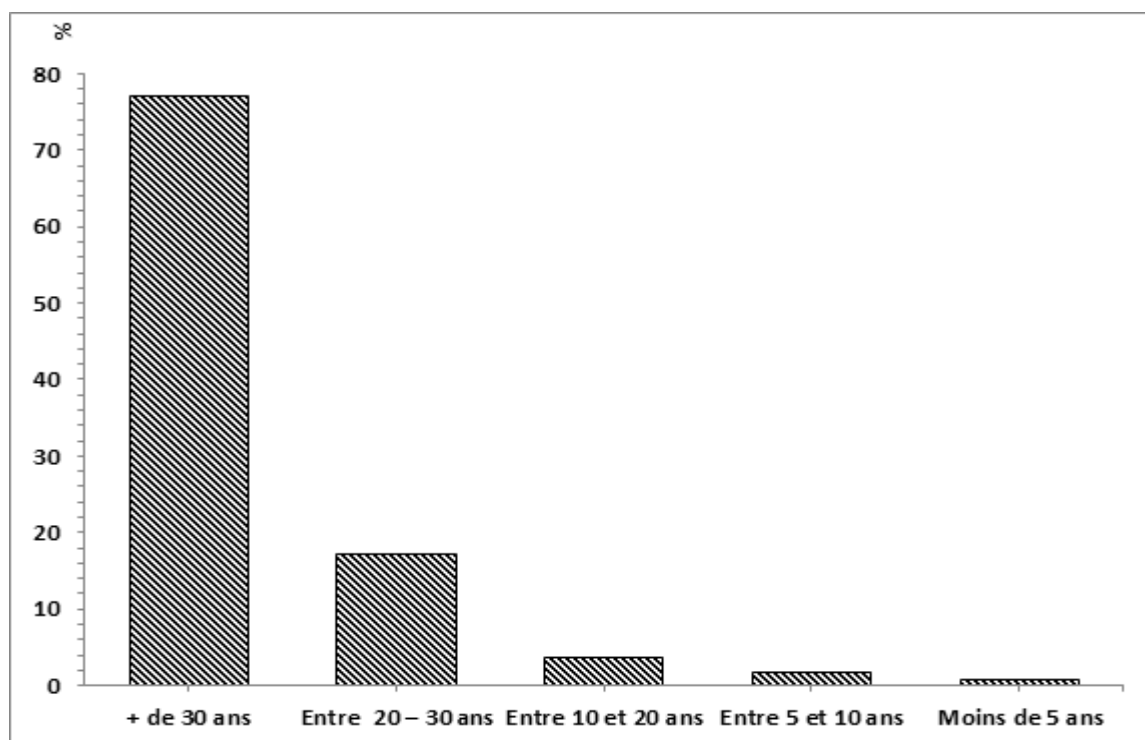


Figure. n°81: Age des habitants vivant les inondations dans le Gharb (Enquête, 2017).

Après l'étude de retour des inondations selon les catégories d'âge des habitants, nous allons monter la fréquence des crues inondables selon les années de retour comme il est indiqué dans le tableau. n°46:

Tableau. n°46: Fréquences des inondations au point de vue de population du Gharb (Enquête, 2017).

Les périodes de retour des inondations	Pourcentages
Extrêmement fréquentes (1fois/an à plusieurs fois /an en moyenne).	1
Très fréquentes (1 fois tous les 2 à 5 ans en moyenne).	13,7
Fréquentes (1 fois tous les 10 ans en moyenne).	82,7
Rares (1 fois tous les 50 ou 100 ans en moyenne).	2,7
Total	100

D'abord, les inondations sont fréquentes une fois tous les 10 ans en moyenne, et sont relevées et estimées par la majorité des interrogés dans le Gharb; 82,7%. Ensuite, les inondations selon certains interrogés, sont fréquentes une fois tous les 2 à 5 ans en moyenne, ce qui représente 13,7% habitants. Les inondations ayant été fréquentes une fois tous les 10

ans ne constituent que 2,7%. Enfin, les avis exprimant la fréquence extrême des inondations, c'est-à-dire une fois ou plusieurs fois par ans en moyenne, représentent 1%. En somme, la majorité des réponses s'accordent vers le retour des inondations dans le Gharb une fois tous les dix ans. Cela est due d'un côté à la succession des années sèches et humides, d'un autre côté au rôle des barrages construits sur l'oued Sebou et ses affluents (Barrage AL Wahda, Idriss I, Allal Al Fassi et El Kansera...) qui font minimiser le nombre des crues au niveau de la plaine du Gharb.

D'après la figure n°82, le temps de stagnation des inondations dans la plaine dure entre 10 à 20 jours, ce qui représente un taux de 85,3% dans l'ensemble des opinions des populations interrogées. Cela peut être expliqué par plusieurs facteurs; tels que le facteur météorologique responsable de l'abondance pluviométrique et le facteur anthropique, car l'envasement des barrages limite leur capacité de stockage, ce qui oblige les fréquents écrêtements de celles-ci. Finalement il y a le facteur physique, dont la nature topographique du Gharb, entrave l'écoulement de l'eau, au sein de la plaine en facilitant la formation de vastes zones submergées.

Selon BOUCHAIB. M (2010), la vidange de ces plans d'eau dans la plaine s'effectue par l'oued Sebou et les canaux de drainage «Ghaufira» et oued Beht qui rejoignent en rive gauche l'oued Sebou au niveau de «Mograne». La vidange de la rive droite s'effectue par les canaux «Segmet» et «Nador» (Pho.n°18) débouchant sur la Merjas Zerga près de Moulay Boussalham. Sachant que la capacité maximale d'évacuation des canaux «Ghaufira» et Beht-Sebou est de l'ordre de $200\text{m}^3/\text{s}$ le temps nécessaire pour la vidange la plaine du Gharb peut-être estimé en divisant le volume débordé (1100 Mm^3) sur les $200\text{m}^3/\text{s}$, ce qui représente la durée du transit de l'eau dans les canaux de la rive gauche de l'oued Sebou (ABHS, 2009). Ainsi 13,7% des habitants déterminent la durée de la stagnation des inondations dans la plaine entre 5 et 10 jours. La représentation d'autres catégories reste minime, que soit pour la durée de 1 à 5 jours, 0,3% ou pour la durée supérieure de 20 jours, 0,7%.

Malheureusement, le caractère continu des crues de l'année (2009-10) et la faible capacité de vidange de la plaine n'a pas permis de reconstituer rapidement des creux importants au niveau des barrages en amont du bassin versant de Sebou, et donc d'éviter les inondations dans le Gharb. On peut dire ainsi que la longue stagnation des eaux dans la plaine est un des éléments qui ont contribué à l'augmentation de la vulnérabilité de la population et à la gravité des pertes potentielles relatives à chaque aléa d'inondation.

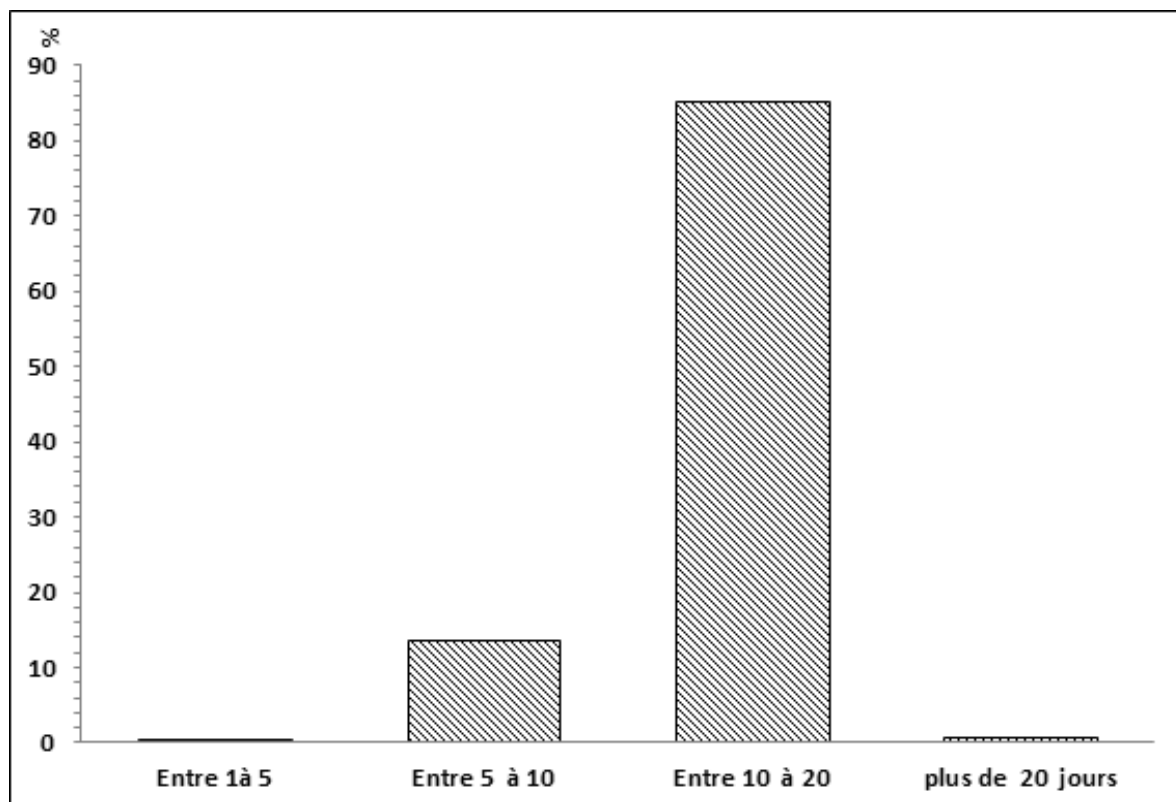


Figure. n°82: Durée par jours de la stagnation des inondations dans le Gharb (Enquête, 2017).

3.3.2.3.2. Les dommages dus aux inondations dans le Gharb

En vertu de sa situation en aval du bassin et sa vulnérabilité, la plaine du Gharb est la zone qui a enregistré le plus des dégâts dans le bassin du Sebou. La capacité de sa débitante diminue d'une année à l'autre (moins de $800\text{m}^3/\text{s}$ actuellement contre $2000\text{m}^3/\text{s}$ en 1970), les faibles pentes ainsi que l'effet de la marée, sont autant de facteurs qui contribuent aux grandes inondations de la plaine. En plus, la plaine abrite beaucoup de Merjas qui engendrent des stagnations prolongées des eaux (Pho.n°22). D'ailleurs l'importance des superficies inondées par stagnation des eaux pluviales, avait toujours eu un impact néfaste sur les biens des personnes et sur l'infrastructure hydroagricole de la région.



Photos. n°22: Débordement de l'oued Sebou à la commune de Haouafat et Sidi Abdelaziz(2010).

3.3.2.3.3. Impact des inondations sur la culture et l'élevage

Au 25 décembre 2009, les inondations par stagnation des eaux dans la plaine du Gharb avaient concerné une superficie de 8800 ha, mais le 23 février 2010 (pho. n°22) elle s'est répandue sur une surface de 110 500 ha (Fig. n°83). L'extension de la zone submergée dans le Gharb avait entraîné d'importantes pertes des biens matériels et agricoles que nous pouvons citer comme suit:

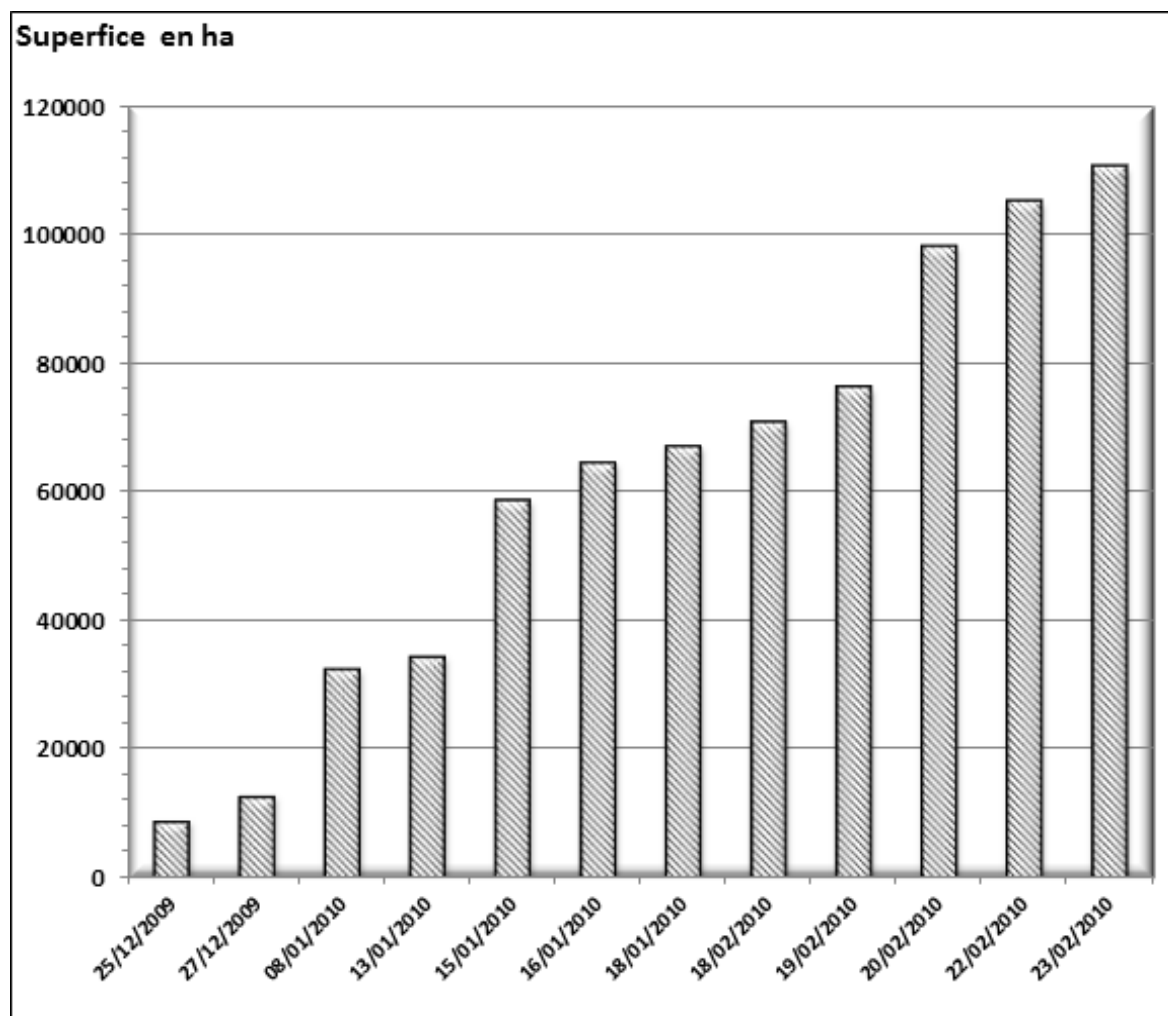


Figure. n°83: Évolution des superficies inondées dans la plaine du Gharb (ORMVAG, 2010).

Selon notre enquête de l'année 2017, les terres cultivées constituent 80% des dégâts d'inondation qui ont touché la majorité des communes du Gharb. Les superficies des cultures ayant subi au moins l'impact des deux crues du 23 février et du 11 mars 2010, sont considérées perdues. Le pic de submersion enregistré le 23-02-2010 avec 110500 ha avait touché 5000 ha d'arboricultures, qui sont considérés non perdues, mais les inondations ont endommagé une surface pareille de 5000 ha de terrain non emblavé. Les superficies consacrées aux cultures automnales (les céréales) constituent 74,7% des terres cultivées de la plaine. La valeur des pertes au niveau des productions agricoles peut être estimée en se basant sur les rendements moyens obtenus en année normale. Pour les agrumes qui s'étalent sur

25,3% des terres cultivées, les pertes totales sont évaluées comme une phase de sous-production pendant la stagnation des eaux inondables.

Les inondations 2009-10 ont eu également un impact sur l'élevage, notamment pour l'alimentation du cheptel en raison des pluies continues depuis octobre 2009 (stagnation d'eau) associées aux basses températures qui n'ont pas permis un développement normal des cultures fourragères. En outre, la détérioration des accès aux parcelles durant les jours pluvieux, ont entraîné des difficultés énormes pour l'exploitation du fourrage (AHBS, 2009) et (Enquête, 2017). Cette situation a eu des répercussions négatives sur l'état physique des animaux.

3.3.2.3.4. Impact des inondations sur l'infrastructure hydro-agricole et le réseau routier

Parmi les dégâts des inondations de l'année 2009-10 et selon le point de vue des habitants du Gharb, se trouvent les infrastructures hydro-agricoles qui constituent 17,7% des pertes d'après notre enquête en 2017. Ainsi les dommages (Pho. n°23) causées avec celle-ci dans le Gharb selon AHBS, 2009) sont:

- ❖ La dégradation et l'envasement des réseaux d'assainissement et d'irrigation;
- ❖ Chute et casement de plusieurs éléments des canaux portés d'irrigation;
- ❖ Détérioration et inondation de certaines stations de pompage;

Pour le réseau routier dans la plaine du Gharb, il a été coupé par le débordement de l'oued Sebou et ses affluents à différents endroits entre le 20 février et le 4 mars 2010 à savoir toutes les routes (Nationales, Régionales et Provinciales), qui ont connu une dégradation de chaussées dans les sections suivantes (AHBS, 2010):

- ❖ Route secondaire n°227 reliant la commune Mograne à Sidi Yahya;
- ❖ Route Belksiri-Sidi Kacem;
- ❖ Route dar Gueddari-Souyassiyine;
- ❖ Route tertiaire° 2654 reliant la nationale. n°1 (Azib Bghailia) à Sidi Yahya;
- ❖ Route provinciale reliant Souk El Arbaa à Lalla Mimouna;

En ce qui concerne la voie ferrée, la dégradation de sa chaussée avait entraîné les répercussions suivantes:

- ❖ Coupure de la liaison ferroviaire entre Sidi Kacem et Belksiri;
- ❖ Endommagement de la nouvelle ligne Sidi Yahya Belksiri;
- ❖ Coupure de la voie ferroviaire au niveau de Haouafat;

Les photos ci-dessous montrent les effets des inondations sur les infrastructures dans le Gharb. La submersion de celle-ci a considérablement entravé le processus de sauvetage de

personnes, et exacerbé la situation sociale en contraignant la distribution de la nourriture à la population piégée.



Photos. n°23: Canaux d'irrigation détruits dans la zone de Ghrarda et Coupure de la Rn°413 à M'saâda (2010).

3.3.2.3.5. Impact des inondations sur l'habitat et les personnes

Les inondations de 2009-10 ont affecté 10 communes, dont 68 douars dans la province de Sidi Kacem, et même plusieurs communes, dont 100 douars engloutis dans la province de Sidi Slimane et Kenitra. Le tableau suivant présente les communes les plus touchées:

Tableau. n°47: Communes touchés par les inondations (OMVAG, 2010).

Province	Communes	Nombre de Douars	Causes
Sidi Kacem	El Haouafat	10	Sebou
	Belksiri	2	Sebou
	Sefsaf	12	Sebou
	R'mila	6	Sebou
	Bir Taleb	3	Sebou
	Dar Aslouji	8	R'dom et Tihli
	Khenichet	11	Sebou et Ouergha
	Sidi Med Chelh	4	Sebou
	Sidi Azzouz	10	Sebou
	My Abdelkader	2	Tine
		68	
Kenitra et Sidi Slimane	Ameur Seflia	4	Sebou
	Ameur nord	7	Sebou
	Mograne	23	Sebou et Beht
	Ouled Slama	9	Sebou
	Mnasra	12	Merjas
	Ben mansour	8	Merjas
	Sfafa	8	Sebou
	Kceibya	6	Beht

	Ouled Hicine	13	Sebou
	Boumaiz	10	Sebou
		100	

Ce phénomène a eu des répercussions négatives sur l'habitat et les personnes dans les différents endroits limitrophes de l'oued Sebou et de ses affluents. Au tableau n°48, nous avons mesuré selon notre enquête les lieux qui constituent le plus de risque pour la population du Gharb.

Tableau. n°48: Zones à risque d'inondation dans la plaine du Gharb (Enquête, 2017).

Endroits menacés par le risque d'inondation	Pourcentages
Trajet entre habitation et lieu de travail.	9,7
Votre lieu de travail.	14,7
Habitation personnelle	64,3
Ecole des enfants.	1,3
Terres agricoles.	10
Total	100

Les résultats de cette enquête montrent que 64,3% des interrogés déclarent que leur habitat est situé dans une zone à risque, où 63% ont perdu leur logement de façon complète ou partielle, et seulement 37% des habitants peuvent regagner leurs logements restés en bon état après les inondations. Suite à cette situation, les autorités locales ont cherché à déplacer 22511 personnes de leurs logements vers des bivouacs (AHBS, 2010):

- ❖ 12932 personnes dans la province de Kenitra;
- ❖ 4879 personnes dans la province de Sidi Slimane;
- ❖ 4700 personnes dans la province de sidi Kacem;

Par ailleurs, 14,7% des individus ont trouvé leurs lieux de travail inondé et 9,7% croient que le trajet entre le logement et le lieu de travail constitue une zone à risque d'inondation, ce qui a poussé les autorités locales à arrêter le fonctionnement des établissements et des usines touchées par les inondations. En revanche, 1,3% des habitants ont considéré que l'école est dans une zone à risque d'inondation, ce qui met en évidence l'impact de celui-ci sur la suspension de la scolarisation des élèves pendant plusieurs jours.

3.3.2.4 Perception des risques d'inondation et mesures de gestion

Si les inondations spectaculaires des années soixante sont restées mémorables dans le Gharb, les barrages construits depuis sur l'oued Sebou et ses affluents, avaient protégé la plaine de crues des deux années 1995-96 et 1996-97. Mais les événements pluviométriques exceptionnels de la phase (2008-2010) ont obligé l'écêtement fréquent de ces barrages, ce

qui a inondé la plaine du Gharb. Face à la fréquence de cet aléa, comment les habitants du Gharb perçoivent-ils le risque des inondations, et comment ils l'ont affronté ?

3.3.2.4.1. Perception du risque d'inondation

La perception du risque d'inondation dans la plaine du Gharb a montré que 74,67% des habitants ciblés, considèrent qu'ils ne sont pas protégés contre les risques des inondations, avec 53,8% de la population voient que la propagation de l'inondation se fait dans un temps très court. D'autre part 39% d'individus interrogés pensent que les risques d'inondation sont dus au manque d'ouvrages de protections contre ces aléas (Enquête, 2017) et citent que les inondations de 2009-10, sont en relation avec l'incapacité des barrages à écrêter les crues dans le bassin versant de Sebou et à absorber les débits supplémentaires. S'ajoute aussi l'absence de barrages écrêteurs des crues sur certaines oueds, comme le cas de l'oued Lébène, R'dat et M'dat qui contribuent à l'augmentation du débit de l'oued Sebou. En revanche, une catégorie des répondants (7,2%) croient que pendant les inondations, rien ne peut être fait devant la force torrentielle des crues, en particulier, avant la construction du barrage d'Al Wahda sur l'oued Ouergha. Par ailleurs, en ce qui concerne les individus protégés contre les inondations (Tab. n°50), 76,6% des répondants estiment que leurs maisons ou leurs activités sont à l'abri d'inondation, que ce soit à travers la présence d'une digue ou autres infrastructures.

Dans le cadre de l'analyse de la vulnérabilité des populations dans la plaine, nous avons proposé des questions pour découvrir est ce que les habitants connaissent bien le plan de lutte contre les inondations dans le Gharb? Les résultats de l'enquête (Tab. n°49) montrent d'abord que 78,3% des répondants ne connaissaient pas le plan de lutte contre les inondations dans le Gharb, mais 17% d'habitants savent seulement qu'il existe, et seulement 2,7% d'individus répondent par oui, mais ils avaient une idée vague sur ce plan, et enfin 2% d'interrogés connaissaient bien le plan de lutte contre les inondations dans le Gharb. Cette dernière catégorie concerne les gens qui ont un niveau d'étude moyen et élevé (fonctionnaires, administratifs, acteur politique et social) (Entretien, 2017).

D'après leurs opinions sur l'importance de l'information émanant de ce plan 80% d'individus voient que celles-ci sont insuffisantes pour diminuer et éviter les effets négatifs des crues inondables. 11% pensent que les informations transmises par le plan sont rares et ne permettent pas de comprendre les risques des inondations. Mais seulement 9% des enquêtés connaissent le plan de lutte contre les inondations du Gharb et croient que les informations sont suffisantes pour diminuer la vulnérabilité de la population et d'éviter les dommages probables des crues inondables.

Tableau. n°49: Savez-vous un plan de lutte contre les inondations dans la plaine du Gharb?

Connaissance le plan de lutte contre les inondations	Pourcentages
Non, je ne le connais pas.	78,3
Oui, mais je sais seulement qu'il existe.	17
Oui, mais je ne le connais que vaguement.	2,7
Oui, je le connais.	2
Total	100

3.3.2.4.2. Mesures d'intervention de la population et modes de gestion des inondations

L'observation de terrain a montré que certains résidents construisent une barrière avec des débris du sol pour arrêter et limiter le plan d'eau afin de protéger leurs maisons. Ensuite, 10,4% des individus alertent sur le champ la sécurité civile en cas des crues inondables, et seulement 9,1% d'individus connaissent les consignes à appliquer durant la catastrophe. Enfin, 3,9% des interrogés sont protégés contre les inondations, car ils habitent dans les zones qui ne sont pas menacées par ce risque. Ce type de constructions récentes, prend en considération toutes les procédures de protection mise en compte par la loi de l'urbanisme et se base aussi sur l'expérience des gens locaux.

Tableau. n°50: Modes de gestion des inondations dans le Gharb (Enquête, 2017).

Modes de gestion des inondations	Pourcentages
Mon logement /activité sont protégés par une digue ou autres infrastructures.	76,6
Je connais les consignes de sécurité et je les applique.	9,1
En cas d'inondation, j'alerte sur le champ la sécurité civile.	10,4
Je n'habite pas et ne travaille pas en zone inondable.	3,9
Total	100

Les habitants du Gharb font des efforts pour réduire la vulnérabilité des zones les plus touchées. Ainsi d'après l'enquête en 2017 que nous avons effectué pour déterminer la vulnérabilité des Quartiers/Douars face aux risques des inondations en se basent sur des indicateurs précis comme; (le type de construction, population, zone basse, école et imperméabilisation du sol), nos résultats sont les suivants:

- ❖ 66,3% des interrogés voient que les Quartiers/Douars dans le Gharb sont très vulnérables.
- ❖ 27% d'individus considèrent que les Quartiers/Douars dans la plaine du Gharb sont vulnérables.
- ❖ Pour 6,7% des enquêtées les Quartier/Douars dans la zone du Gharb ne sont pas vulnérables.

La plupart de la population exprime que la vulnérabilité de la plaine du Gharb face aux risques d'inondations, est due essentiellement à la nature topographique de la plaine qui est facile à être submergée à cause de sa position en aval du grand bassin versant de Sebou. Bien qu'ils soient officiellement à la croisée de toutes les attentions de prévention contre les inondations et les mesures de gestion de la crise face à ce phénomène, les habitants de la plaine du Gharb ne sont que faiblement informés de la gravité de ce risque. D'ailleurs, les indicateurs qui montrent les modes d'adaptation de cette population dans le cadre de leur gestion locale du phénomène d'inondation, peuvent être relatés comme suit:

- ❖ 62,7% d'enquêtés font des digues pour diminuer et stopper le plan d'eau lors des crues inondables (Pho. n°24).
- ❖ 26% d'interrogés abandonnent ses endroits pendant l'avènement des crues inondables, comme ce qui s'est passé durant les inondations 2009-10 (Pho. n°24).
- ❖ 9,3% des citoyens du Gharb évacuaient les eaux des inondations par la motopompe.



Photos. n°24: Digue pour diminuer le plan d'eau dans le village typique Syabna 2017. Et Evacuation des populations pendant les inondations en 2010.

Ainsi face à des situations de crise la population essaie de prendre des mesures appropriées à leurs moyens pour lutter contre les risques d'inondation. Si 96% de la population est informé de la gravité des crues inondables, 4% seulement ne reçoit pas de nouvelles en raison de plusieurs considérations qui pourraient être; la dispersion du logement ou son éloignement par rapport aux centres ruraux et urbains, ce qui empêche la diffusion des informations de façon courantes. Cependant, la plupart sont informés par plusieurs canaux que ce soit par (Fig. n°84):

- ❖ La commune rurale ou urbaine qui diffuse les informations sur le débordement des inondations; 82,7% d'interrogés dans le Gharb.
- ❖ 10,7% par les masses média qui renvoient leurs bulletins météorologiques concernant les zones menacées par les pluies intenses susceptibles d'engendrer des inondations.

Les autres moyens d'information sur le débordement des crues inondables restent souvent faibles, nous l'avons mentionné comme suit; 3% d'habitants du Gharb sont informés par les personnels de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou. 2,3% sont informés par les habitants les plus anciens dans le Gharb. Et seulement 1% par le plan de protection contre les inondations. Reste 0,3% qui représente l'expérience des riverains des oueds.

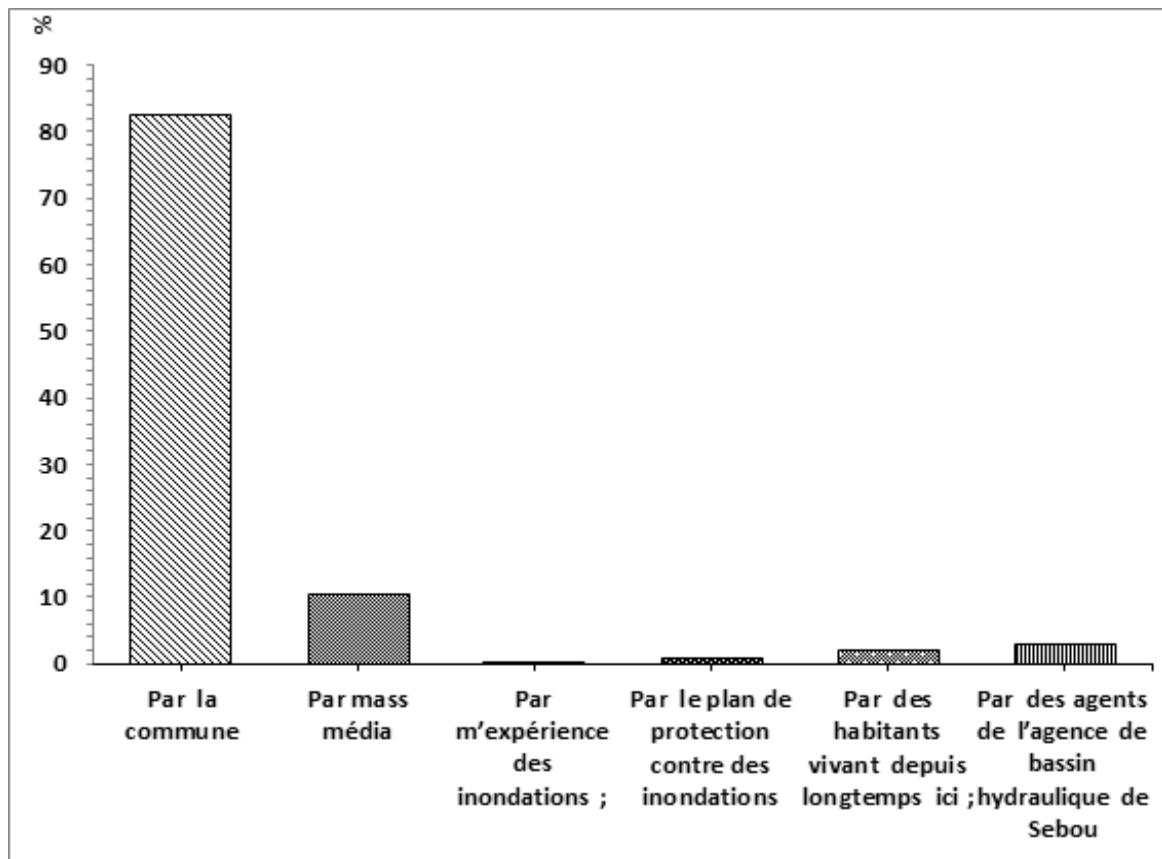


Figure. n°84: Moyens d'information sur le risque des inondations (Enquête, 2017).

En général, nous pouvons dire que les communes locales du Gharb, jouent un rôle très important pour informer les habitants, afin de prendre toutes les mesures de protection et d'éviter les dommages prévus par les inondations.

3.3.2.5. Évaluation des mesures préventives et solutions proposées par la population locale

La plaine du Gharb connaît des inondations plus fréquentes pendant les années pluvieuses, entraînant des pertes humains et matériels importants, ce qui nous a poussé à proposer une série de mesures sous forme de procédures de prévention et finalement rapporter les propositions faites par la population afin d'alléger l'impact des inondations dans le Gharb.

3.3.2.5.1. Évaluation des procédures préventives

Ces mesures nécessitent une évaluation selon leur importance du point de vue de la population locale. C'est également des procédures destinées aux habitants de la plaine, afin de réduire les impacts négatifs de l'aléa d'inondation. La figure n°85 montre l'importance des mesures de prévention contre les inondations selon la population du Gharb.

En ce qui concerne les procédures les plus importantes telles que l'identification des zones exposées aux risques, et l'accès à l'information elles représentent 36% dans notre échantillon. En effet il est indispensable de prendre les mesures adéquates en cas d'inondations dans le but de minimiser la vulnérabilité des habitants et leurs biens menacés face cet aléa. Ensuite, s'agissant des procédures classées importantes pour la population et qui constituent 52% des individus interrogés, on retrouve le degré d'exposition, les conséquences et les dommages probables dues à l'homme, les plans d'urgence prévus par les autorités publiques, les procédures d'alerte pour la population en cas de crise, les mesures préventives que la population doit adopter pour se protéger, l'accès aux informations concernant la gestion des crises. Ces interventions selon le point de vue des habitants locaux permettent de minimiser le coût des dommages causés par les inondations. Enfin, les méthodes d'information qui sont à la disposition de la population, sont considérées comme des procédures inappropriées, dont leur valeur n'est pas très importante et ne représente que 12% d'après la population du Gharb.

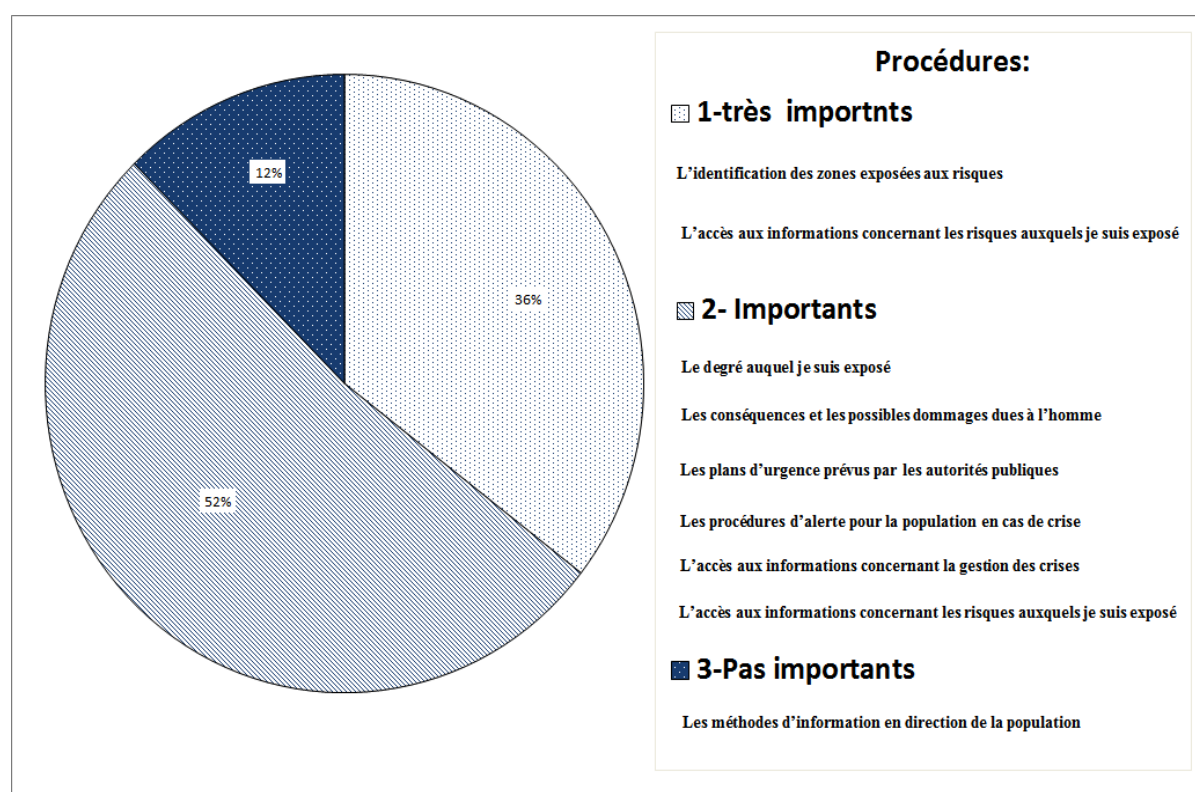


Figure. n°85: Évaluation des mesures préventives pour diminuer la vulnérabilité des populations aux risques d'inondations (Enquête, 2017).

3.3.2.5.2. Solutions proposées par la population pour atténuer le risque d'inondation

En somme, nous avons consacré les derniers axes pour étudier les solutions préventives afin d'atténuer le risque d'inondation. Le but est d'envisager la perception et la réaction des habitants du Gharb face à cet aléa, ce qui nous a conduits à savoir les solutions proposées par les locaux pour pallier ce phénomène:

Au début, les habitants du Gharb proposaient de réduire l'impact des inondations en renforçant ou créant plus d'ouvrages de protections (les barrages), pour que le scénario d'inondation de l'année hydrologique 2009-10, ne soit pas répété. Sachant que la pression sur la capacité de stockage d'eau du barrage Al Wahda qui avait atteint sa cote maximale de 3500 Mm³/s, le 10 janvier 2010 était responsable de lourds dégâts.

Cependant après la catastrophe de l'année 2010, ils proposent plus de mesures d'intervention et de gestion des inondations à travers la vulgarisation de l'information sur la population afin de prendre les mesures adéquates et d'éviter les effets négatifs des crues inondables. Ces mesures qui s'accordent bien entendu avec les directives du plan national contre les inondations et les différentes réglementations et interventions menées par l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou dans le but de protéger la plaine du Gharb contre les inondations à savoir:

- ❖ L'adaptation des logements face aux changements climatiques, car 36,3% d'habitats sont construites à partir de matériaux locaux qui peuvent être mouillés par l'eau de crue et sont susceptibles de tomber;

- ❖ Mieux réglementer et maîtriser l'urbanisation en zone inondable notamment dans les méandres (Brèches) de l'oued Sebou et ses affluents;

- ❖ Une meilleure surveillance et prévision des inondations;

- ❖ Mieux organiser l'alerte et la gestion de crise en cas d'inondation;

- ❖ Mieux entretenir les rivières;

- ❖ Laisser les rivières déborder naturellement;

- ❖ Aucun, ou ne peuvent éviter les impacts d'inondation;

D'autres identifient des mesures et des actions au moyen et long terme pour réduire les risques des inondations dans le Gharb comme:

- ❖ La construction d'autres canaux d'assainissement pour permettre une meilleure vidange des eaux des crues inondables;

- ❖ Fermeture des brèches sur l'oued Sebou, Ouergha et Beht;

- ❖ Poursuivre des efforts de mobilisation des eaux de crues par les barrages;

- ❖ La construction d'autres barrages sur l'oued Sebou pour protéger la ville de Khénichet et de Sidi Abdelaziz ...), sur l'oued Tiflet pour protéger la ville de Sidi Yahya et sur oued Lébène pour protéger la ville de Tissa;

❖ La modernisation du système d'information et de gestion des risques d'inondations pour alerter les habitants en temps réel afin d'éviter les dommages probables des crues;

Ces procédures sont les solutions les plus urgentes à réaliser pour augmenter le système de protection de la plaine contre l'inondation. Grâce à nos entretiens et les résultats de l'enquête 2017, la majorité de la population (96%) est informée sur la gravité des inondations et leurs risques dans la plaine. Pour cette raison, elles sont toujours en alerte, car elles redoutent l'augmentation du débit de l'oued Sebou et de ses affluents (Ouergha et Beht ...) à chaque évènement pluviométrique intense.

Conclusion du 3^{ième} chapitre:

Malgré les réseaux de protection et d'annonce de crue, la plaine du Gharb a connu de temps en temps le retour des inondations dévastatrices durant les années humides (1996, 2009 et 2010). Ces inondations sont de provenance différente, que ce soit d'origine amont du bassin pour les oueds non contrôlés (oued Lébène, M'dat et R'dat ...) ou grâce à la difficulté de gestion des barrages, ou bien d'origine locale; intensité des pluies, existence des marécages dans la plaine du Gharb qui se trouve la plus menacée par les crues inondables.

L'étude du terrain, nous a permis d'établir un diagnostic sur la perception de la population des catastrophes d'inondations survenues dans la plaine depuis les années 60 jusqu'à 2009-10, malgré les efforts déployés par l'État pour atténuer les impacts négatifs du débordement de l'oued Sebou et de ses principaux affluents. Ces efforts concernent les infrastructures hydrauliques (stations hydro-pluviométriques, barrages, endiguements et canaux de déviation) qui couvrent la totalité du bassin versant de Sebou, et qui permettent la prévision, le contrôle, le suivi, et la gestion des retenues des barrages.

Notre enquête de terrain avait également pour but de connaître les comportements de la population vis-à-vis des inondations et leur gestion propre de ce dilemme dans le Gharb. Le résultat de notre travail a montré que celle-ci avait adopté dans une large mesure des procédures et des mesures préventives pour faire face aux risques d'origine hydroclimatique, notamment à l'aléa d'inondations dans la plaine. Ces mesures concernent la construction des digues, l'édification des bâtiments respectant les normes d'urbanisme et la distance suffisante par rapport aux brèches de l'oued Sebou et ses affluents dans le Gharb.

Conclusion de la 3^{ième} partie:

L'étude des valeurs hydrologiques extrêmes étudiées dans cette partie a mis en évidence l'effet combiné des éléments climatiques, orographiques et hydrologiques sur le

régime de l'oued Sebou et ses principaux affluents. Elle a montré l'importance de l'oued Ouergha, comme le bassin le plus générateur des crues dans le bassin de Sebou. En effet, en raison des formations argilo-marneuses du Rif et la rugosité des pentes de ses montagnes, la vidange hydrologique lors des phases de crues se fait rapidement. En revanche, dans le Haut Sebou au Moyen Atlas la présence des formations géologiques karstiques perméables, jouent un rôle régulateur des débits, ce qui retarde la réponse hydrologique dans ce domaine.

Si les facteurs orographiques et hydrologiques à un certain degré, et les facteurs climatiques ont des conséquences sur l'apport pluvial, les éléments hydrogéologiques, offrent d'importantes possibilités de rétention phréatique qui peuvent régulariser l'écoulement en particulier au Moyen Atlas. Cependant au Rif l'intensité des pluies et les caractéristiques du relief associées à une lithologie imperméable, sont des éléments qui favorisent le déferlement rapide des crues vers l'aval.

En ce qui concerne l'étude statistique des crues, nous retiendrons tout d'abord un nombre important des crues, que ce soit aux niveaux annuels ou mensuel dans le bassin versant de Sebou. Ces crues se concentrent plus dans la saison hivernale à cause d'une fréquence importante des types de circulations perturbées génératrices des plus fortes crues qui sont liées aux dépressions océaniques, dont le centre se trouve au voisinage atlantique ou sur le Maroc lui-même. Dans le cadre de l'étude typologique des crues, même si ces dernières peuvent être de différentes origines; océaniques, méditerranéennes, locales ou orageuses, la majorité des crues dévastatrices sont de provenance atlantique, en raison de la grande capacité hygrométrique des systèmes dépressionnaires se déplaçant dans le cadre d'une circulation générale d'Ouest.

Ainsi, les inondations restent parmi les risques naturels les plus destructives dans la mémoire de la population de la plaine. Leurs études ont nécessité un traitement des données climatiques et hydrologiques continues sur une longue période, mais aussi l'application des modèles d'estimations hydrologiques adéquats. Dans ce contexte l'utilisation du MNT, du SIG et des modèles empiriques HEC-Géo-Ras, donnent des résultats intéressants grâce à la modélisation hydraulique qui peut servir aux décideurs dans le choix des types d'intervention pour l'aménagement dans les zones inondables, en offrant une vision générale sur le comportement d'oued Sebou et ses affluents, lors des périodes les plus humides à l'origine des inondations remarquables dans le Gharb.

En aval du bassin, le Gharb est caractérisé par une morphologie et une structure géologique favorable à la genèse des crues provoquant des inondations. Les eaux en provenance de l'amont du bassin versant de l'oued Sebou rejoignent le collecteur d'eau principal (Bas de l'oued Sebou) qui se trouve incapable de faire transiter des volumes considérables. Sachant que la plaine du Gharb est caractérisée par une faible altitude entre 0 et

25m, cela produit un effet de dysfonctionnement de l'écoulement qui peine à regagner l'Atlantique, ce qui engendre une grande lame d'eau stagnée dans les zones les plus basses.

Ainsi les inondations historiques de 1963, 1996, 2009 et 2010, sont liés au débordement des cours d'eau sur les terres agricoles de la plaine et sur les agglomérations limitrophes du cours d'eau principal de l'oued Sebou. Ces sites qui sont menacés et vulnérables représentent malgré tout de grandes zones ouvertes à l'anthropisation, et notamment à la prolifération de l'habitat non réglementaire dépourvu de toute infrastructure de base, qui peut constituer une protection de la population contre les risques des inondations. Dans ces conditions, la vulnérabilité des personnes et des biens a mérité une attention particulière dans notre étude au sein d'une population fragile dont le sort au moment des crises hydrologiques dépend des niveaux d'intervention des autorités locales et de la capacité d'adaptation et de résilience face aux risques d'inondation, surtout dans le contexte du réchauffement climatique actuel qui exacerbe les situations hydrométéorologiques extrêmes.

CONCLUSION GENERALE:

Ce travail de thèse est une contribution à l'étude du comportement hydroclimatique du bassin de Sebou dans un but d'approcher les caractéristiques des crues et des inondations dans le bassin et leurs impacts sur la plaine du Gharb. À cet effet, nous avons essayé d'analyser le rôle des facteurs physiques, aérologiques et anthropiques agissant sur l'écoulement d'oued Sebou, comme phase primordiale pour la connaissance hydro-pluviométrique de son bassin, ce qui nous permet ainsi de comprendre les risques d'inondation en aval qui sont générés par l'importance des crues émanant des deux chaînes; atlasique et rifaine.

En ce qui concerne les caractéristiques climatiques, nous avons mis l'accent sur le rôle des effets de la latitude et de l'altitude sur les différents paramètres de l'air. En effet le climat du bassin est conditionné par le déplacement et le changement d'extension de l'anticyclone des Açores et les dépressions atlantiques polaires et leurs capacités hygrométriques, ce qui régule les différents types de temps durant chaque année. Mais les impacts de la variabilité climatique actuelle marquée par les effets du changement climatique à des répercussions notables sur le taux d'humidité de chaque année. Ainsi les ressources en eau différentes d'une année à une autre suite aux conditions aérologiques propres qui, dans certaines années tendent

vers la stabilité atmosphérique donc à la sécheresse et au sein d'autres à plus d'activité cyclonique donc à l'abondance pluviométrique.

Sur le plan physique la nature des roches joue un rôle important dans les caractéristiques de l'écoulement du bassin. En effet, la régularisation du système hydrologique (système de chiffonnage) dans le bassin s'effectue grâce à la perméabilité des roches dans le domaine karstique au Moyen Atlas. Tandis que l'imperméabilité des roches argilo-marneuses dans les domaines rifains augmente la vitesse de drainage du réseau hydrographique (système de colmatage). Donc on retient la présence deux systèmes hydro-climatiques opposés, rifain au nord et moyen-atlasique au sud qui donne à l'oued Sebou un comportement hydrologique violent en hiver plus soutenu au printemps et en été. Néanmoins la présence des barrages ont dans une grande partie modifiée ses caractéristiques naturelles d'écoulement.

Au niveau de l'apport pluvial, on constate une forte irrégularité interannuelle des précipitations et un régime pluviométrique de nature hivernale dans le secteur rifain, cependant au moyen Atlas, il semble plus équilibré entre novembre et mars sur les sommets. En revanche au sein des vallées l'hiver cède la place à l'automne et au printemps. Le régime d'efficacité des flux perturbés, indique la grande importance des situations pluvieuses de Nord-Ouest et de Sud-Ouest pendant la saison froide, et une activité orageuse notable pendant la saison chaude au Moyen Atlas. L'étude des probabilités des pluies à la fréquence 75% et 90%, nous a relevé les quantités qui sont susceptibles de générer des événements hydrologiques exceptionnels dans le bassin. Sur le plan Spatial, les pluies diminuent au sein des vallées et augmentent progressivement aux sommets montagneux du Moyen Atlas et du Rif, traduisant l'effet de l'altitude, d'exposition et d'abri. D'après le régime des apports d'intensité des pluies la zone rifaine du bassin s'identifie par des cumuls journaliers considérables pouvant dépasser 200 mm sur les sommets montagneux, ce qui constitue une menace permanente d'inondation pour la plaine du Gharb.

L'hydrologie du bassin versant de Sebou s'explique notamment par une grande irrégularité interannuelle des écoulements des cours d'eau en réponse à la variabilité pluviométrique. Les périodes pluvieuses sont les phases d'abondance hydrologique et les périodes sèches sont les phases de manque d'écoulement. Le régime hydrologique de l'oued Sebou et ses affluents a également un comportement hydrologique hivernal dans le domaine rifain, en revanche, cet aspect se trouve plus étalé au printemps au Moyen Atlas, grâce au soutien apporté par les nappes karstiques. Vers l'aval du bassin, l'écoulement est largement influencé par les opérations d'écrêtement des barrages, qui donnent au régime hydrologique une attitude fortement influencée par les actions anthropiques. Le débit journalier de l'oued Sebou et ses principaux affluents se caractérise par des montées et des descentes rapides de l'écoulement en raison du caractère concentré des pluies. Ainsi la saison hivernale, au Rif surtout, connaît les valeurs hydrométriques les plus extrêmes du bassin en raison du caractère

intense des pluies et la nature imperméable du substrat. En revanche au Moyen Atlas, les débits journaliers maximaux sont plus modérés en raison des altitudes moindres et la présence d'un substrat karstique plus perméable.

Concernant le bilan hydrologique, nous avons montré que les ressources en eau dans le bassin de Sebou sont liées d'abord à une lame d'eau précipitée très différente d'un sous bassin à l'autre à cause de l'effet d'altitude et d'orientation des versants. Les fourchettes d'eau les plus humides (plus de 1200mm) se localisent au sommet des montagnes du Rif et du Moyen Atlas, par contre à l'intérieur du bassin au sein des vallées des oueds et aux marges Sud-Ouest, les pluies peuvent diminuer jusqu'à moins de 200mm. Par Ailleurs, la lame d'eau écoulee change au sein du bassin entre 35,8 mm et 279,5 pour la période 1980/81-2013/14. D'où un déficit d'écoulement oscillant entre 220,7 mm et 480,9mm. Finalement nous avons eu un coefficient d'écoulement variant entre 0,09 dans le Haut Sebou et 0,53 dans le Haut Ouergha.

L'impact de la variation climatique sur la répartition spatiotemporelle des crues montre une grande inégalité dans le bassin. Ainsi à l'échelle temporelle nous avons pu distinguer entre des années marquées par une grande concentration de crues et d'autres où elles sont médiocres et moins volumineuses. Au niveau saisonnier les crues d'hiver sont les plus dominantes. L'étude de quelques cas particuliers nous a permis de constater que la majorité des crues sont des crues simples, car elles sont en relation avec le passage d'une seule dépression. Les plus complexes qui sont générées par la succession de plusieurs cyclogenèses paraissent plus réduites dans le contexte climatique du bassin. Dans le cadre de l'étude typologique des crues nous avons remarqué que les crues d'origine océanique sont les plus fréquentes et les plus volumineuses en apport hydrique en raison de l'ouverture du secteur ouest du bassin vers les flux humides atlantiques. Les types des crues méditerranéens et orageux concernent plus les secteurs du Moyen-atlas dans le bassin.

Cependant si le bassin de Sebou englobe 30% des ressources en eau du Maroc, 60% des apports proviennent du bassin de l'Ouergha qui draine une grande partie du versant sud de la chaîne rifaine. Les crues les plus inondables du bassin sont originaires donc de ce sous bassin qui bénéficie de la forte humidité des montagnes rifaines. Ces crues historiquement ont été les plus dommageables pour la plaine du Gharb qui a été maintes fois submergées par le déferlement des eaux très volumineuses de l'oued Ouergha. Ainsi ce secteur représente la zone la plus inondée du Maroc eu égard l'ampleur des dégâts humains et matériels enregistrés. Nous avons approché ce phénomène dans la troisième partie de ce travail où nous avons spatialisé les grandes inondations du Gharb et déterminer leurs conséquences sur les infrastructures et les populations que nous avons cherché à évaluer leur niveau de résilience et d'adaptation grâce à notre étude de terrain.

Par Ailleurs, le bassin versant de Sebou comme nous l'avons déjà évoqué renferme des potentialités très importantes. Ces apports d'eau annuelle en moyenne s'élèvent à 5600 millions de m^3/s par an, soit $887m^3/s$ par habitant, bien qu'il occupe une superficie d'environ $40503 km^2$ qui représente 6% du territoire national. Avec ses 6,2 millions d'habitants réparties sur 17 préfectures et provinces, 82 communes urbaines et 287 communes rurales, il dispose d'une économie agricole et industrielle qui joue un rôle important au sein de l'économie agricole nationale, car près de 20% de la surface irriguée se trouve dans la plaine du Gharb.

Nonobstant ces atouts, le bassin de Sebou connaît des contraintes dans le domaine des ressources en eau qui entravent le développement durable de ces richesses. Parmi elles les crues inondables, qui menacent les zones avales malgré la présence de plusieurs barrages en particulier le barrage Al Wahda qui est le plus grand au Maroc en terme de capacité de retenue. En effet, à cause du phénomène accéléré d'érosion hydrique, d'envasement, d'accroissement de l'intensité pluviométrique et l'avènement de certaines conditions d'humidité hivernale exceptionnelle comme celles des deux années 2008-09 et 2009-10, la pression sur la gestion des barrages nécessite de faire plusieurs opérations d'écêtement, qui génèrent elles aussi des inondations dans la plaine du Gharb, comme il s'est produite pendant ces deux années.

S'ajoute à cela une tendance vers la fragilité des écosystèmes physiques impactés par les pressions anthropiques, dans le contexte climatique actuel marqué par l'accroissement du réchauffement global. Les répercussions d'extrêmes hydroclimatiques se font sentir de plus en plus sur les milieux et les populations les plus démunis. Celles-ci subissent de plein fouet les conséquences des inondations surtout qu'elles occupent les zones les plus exposées à ce fléau dans la plaine du Gharb. Ainsi après chaque événement inondable beaucoup de dilemmes sociaux et choc psychologiques restent gravés dans les mémoires compte tenu des pertes qui sont engendrées par ces catastrophes. L'intervention des autorités par des mesures instantanées après la crise montre que notre gestion du phénomène n'est pas suffisante pour protéger la plaine du Gharb contre les menaces des inondations. En raison de la fréquence accentuée probable des écêtements des retenues artificielles, et la baisse de leur capacité de rétention annuelle, les risques des inondations restent permanents au sein des populations installées dans les vallées et les plaines alluviales du bassin.

Dans ce contexte, l'approche de simulation par modélisation hydraulique et cartographique des inondations historiques dans la plaine du Gharb durant les années 1963, 1996, 2009, et 2010 nous a permis d'évaluer l'ampleur des inondations dans la plaine du Gharb. Le couplage entre les aléas d'inondations modélisés et l'occupation des sols, les voiries, les plantations fruitières et les zones bâties a servi pour estimer les surfaces et la distance des tronçons submergés par les eaux dans le Gharb. L'approche cartographique a montré ainsi une grande vulnérabilité des zones avales du bassin face aux inondations. Ces

vulnérabilités ont été ressenties auprès des populations locales lors du remplissage des questionnaires, ce qui montre les lourds effets économiques et sociaux occasionnés par ces catastrophes. Dans ce sens les habitants du Gharb ont eux aussi de leur part pris des mesures et des actions afin d'atténuer les dommages et de coexister avec de telles circonstances néfastes pour leurs vécues et leurs activités agricoles dans la plaine. L'anthropisation du bassin est devenue finalement un enjeu favorable à l'aggravation des aléas d'inondation. Ce facteur contribue au dysfonctionnement de l'hydrosystème de l'oued Sebou et de ses affluents pendant les périodes très humides. La mise en place des infrastructures agricoles, des activités économiques, l'extension urbaine au fond des vallées et la gestion inadéquate des équipements hydrauliques, ont augmenté la vulnérabilité du bassin face aux événements inondables.

Ainsi le bassin versant de Sebou reste largement menacé par les risques des crues inondables dans les plaines alluviales les plus peuplées, en particulier à la plaine du Gharb pendant les années les plus humides. Au terme de ce travail nous proposons quelques recommandations pour minimiser le risque d'inondation dans le bassin qui peuvent être comme suit:

- ❖ **L'inondation de la plaine du Gharb est un risque hydro-climatique généré par un des facteurs complexes endogènes et exogènes, ce qui demande un traitement dans un cadre global (Bassin versant de Sebou), intégrant toutes les approches: historiques, statistiques, hydro-géomorphologiques et modélisation.**

- ❖ **Selon les résultats de la modélisation des inondations historiques dans la plaine, il s'avère nécessaire d'établir des canaux supplémentaires en rive gauche et d'autres en rive droite de l'oued Sebou pour évacuer les plans d'eau stagnant dans les zones les plus basses.**

- ❖ **Curage et redimensionnement des canaux d'assainissement du Gharb pour permettre une meilleure vidange des eaux de débordement de l'oued Sebou et ses affluents.**

- ❖ **Poursuivre les efforts de construction des barrages et de mobilisation des eaux de surface pour protéger le Gharb lors des années très humides et de ne pas répéter les scénarios de janvier et mars 2010.**

- ❖ **Fermeture des brèches menaçant fréquemment les riverains sur l'oued Sebou.**

- ❖ **Sensibilisation et information de la population au domaine des inondations pour prendre les mesures adéquates afin d'éviter les effets négatifs des crues inondables.**

- ❖ **Adaptation des comportements de la population et des pratiques de constructions des logements pour faire face aux effets de submersion de l'eau dans la plaine.**

- ❖ **Mieux réglementer et maîtriser l'urbanisation en zone inondable notamment dans les méandres (Brèches) de l'oued Sebou et ses affluents.**

- ❖ **Surveillez et prévoyez les inondations pour atténuer les effets des aléas d'inondation probables.**

❖ **Modernisation** du système d'informations et de gestion des risques des inondations (Télémessure, communication en temps réel avec les partenaires et les habitants ...) pour minimiser le temps de réaction;

❖ **Aménagement** des bassins versants amont (reboisement) pour diminuer les ruissellements et l'érosion hydrique dans le but de protéger les barrages contre l'envasement.

Résumé :

La situation géographique du bassin versant de Sebou au Nord-Ouest du Maroc est une donnée qui se trouve au cœur de la problématique des changements climatiques en général et leurs effets sur la variabilité des risques hydroclimatiques. Les facteurs géophysiques et anthropiques jouent un rôle essentiel dans les systèmes hydrologiques des bassins versants importants et peuvent aggraver les phénomènes hydrologiques conjugués aux crues et aux inondations.

Dans ce contexte, notre travail consiste à étudier la variabilité pluviométrique et hydrologique dans le bassin versant de Sebou avec un objectif de comprendre et d'évaluer les extrêmes d'écoulement à travers l'étude des crues inondables et leurs impacts sur la plaine du Gharb. Notre approche multicritère s'appuie tout d'abord sur des travaux cartographiques pour déterminer tous les facteurs physiques qui entrent en jeu dans le système hydrologique du bassin de Sebou. Puis climatique en recherchant les modes de circulations atmosphériques qui gouvernent le climat méditerranéen régional dont appartient le Maroc en général et le bassin en particulier avec un examen des facteurs climatiques qui modifient l'apport pluvial et affectent le bilan hydrique des sols. Ensuite l'approche statistique de traitement de données pluviométriques et hydrométriques a permis d'analyser la variabilité interannuelle et les régimes des pluies et de l'écoulement et leurs valeurs extrêmes dans le bassin, en particulier celles les plus responsables des inondations.

Les résultats de cette étude ont montré que le bassin versant de Sebou a connu lors des années humides des intensités pluviométriques très importantes générant des crues très sévères au cours des années 1963, 1996, 2009 et 2010. Ces risques hydrologiques ont eu un impact néfaste sur les zones alluviales souvent avec des conséquences catastrophiques sur le plan social et économique. Ainsi, l'approche cartographique associée à la modélisation et la simulation hydraulique a été utilisée pour spatialiser les inondations et leurs ampleurs dans la plaine du Gharb. Cette dernière est considérée comme un enjeu scientifique essentiel pour améliorer les systèmes de prévision des crues inondables afin de protéger la population de la plaine et leurs biens de ces événements catastrophiques. Le couplage de la modélisation d'aléas d'inondation de 1963, 1996, 2009 et 2010 avec les paramètres économiques de la plaine tels que l'infrastructure de communication, les surfaces agricoles et les zones bâties a permis de déterminer et de quantifier les surfaces et sections de voiries les plus exposées aux risques des inondations dans le Gharb.

Enfin, à travers notre étude de terrain nous avons pu mesurer les effets des crues inondables sur la plaine du Gharb, sa gestion par l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou et la perception que constitue la population vis-à-vis de ce phénomène et leur capacité de résilience face à ce fléau.

Mots clés : Bassin versant de Sebou, Risques hydroclimatiques, Crues, Inondations, Modélisation, et Plaine du Gharb.

Abstract:

The geographic location of the Sebou watershed in North-West Morocco is a core heart of the problem of climate change in general and its effects on the variability of hydroclimatic risks. Geophysical and anthropogenic factors play an essential role in the hydrological systems of important watersheds and can aggravate hydrological phenomena combined with floods.

In this context, our work consists in studying the pluviometric and hydrological variability in the Sebou watershed with the objective of understanding and assessing the flow extremes through the study of floodplains and their impacts on the Gharb plain. Our multi-criteria approach is based first of all on cartographic work to determine all the physical factors that come into action with the hydrological system of the Sebou basin. By looking for the atmospheric circulation modes which govern the regional Mediterranean climate to which Morocco belongs to generally, and the basin in particular with an examination of the climatic factors which modify the pluvial contribution that affects the water balance on the grounds and the hydrological behaviour of wadis. For that, the statistical approach to processing pluviometric and hydrometric data has made it possible to analyze the interannual variability, the rainfall and flow regimes and their extreme values in the basin, specifically, the most responsible for the floods.

The results of this study have shown that the Sebou watershed experienced very significant rainfall intensities during wet years generating very severe floods in the years 1963, 1996, 2009 and 2010. These hydrological risks had a negative impact on alluvial areas often with catastrophic social, economic and environmental consequences. Thus, the cartographic approach associated with hydraulic modelling and simulation was used to spatialize the floods and their magnitudes in the Gharb plain. The latter is considered an essential scientific issue to improve flood forecasting systems in order to protect the population of the plain and their property from these catastrophic events. The coupling of the modelling of flood hazards of 1963, 1996, 2009 and 2010 with the economic parameters of the plain such as the communication infrastructure, agricultural areas and built-up areas made it possible to determine and quantify the areas and sections of roads mostly exposed to the risks of flooding in the Gharb.

Finally, through our field of study, we were able to measure the effects of floods on the Gharb plain, its management by the Sebou Hydraulic Basin Agency and the perception that the population constitutes with regard to this phenomenon and their capacity for resilience in that circumstance.

Keywords : Sebou Watershed, Hydroclimatic, risks, Floods, Modelling, Plain of Gharb.

الملخص:

إن التموقع الجغرافي لحوض سبو في شمال غرب المغرب، يجعل منه مصنفًا في قلب اشكالية التغيرات المناخية بشكل عام، وارتباطها بتقلبات المخاطر الهيدرولوجية. فالعوامل الجيوفيزيائية والبشرية تلعب دورًا أساسيًا في تغيير الأنظمة الهيدرولوجية للأحواض المائية، كما يمكن أن تؤدي إلى تفاقم الظواهر الهيدرولوجية المقترنة بالامتطاحات والفيضانات.

في هذا السياق، يتضمن عملنا دراسة التغيرات المطرية والهيدرولوجية بحوض سبو، وذلك بهدف فهم وتقييم السلوك الهيدرولوجي القوي لأودية الحوض من خلال دراسة الإمتطاحات الفيضانية وتأثيراتها على سهل الغرب. نتبنى في هذه الدراسة مقاربة "متعددة المعايير" تعتمد على العمل الخرائطي؛ لتحديد جميع العوامل الطبيعية التي تلعب دورًا في تحديد النظام الهيدرولوجي لحوض سبو، وعلى التحليل المناخي من خلال البحث في أنماط الدورة الهوائية العامة التي تتحكم في مناخ البحر الأبيض المتوسط الذي ينتمي إليه المغرب. كما قمنا بتشخيص العوامل المناخية المساهمة في الزخات المطرية القوية والمركزة التي لها تأثير على الحصة المائية للتربة وعلى تغير السلوك الهيدرولوجي للأودية. كما أتاحت لنا المقاربة الإحصائية، معالجة المعطيات وتحليل التباينات البيسنوية للأنظمة المطرية والهيدرولوجية وقيمتها العليا في الحوض، ولا سيما تلك المسؤولية عن حدوث الإمتطاحات الفيضانية.

لقد أظهرت نتائج هذه الدراسة أن حوض سبو عرف تساقطات مطرية شديدة خلال السنوات الرطبة، مما أدى إلى حدوث إمتطاحات فيضانية خلال سنوات: 1963 و1996 و2009 و2010. ولقد كانت لهذه المخاطر الهيدرولوجية بالمناطق السهلية تأثيرات سلبية ذات عواقب اجتماعية واقتصادية وبيئية كارثية. وهكذا، فقد مكنا العمل الخرائطي من رسم الخرائط المرتبطة بالنمذجة والمحاكاة الهيدرولوجية من أجل تكميم مساحة الفيضانات وامتدادها في سهل الغرب. كما تعتبر هذه النمذجة وسيلة علمية أساسية لتحسين أنظمة التنبؤ بالفيضانات من أجل حماية سكان السهل وممتلكاتهم من الظواهر الهيدرولوجية القصوى. إن المزاوجة بين نمذجة مخاطر الفيضانات لسنوات: 1963 و1996 و2009 و2010 بالموهلات الاقتصادية لسهل الغرب، مثل البنية التحتية، والمناطق الزراعية، والمناطق المبنية، جعل من الممكن كذلك تقييم حجم الخسائر الأكثر عرضة لمخاطر الفيضانات في منطقة الغرب.

وأخيرًا، من خلال دراستنا الميدانية، تمكنا من قياس آثار الإمتطاحات الفيضانية بالسهل، وكيفية تدبيرها من قبل وكالة الحوض المائي لسبو، ومعرفة طرق تكيف ساكنة الغرب من أجل مواجهة مخاطر الفيضانات، ومدى صمودهم ضد هذه الآفة.

الكلمات المفتاح: حوض سبو، المخاطر الهيدرولوجية، الامتطاحات، الفيضانات، النمذجة، وسهل الغرب.

Bibliographie:

- ❖ **AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU SEBOU (2008)**: Note sur le rôle du barrage Al Wahda dans la protection des crues Etabli en novembre 2008 par l'ABH du Sebou; Royaume du Maroc.
- ❖ **AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU SEBOU (2009)** : Note sur les crues du 1 au 9/02/09 dans le bassin versant du Sebou (2009); Royaume du Maroc.
- ❖ **AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU SEBOU (2010)** : Evénements hydrologiques des mois de décembre 2009 et janvier 2010. Royaume du Maroc.
- ❖ **AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU SEBOU (2011)** : Etude d'actualité du plan directeur d'aménagement intègre des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou.
- ❖ **ANCEY.C (2012)** : Risques hydrologiques et aménagement du territoire version 7.1 du 6 septembre.
- ❖ **AMBROISE. B (1998)**: La dynamique de cycle de l'eau dans un bassin versant, processus, facteurs, modèle .Bucarest HGA 200p.
- ❖ **ANNICK. D et al (1984)** : Les gradients de températures et précipitations en montagnes ; Revue géographie alpine, Tome 72 N°2-4pp225-240.
- ❖ **ARLERY .R, GRISOLLET.H et GUILMET.B,(1973)**: Climatologie, méthodes et pratiques. Ed. Gautier Villars, Paris, 433 p.
- ❖ **BARCHANE. F (2009)**: Modélisation des crues en milieu semi-aride par la méthode de Muskingum. Cas de bassin versant de Ksoub (Haut atlas occidental), Maroc.
- ❖ **BANAABIDATE. L(2000)**: Caractéristique du bassin versant de Sebou: hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des ressources thermales. Thèse de doctorat d'Etat .Faculté des sciences et techniques ; Fès.
- ❖ **BERGER E et al (1959)**: Etude sur la répartition des précipitations dans le département du jura, en fonction de l'altitude. Revue de géographie alpin Tome 47 N1 P 47- 102.
- ❖ **BELASSAL et al (2000)** : Variabilité des géopotential à 700 hPa et précipitations au Maroc nord occidental. Article de L'UMR espace université de Provence ; France.
- ❖ **BELAASSAL. A(1998)**: Précipitations au Maroc et circulation atmosphérique à 700 hPa, Méditerranée, 19-26.
- ❖ **BELAASSAL.A et DELANNOY. H(1997)**: Deux méthodes d'analyse des relations entre les précipitations du Maroc ci-atlasique et la circulation d'altitude, publications de la faculté des sciences et lettres humaines de Rabat, Maroc, série colloques et séminaires, 63 - 94.
- ❖ **BENARAF. S (1994)**: "Variabilité et impacts climatiques des types de temps sur Rabat", Actes du colloque "Aspects de la variabilité du climat marocain", Publication de la Faculté des lettres et des Sciences Humaines Rabat, série colloques et séminaires, n° 63, p. 52.
- ❖ **BOUCHAIB MARGANE (2010)** : Evénement hydro-pluviométrique dans la province de Kenitra 2010; Inondation du Gharb en janvier –mars 2010; chef du service d'eau, Kenitra.
- ❖ **BOUGUERRA. S (2004)**: Cartographie qualitative de la sensibilité du sol à l'érosion hydrique : Cas du bassin versant oued Boukiou (nord-ouest de l'Algérie). Département D'hydraulique, Faculté De Technologie Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, Algérie
- ❖ **BOUMESSENEG. A(2007)** : Les inondations dans la ville de BISKARA : Causes et impacts. Mémoire du magister de l'université du Colonel El Haj Lakhdar. BATNA ; Algérie.
- ❖ **BOUDIH, A (2001)**: Qualité des eaux dans le bassin versant de Sebou. Exp: La zone d'aménagement hydro-agricole du Moyen Sebou .DESA de la faculté des lettres. Sais -Fès.
- ❖ **BRAVARD et PETIT (1997)**: Les cours d'eau dynamique du système fluvial. Edit Armand colin, Paris 222p.
- ❖ **CALVET.C et LE GOFF.Y (1977)** : " Régimes pluviométriques au Maroc", Notice d' Informatique et Technique, n°6,p. 4, Service Météorologie Nationale, Casablanca.() A JURY & G. DEDEBANT, 1925: Op. cit, pp. 8.
- ❖ **CAZALE. H (1954)** : Classification des types de temps au Maroc en fonction de l'indice de circulation : Bull liaison et Doc secret .Génération. Aviation civile, France n°76,8p.
- ❖ **CAZALE. H (1960)**: Données de la climatologie dynamique au Maroc 1949-1958 ; Service Météorologie nationale, Maroc Casablanca ,99 p .Doc inédit.
- ❖ **CHADULE.G(1974)** : **Initiation** aux méthodes statistiques en géographie. Edition. MASON, Paris.
- ❖ **CHARDON. P -A (1981)** : Méthodes pratiques de dépouillement de questionnaires. Thèse de doctorat. Imprimerie de l'Ouest SA .Peseux, Suisse, 136p.
- ❖ **CHERAI. B (2009)** : Géologie et géomorphologie du Saïs et de ses bordures du Néogène au Quaternaire, Thèse de doctorat en géologie, Faculté des sciences, Dhar Mehraz, Fès, 211 p.

- ❖ **CHRAI. B (2001)** : Gestion et aménagement de l'eau au Maroc : Cas du bassin versant du Sebou. Master de la faculté des lettres Sais Fès.
- ❖ **CHERRAD. B (1997)**: Le bassin versant de l'oued Grou (Plateau central marocain). Etude hydro-climatique; Thèse d'université de Metz.
- ❖ **CHABOUREAU et al (2001)**: Observed variability of North Atlantic Oceanic precipitation Systems during winter. Laboratoire d'aérodynamique, observatoire Midi pyrénées.Toulouse –France.
- ❖ **CHKHAMI. K et JANATI IDRISSE. A (2020)** : Protection des villes préfabriquées contre les risques des inondations: Cas de la ville de l'oued Amlil (Taza); Revue: Espace et Développement sous-titre : l'aménagement de l'espace urbain et l'enjeu de développement. N° 5. Février 2020.
- ❖ **CHKHAMI. K et JANATI IDRISSE. A (2018)** : Le comportement hydrologique et la genèse des crues inondables dans le bassin versant de l'oued Ouergha (Maroc) ; Revue : Espace et Développement sous-titre : les ressources territoriales entre fragilité et perspectives de durabilité ; N° 1-janvier 2018.
- ❖ **CHKHAMI. K (2010)** : Contribution à l'étude de la vulnérabilité urbaine au risque d'inondation dans un contexte hydro-géomorphologique : Cas du bassin de l'oued El Mehrez Fès. Mémoire du master de la faculté des lettres Sais Fès.
- ❖ **COLO. G(1961)**: Contribution à l'étude du jurassique du moyen atlas septentrional .Notes et mémoires. Services géologique n° 139 Rabat.
- ❖ **COTE. M et LAGARAS. J(1966)**: La variabilité pluviométrique interannuelle au Maroc. R.G.M. pp: 19 -25
- ❖ **COSANDEY et al (2003)**: Les eaux courantes, géographies et environnement ; Paris. Belin « Sup-géographie »239P côte M 1996.L'Algérie. Edition Masson ; Paris 254 P.
- ❖ **COUTAGNE. A et DE MARTONNE. E (1933)** : De l'eau qui tombe, à l'eau qui coule. Evaporation et déficit d'écoulement. Association. Int. D'hydrologie scientifique, Congrès de Lisbonne, 32 p.
- ❖ **DACHARRY. M** : Hydrologie de la Loire en amont de Gien. (2 tomes) Thèse d'état, Paris I, 1975, 295 et 285 p.
- ❖ **DAUPHINÉ. A (2003)** : Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer, Paris, Armand Colin, 288 p.
- ❖ **DELANNOY. H (1971)**: Aspects du climat de Marrakech et sa région ", R.G.M. n° 20, p. 77, Rabat.
- ❖ **DELANNOY. H et LECOMPTE. M (1975)**: Méthode d'étude des régimes thermiques en liaison avec les situations météorologiques dans le Moyen Atlas (Maroc). Exemple de la ceinture thermique. Bull. Associa. Géographie. France.
- ❖ **DE MARTONNE. E (1942)** : Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. Annales de géographie N°288, oct-Nov.1942, pp. 241-250.
- ❖ **DOMIHO JAPHET KODJA, 2018** : Indicateurs des événements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'Ouest ; thèse en Géographie. Université Montpellier. France.
- ❖ **DORIZE. L (1979)**: Mécanismes climatiques et oscillations actuelles du climat sur la bordure méditerranéenne du Sahara, Bull. Association. Géographie. Franc. n° 462, pp. 193 - 203.
- ❖ **DUBERUIL. P (1974)**: Initialisation à l'analyse hydrologique, Paris, Masson.
- ❖ **DUPONT. N (2005)** : Le risque d'inondation : le rôle des documents cartographiques, in Les risques climatiques, Editions Belin, France, 175-191.
- ❖ **EL MAHDI SAIDI M (1995)** : Contribution à l'hydrologie profonde et superficielle du bassin versant de Souss (Maroc) ; Climatologie, hydrogéologie, crue et bilans hydrologiques en milieu sud-aride.
- ❖ **EL MIZANI. F (2006)** : Contribution à l'étude des ressources en eaux dans le bassin versant de l'Inaouene. (Maroc septentrional). Doctorat de la faculté des sciences et techniques Fès.
- ❖ **EL OUEDGHIRI. B.E (1985)** : " Les types de temps et le mécanisme des pluies au N.E du Maroc « Thèse 3° cycle, Université Paris 7, JUSSIEU.
- ❖ **EMBERGER. L (1971)** : Travaux de botanique et d'écologie. Edit .Masson, Paris 520p.
- ❖ **EMBERGER. L(1955)** : Une classification biogéographique des climats. Recueil des travaux des laboratoires de botanique. Géologie et zoologie de la faculté des sciences. de Montpellier, 1955, fascic.7, pp. 3-43.
- ❖ **EL MEHDI SAIDI. M (1995)** : Contribution à l'hydrologie profonde et superficielle du bassin du Souss (Maroc) climatologie, hydrologie, crues et bilans hydrologiques en milieu subaride. Thèse de l'université de Paris IV Sorbonne.
- ❖ **FLORINA.G et al (2007)** : Analyse quantitative du réseau hydrographique du bassin versant du Slanic (Roumanie).Article de revue physio-Géo .Vol-1.
- ❖ **GARTET.A(2007)** : Risques naturels, anthropiques et technologiques dans l'agglomération de Fès et son arrière-pays : aménagement, gestion et prévention. Thèse d'Etat, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Sais-Fès, 354 p.
- ❖ **GREASSOR et al(2006)** : Etude sur la vulnérabilité du Togo aux situations d'urgence. Togo, Thèse.
- ❖ **GIRET. A (2007)** : Hydrologie fluviale, Edition Ellipses, Paris, 262 p.
- ❖ **GIRET. A (dir) (2007)** : Le risque hydrologique : du concept à sa gestion, Edition Le Manuscrit, Paris, 248 p.
- ❖ **GAUSSEN. H (1957)**: Les climats biologiques et leur classification. Annales de géographie 355, LXVI, 293 p.

- ❖ **GAUSSEN. H (1952):** L'indice xérothermique, Bulletin de l'association de géographes français, 1952.
- ❖ **GUMBEL. E (1956) :** Méthodes graphiques pour l'analyse des débits de crues. La Houille blanche. Nov.1956.
- ❖ **HAFIDI. D (2006):** Genèse et gestion des risques hydrologiques dans les périmètres urbains: Cas de la ville d'Oujda, Berkane et Saidia (Maroc oriental). Thèse doctorat de faculté des lettres Sais- Fès.
- ❖ **HAIDA. S :** Hydrologie et fluctuation hydroclimatique dans le bassin versant Sebou entre 1940 et 1994.
- ❖ **HANCHANE. M et JANATI IDRISSE. A (2012) :** types de circulations atmosphériques à l'origine des risques climatiques majeurs au Maroc entre septembre 2008 et novembre 2010. Article de l'actes du colloque : Climat montagnard et risques le 6-10 septembre 2011, Mart-Rocerto (TN) université di Ferrara. Association internationale de climatologie.
- ❖ **HUMBERT. J (1982) :** Cinq années de bilans hydrologiques mensuels sur un petit bassin versant des Hautes Vosges (1976-1980) : Le bassin du Ringelbach. Recherche. Géographie. Strasb. n°19-21.
- ❖ **Horton. R.E. (1945):** Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America 56, 2 75-3 70.
- ❖ **JANATI IDRISSE. A et al (2017) :** Circulation atmosphérique et ressources en eau dans le cadre du changement climatique (Cas du bassin de Sebou, Maroc). Travaux de L.A.G.E.A et D.D Publication de la faculté des lettres et sciences humaines Sais-Fès.
- ❖ **JANATI IDRISSE. A (2012) :** Les crues de l'Oued Ouergha et Oued Lébène (Maroc) et leurs prévisions ; Actes de colloque : En hommage au professeur Driss Fassi ; Système environnementaux et prospective : approches et cas de figure ; FLSH, Sais Fès.
- ❖ **JANATI IDRISSE. A (2010):** Situation pluviométrique extrêmes et impacts engendrés au Maroc : cas de l'année 2008-2009 Article de revue géo-Maghreb ; Vol n 6 /2010. Faculté des lettres Sais- Fès.
- ❖ **JANATI IDRISSE. A (2005):** Impact du déficit pluviométrique sur la fréquence, la durée et l'apport des crues dans le bassin du Sebou, in publication des actes du colloque Risques hydrologiques organisé en hommage à Ben Halima Fès.
- ❖ **JANATI IDRISSE. A(1993):** Insuffisance pluviométriques et aspects hydrologiques du Souss (Maroc).Thèse de l'université paul Volery -Montpellier III.
- ❖ **JENNAN. L (2004):** Le Moyen Atlas Central et ses bordures mutations récentes et dynamiques rurales. Thèse de doctorat d'Etat, 706p.
- ❖ **JOLY.F(1959):** Note sur le calcul des indices de Thornthwaite. Bulletin d'information et de liaison de la société de géographie du Maroc. N °11 et 12. Rabat, pp 5-14.
- ❖ **KACHMAR. M (1986) :** L'habitat rural dans le périmètre irrigué du Gharb ; Editions du CNRS, Annuaire de l'Afrique du Nord ; Tome XXV.
- ❖ **KENDALL, M. G, ET STUART, A, (1946) :** The Advanced Theory of Statistics, Vol. 1, London, 1943. Percentage Points Of t and X, 2, 225.
- ❖ **KASSAB. F(1979) :** Les très fortes pluies en Tunisie. Publications de l'université de Tunis, 234 p.
- ❖ **KHANFOUCI. Med Said (2005) :** Contribution a l'étude de la fructification et de la régénération du Cèdre de l'Atlas ; Université Hadj Lakhdar -Batna - magister en science forestière.
- ❖ **KHOUALDIA WACILA, 2015 :** Contribution à l'étude de la variabilité climatique et son impact sur les ressources hydriques « cas d'oued Medjerda Nord-Est Algérie. Université Badji Mokhtar –Annaba - Thèse en spécialité hydraulique.
- ❖ **LAMARRE. D (dir) (2005) :** Les risques climatiques, Edition Belin, Paris, 223 p.
- ❖ **LARRAS. J (1972) :** Prévision et prédétermination des étiages et des crues. Ed. Eyrolles, Paris, 159 p.
- ❖ **LEE ET HEGHINIAN. (1977) :** A shift of the mean level in a sequence of independant normal random variables—a Bayesian approach. Technometrics, vol. 19, n° 4, p. 503-506.
- ❖ **LEPOUTRE (1967) :** Profils de sols présentés dans le moyen Atlas. C.R.A., 25, Rabat. pp: 73 -116
- ❖ **LE BORGNE. J (1979) :** " Un exemple d'invasion polaire sur la région mauritano - sénégalaise ", Annales de Géographie, n° 489, pp. 521 - 547, Paris, septembre - Octobre 1979.
- ❖ **LASRI. M (2015):** Les inondations menaçant l'agglomération de Fès : De l'étude hydrologique et du risque à la cartographie des dangers d'inondation. Thèse de la faculté des lettres Sais -Fès.
- ❖ **MAGRANE. B (2010) :** Evénement hydro-pluviométrique dans la province de Kenitra 2010. Chef du service Eau Kenitra.
- ❖ **MARGAT.J (1961) :** Les eaux salées du Maroc : hydrogéologie et hydrochimie. Notes et mémoires. Service géologique n 151 Rabat.
- ❖ **MARTIN. J (1981):** Le Moyen Atlas central : étude géomorphologique. Thèse de doctorat, Uni. Paris VII, Edition du Service géologique, Rabat, Maroc, 445 p.
- ❖ **MARSILY. G (1981) :** Hydrogéologie quantitative. Ed. Masson, Paris, 215 p.
- ❖ **MAYCHOU. S (2009):** Etude morpho-structurale et cartographie SIG du Gharb septentrional et du préif (Maroc). Analyse sismotectonique et modélisation de la déformation de la région de Moulay Bouselham.Thèse doctorat de l'université Chouaib Doukkali et université Bordeaux I.

- ❖ **MAZOZ. L (2015):** Régime pluvio-hydrologiques du Haut Sebou (Maroc) et incidences des situations climatiques à risques dans le bassin.
- ❖ **MCKEE et al (1993) :** Implementation of the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Reconnaissance Drought Index (RDI) for Regional Drought Assessment : A case study for Cyprus.European Water.
- ❖ **MICHARD. A (1976):** Eléments de géologie marocaine. Notes et mémoire .Service géologie. n: 252 Rabat.
- ❖ **MIQUEL. J (1984) :** Guide pratique d'estimation des probabilités de crues. Eyrolles. Paris, 160 p.
- ❖ **MOUMEN. Z et QMICHOU. M (2014) :** Caractérisation du bassin d'Inaouene et élaboration d'un modèle hydrologique .Mémoire du master « Eau et environnement » FST Fès.
- ❖ **MOUHDJ. A(1993) :** Contribution à l'étude pluvio-hydrométrique du bassin versant de l'Oued Melloulou (Maroc oriental).Thèse de l'université des sciences et technologies de Lille .Le F.R de géographie et d'aménagement spatial.
- ❖ **MUSY. A et HIGY.C (1998):** Hydrologie Appliquée, Editions HGA, Bucarest, 365 pages.
- ❖ **NEJJARI A. (2002) :** La sécheresse, l'Eau et l'Homme dans le bassin versant du Haut Sebou (Moyen Atlas Septentrional – Maroc). Thèse de Doctorat en géographie, Université de Metz, 304 p.
- ❖ **NGADI. M (1995) :** -Précipitation et écoulement dans le bassin versant de la Moulouya (Maroc).Thèse de Doctorat, Université Paul Valéry, Montpellier 3.
- ❖ **OBDA. K, AMYAY. M, AKDIM. B (2008) :** Régimes hydrologiques extrêmes des Oueds Rifains méditerranéens. Actes du colloque : Erosion anthropique, Kenitra.
- ❖ **OBDA. K AKDIM. B, TAOUS A. (2007) :** Risques hydrologiques des indigences extrêmes : cas des Oueds Nekor au Rif et du Haut Sebou au Moyen Atlas (Maroc). Actes du colloque : Aménagement du territoire et risques environnementaux, Fès.
- ❖ **OBDA. K (2004):** Les indigences hydrologiques des Oueds méditerranéens: Cas du Haut Sebou (Moyen Atlas) et du Nekor (Rif), Maroc. Thèse de Doctorat d'Etat en géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïs, Fès, 422 p.
- ❖ **OBDA. K, TAOUS. A, LAAOUANE M., AMYAY M. (2003):** Agglomérations et risques d'inondation au Maroc : Cas des villes du Dir (Moyen Atlas), In : Etudes géographiques sur le milieu physique et la dynamique de l'espace au Maroc, Univ. Chouaïb Doukkali, El Jadida, 5-20.
- ❖ **OBDA. K, AKDIM. B, GILLE. E (2001) :** Application de la méthodologie des profils hydrologiques dans la gestion des ressources en eau : cas des Oueds Zloul (Moyen Atlas septentrional) et Nekor (Rif central), In : Mosella, 3-4, 109-120.
- ❖ **O.R.S.T.O.M. (1981) :** Le bassin de la Mejerdah (Tunisie), Monographie hydrologique n°6, Paris, 451 p.
- ❖ **PARDE. M (1964) :** Quelques données sur des crues remarquables en divers contrées et sur le bilan de leurs écoulements. Br. géogr. phys. Genève.
- ❖ **PARDE. M (1961) :** "Sur la puissance des crues en diverses parties du monde". Geographica Ano VIII, Zaragoza, Espagne, 1961, 296 p.
- ❖ **PARDE. M (1949):** Les facteurs géographiques du bilan annuel de l'écoulement fluvial. Br.géogr.physique, 12 p.
- ❖ **PADRE. M (1939) :** Averses et crues fantastiques dans le Roussillon en Octobre 1940 .Article de revue pour l'étude des calamités.Genève mai-juin 1030 pp 131-170.
- ❖ **PDAIRE (2011) :** Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intègre des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou. Note de synthèse .AHBS Fès.
- ❖ **PEDELABORDE. P et DELANNOY. H (1957) :** "Recherches sur les types de temps et le mécanisme des pluies en Algérie, Annales de Géographie, n° 360, p. 216 - 217, Paris.
- ❖ **PEGUY. Ch. P (1970) :** Précis de climatologie. Ed. Masson, 468 p. 119 fig., 20 tableaux.
- ❖ **PETTITT. A. N (1979) :** A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, vol. 28, n° 2, p. 126-135.
- ❖ **PLAYFAIR. J (1805) :** investigation of certain theorems relating to the figure of the earth, Edin.trans,Vpart I.
- ❖ **PIQUE. A (1987) :** Géologie du Maroc. Les domaines régionaux et leur évolution structurale. Edit P.U .M.A.G à Marrakech 284 p.
- ❖ **PNUD (2015) :** article intitulé « Au Maroc, les communautés apprennent à s'adapter au climat », publié sur le site web du PNUD Maroc en novembre 2015 à l'occasion de la journée internationale des forêts qui a été célébrée lundi 21 mars.
- ❖ **Projet Sebou (1967):**«Aspects de la climatologie du bassin du Sebou ", Notice explicative, p. 16.
- ❖ **QADIM. A (2016):** Quantification, modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant de Haut Sebou (Maroc).Thèse doct ; Faculté des lettres Saïs Fès.
- ❖ **REMENIERAS. G. (1986) :**L'hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles. Paris, 456 p.
- ❖ **REMENIERAS. G. (1960) :** Eléments d'hydrologie appliquée. A. Colin, Paris,
- ❖ **RGHP (2014) :** Population légale des régions, provinces et préfectures du royaume du Maroc.

- ❖ **RIAD. S (2003)** : Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse d'université des sciences et technologie de Lille et Université de Ibn zohr.
- ❖ **ROCHE. M (1986)** : Dictionnaire français d'hydrologie de surface. Ed. Masson, 288 p.
- ❖ **ROCHE. M (1963)** : Hydrologie de la surface .Ganthier-villars. ORSTON Paris.
- ❖ **SBAI (1998)** : Le karst du jura méridional : Structure, fonctionnement et évolution. Thèse doctorat Es.sc université Med 1 er Ouejda.
- ❖ **SELOM KLASSOU. K(1997)** :Risques hydrologique et socio-économiques liés à la dynamique climatique dans le bassin versant du Haho à Gati (Togo), in Les risques liés au climat, Edition universitaire de Dijon, Dijon, 51-64.
- ❖ **SAMMAA. D(2010)** :L'homme et l'anthropisation dans la plaine de Guigou. Mémoire de master 116P. Fac des lettres Sais-Fès.
- ❖ **SALOU. A, et al (2017)** : Changement climatique et l'inondation de la plaine du Gharb ; revue des paysages géographiques, FLSH Marrakech.
- ❖ **SEBASTIEN MERCKLE et al (2010)** : Petits barrages écrêteurs de crue spécificités de la nouvelles réglementation; groupement d'Aix-en-Provence Groupe de Recherche "Ouvrages hydrauliques" CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5.
- ❖ **SOUYRIS. E (2006)** : Les crues et l'urbanisation à Montauban : aménagement et perception du risque. Mémoire de master de géographie et aménagement, université de Toulouse, Le Mirail 119p.
- ❖ **STEWART (1968)**: Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. Bull, soc.bist Alger 59 : 23-36.
- ❖ **STRAHLER (1952)** : Quantitative Analysis of watershed geomorphology. Transactions, American geophysical union.
- ❖ **TAKY. A (2009)** : Maitrise des excès d'eau hivernaux et de l'irrigation et leurs conséquences sur la productivité de la betterave sucrière dans le périmètre irrigué du Gharb (Maroc) : Analyse expérimentale et modélisation. Thèse
- ❖ **TAOUS. A, et al (2010)**: Cartographie et zonage de l'aléa d'inondation à Taza (Maroc). Application de la « méthode Géomorphologique Intégrée », Géomaghreb, 1-20.
- ❖ **TAOUS. A(2005)** : Géomorphodynamique fluviale : processus morpho-sédimentaires, ajustements spatio-temporels, paléo-environnements et mutations récentes des espaces fluviaux, Publication de la FLSH Saïs-Fès, 425 p.
- ❖ **TURC. L(1955)** : Le bilan d'eau des sols : relation entre les précipitations, l'évapotranspiration et l'écoulement. Institut national de la recherche agronomique, Paris, 253 p.
- ❖ **TRICART. J (1963)** : La cartographie Hydrologique détaillé et son intérêt pour l'étude des régimes fluviaux - In Mémoire et Travaux de la Société Hydrotechnique de France, n°1; P51-56.
- ❖ **TRIPLET. J-P et ROCHE. G (1986)** : " Météorologie générale", p. 319, Ecole Nationale de la Météorologie, 3 ième édit., Trappes, Paris.
- ❖ **THEVENEAU. A (1949)** : " Etude d'un cas de perturbation d'hiver du front des alizés ", Annales de Service du Globe et de Météorologie, Maroc, vol. , pp. 107 - 109, Rabat.
- ❖ **VANNEY J.R (1970)** : L'hydrologie du bas Guadalquivir.
- ❖ **WAHIBA.M (2012)** : **Risque** de crue et ruissellements superficiel en métropole Méditerranéenne : Cas de la partie ouest du Grand Alger .Géographie Université Paris -Diderot –Paris VII ; Thèse.
- ❖ **WILIDI. W (1983)** : La chaîne tello-rifaine. Article de revue de géographie dynamique et géographie du globe .Vol 3 4 fasc. 3 pp 252 -257.
- ❖ **ZEKOUDA. N (2009)** : Modélisation des crues de l'oued Ouarane pour la gestion intégré des risques d'inondations. Thèse doctorat de la faculté des sciences et des sciences d'ingénieur. Département hydraulique. Université HASSIBA BEN BOUALI, CHLEF .Algérie.

المراجع بالعربية:

- ❖ **السلوي عبد المالك (2000)**: تغيرية التساقطات والحصيلة المائية بسهول وهضاب المغرب الأطلسي بين وادي سبو وسوس. أطروحة دكتوراه الدولة، جامعة محمد الخامس.
- ❖ **باحو عبد العزيز(2002)**. الجفاف المناخي بالمغرب: خصائصه وعلاقاته بالبيات الدورة الهوائية العامة وأثره على زراعة الحبوب الرئيسية. أطروحة دكتوراه الدولة، كلية الآداب والعلوم الإنسانية بالمحمدية.
- ❖ **جناتي إدريسي عبد الحميد (2017)**: العجز المطري وانعكاساته على الموارد المائية السطحية وأنظمتها في حوض سبو بعالية مشرع بلقصور، جامعة سيدي محمد بن عبد الله. فاس.
- ❖ **خالد الشخامي وعبد الحميد الجناتي الادريسي (2020)**: حكمة تدبير الموارد المائية في ظل التغيرات المناخية : حالة فاس-مكناس، أعمال ندوة وطنية : الموارد الترابية والبنىات الاجتماعية والتنمية المحلية بالمغرب ، كلية الآداب ظهر المهرارز ،فاس.

❖ **صديق اليادري، عبد الحميد الجناتي الادريسي وخالد الشخامي (2020):** المخاطر الهيدرولوجية بعلية حوض ورغة : الأليات والإنعكاسات. المخاطر الطبيعية والبيئية والاجتماعية بالمجال المغربي : الأليات والتدبير، وإشكالية التهينة. مؤلف جماعي من تنسيق : ذوالغزي عبد العزيز و ذابت لعسري بدر الدين. كلية الاداب والفنون والعلوم الانسانية ؛ أكادير.

❖ **لحلو نادية (2013):** دراسة هيدرولوجية لحوض أسيف عزاف: تحديد و تصنيف أنواع الامتطاحات الفيضية. مقارنة احصائية. ماستر، كلية الآداب بني ملال.

Les sites web :

- ❖ Site internet des cartes synoptiques et isobariques WWW.Watter3.de
- ❖ https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/index.php

Liste des figures:

N° des figures	Titre des figures	Pages
Figure n°1	Schéma général de la démarche adoptée pour traiter la problématique des risques hydroclimatiques dans le bassin versant du Sebou.	13
Figure n°2	Chronogramme des données pluviométriques observées.	22
Figure n°3	Examen de l'homogénéité des séries pluviométriques par la méthode de double cumul pour la période (1980-81/2013-14).	24
Figure n°4	Chronogramme des données hydrométriques.	28
Figure n°5	Rectangle équivalent du bassin versant de Sebou.	33
Figure n°6	Courbe hypsométrique et répartition de la surface de bassin versant du Sebou.	34
Figure n°7	Les classes des pentes et leurs surfaces dans le bassin du Sebou.	37
Figure n°8	Le profil en long du réseau hydrographique.	42
Figure n°9	Températures moyennes annuelles dans quelques stations du bassin de Sebou (2000 - 2015)	58
Figure n°10	Variation des températures moyennes mensuelles dans quelques stations thermiques de bassin du Sebou (2000-2015).	59
Figure n°11	Climagramme d'Em-MBERGER.	61
Figure n°12	Diagramme ombrothermique dans quelques stations du Bv de Sebou (2000-2015).	62
Figure n°13	Indice de sécheresse (IPS) à l'échelle de bassin versant du Sebou.	66
Figure n°14	Hauteurs des pluies annuelles dans le Bv du Haut du Sebou	90
Figure n°15	Hauteurs des pluies annuelles au le Bv du Rif et du Prérif	92
Figure n°16	Hauteurs des pluies annuelles au Bv d'Inaouene	93
Figure n°17	Hauteurs des pluies annuelles dans le Moyen Sebou, Bv du Beht et du Gharb	94
Figure n°18	L'efficacité des situations pluvieuses pour quelques années abondantes dans le Bv de Sebou (1980-81/2013-14).	98
Figure n°19	Ajustement statistique des pluies annuelles dans le Bv du Haut Sebou (1980-81/2013-14).	101
Figure n°20	Ajustement statistique des pluies annuelles dans le Bv d'Inaouene et Ouergha (1980-81/2013-14).	102
Figure n°21	Ajustement statistique des pluies annuelles dans le Moyen Sebou, Beht et Gharb (1980-81/2013-14).	103
Figure n°22	Régime des situations atmosphériques perturbées de bilan global dans le Bv de Sebou (1980-81 /2013-14).	111
Figure n°23	Nombre de jours annuels des pluies dans le Bv de Sebou (1980-81/2012-13).	116
Figure n°24	Hyétogrammes des pluies journalières dans le Bv d'Inaouene et Haut Sebou.	122
Figure n°25	Hyétogrammes des pluies journalières dans le Bv d'Ouergha.	123
Figure n°26	Hyétogrammes des pluies journalières dans le Bv de Beht.	124
Figure n°27	Débit moyen annuel de l'oued du Haut Sebou, Inaouene et Ouergha (1980-81-2011-12).	133
Figure n°28	Débit moyen annuel de l'oued Moyen Sebou, Beht et Gharb (1980-81-2011-12).	134

Figure n°29	Hyétogrammes hydro-pluviométriques des années pluvieuses dans le Haut Sebou.	148
Figure n°30	Hyétogrammes hydro-pluviométriques des années pluvieuses au Bv d'Inaouene.	149
Figure n°31	Hyétogrammes hydro-pluviométriques des années pluvieuses au Bv de l'oued Ouergha.	150
Figure n°32	Hyétogramme hydro-pluviométrique des années pluvieuses dans le Beht.	151
Figure n°33	Hyétogramme hydro-pluviométrique des années sèches dans le Haut Sebou.	152
Figure n°34	Hyétogramme hydro-pluviométrique des années sèches dans le Bv d'Inaouene.	153
Figure n°35	Hyétogramme hydro-pluviométrique des années sèches dans le Bv d'Ouergha.	153
Figure n°36	Hyétogramme hydro-pluviométrique des années sèches dans le Beht.	154
Figure n°37	Courbes des débits classés des années humides de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (2009-10).	156
Figure n°38	Courbes des débits classés des années sèches de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (1991-92).	158
Figure n°39	Régime du bilan hydrique moyen de la période de 1980-81 à 2013-14.	174
Figure n°40	Période de retour des pluies maximales de 24 h dans le Bv de Haut Sebou et Inaouene.	188
Figure n°41	Période de retour des pluies maximales de 24h dans le Bv de l'oued Ouergha.	189
Figure n°42	Période de retour des pluies maximales de 24h dans le Moyen Sebou, Beht et plaine du Gharb.	190
Figure n°43	Évolution des débits maximaux journaliers au Haut Sebou.	194
Figure n°44	Évolution des débits maximaux journaliers à l'Oued Inaouene.	194
Figure n°45	Évolution des débits maximaux journaliers à l'Oued Ouergha.	195
Figure n°46	Évolution des débits maximaux journaliers au Moyen Sebou, Gharb et Beht.	197
Figure n°47	Débit instantané maximal annuel au niveau de Haut Sebou.	198
Figure n°48	Débit instantané maximal annuel au niveau de l'oued Inaouene.	199
Figure n°49	Débit instantané maximal annuel au niveau de l'oued Ouergha.	200
Figure n°50	Débit maximum instantané annuel au Moyen Sebou, Beht et Gharb.	202
Figure n°51	Périodes de retour des débits instantanés maximums de Haut Sebou et oued Ouergha.	208
Figure n°52	Périodes de retour des débits instantanés maximums de l'oued Inaouene, Moyen et Bas Sebou.	209
Figure n°53	Le nombre de crues mensuelles dans le Bv de Haut Sebou et Inaouene.	211
Figure n°54	Le nombre de crues mensuelles dans le Bv de l'Ouergha et Beht.	212
Figure n°55	Le nombre de crues mensuelles dans le Moyen Sebou et Gharb.	214
Figure n°56	Régime des phases de crues dans le bassin du Haut Sebou et Inaouene.	217
Figure n°57	Régime des phases des crues dans le bassin de l'oued Ouergha et Beht.	218
Figure n°58	Hydrogramme journalier de la crue de janvier 1970.	221
Figure n°59	Hydrogramme instantané de la crue de janvier 1970.	222
Figure n°60	Hydrogramme journalier de la crue du 07 au 09 mars 2010.	224
Figure n°61	Hydrogramme instantané de la crue du 07 au 09 mars 2010.	224
Figure n°62	Hydrogramme journalier de la crue du 21 au 23 octobre 1982.	226
Figure n°63	Hydrogramme instantané de la crue du 10 octobre 2008.	228
Figure n°64	Hydrogramme instantané de la crue du 06 août 2002.	230
Figure n°65	Schématisation de l'interopérabilité des programmes utilisés.	237
Figure n°66	Quelques entités géométriques numérisées sur Arc Map à l'aide de l'extension HEC-Géo-Ras.	237
Figure n°67	Importation de la géométrie du tronçon a modélisée dans HEC-Ras.	238
Figure n°68	Introduction des conditions aux limites pour l'écoulement.	239
Figure n°69	Le profit en long du tronçon modélisé de l'Oued Sebou.	140

Figure n°70	Le profit en travers d'une station.	240
Figure n°71	Vue en 3D de la zone la plus débordé du tronçon simulé.	241
Figure n°72	La variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire.	241
Figure n°73	Courbe de tarage du tronçon modélisé de l'oued Sebou.	242
Figure n°74	La longueur des voiries inondées dans la plaine du Gharb.	257
Figure n°75	Surfaces agricoles inondées durant les grandes inondations du Gharb.	261
Figure n°76	La surface inondée des bâties dans la plaine du Gharb.	265
Figure n°77	Gestion de barrage Al Wahda.	273
Figure n°78	Débits entrant et sortant à partir du barrage Al Wahda en 2009-10	274
Figure n°79	Type des constructions d'habitat dans la plaine du Gharb.	279
Figure n°80	Importance des causes des inondations dans le Gharb.	282
Figure n°81	Age des habitants vivant les inondations dans le Gharb.	284
Figure n°82	Durée par jours de la stagnation des inondations dans le Gharb.	286
Figure n°83	Évolution des superficies inondées dans la plaine du Gharb.	287
Figure n°84	Moyens d'information sur le risque des inondations	294
Figure n°85	Évaluation des mesures préventives pour diminuer la vulnérabilité des populations aux risques d'inondations.	295

Liste des cartes:

N° des cartes	Titre des cartes	Pages
Carte n°1	Localisation géographique des stations pluviométriques dans le Bv de Sebou.	21
Carte n°2	Localisation géographique des stations hydrométriques dans le Bv de Sebou.	27
Carte n°3	Situation géographique de bassin versant du Sebou.	29

Carte n°4	Découpage administratif de bassin du Sebou.	30
Carte n°5	Hypsométrique du bassin versant de Sebou.	34
Carte n°6	Les pentes de bassin du Sebou.	36
Carte n°7	Les sous-bassins versants du Sebou.	39
Carte n°8	Hiérarchisation de réseau hydrographique du bassin versant de Sebou.	41
Carte n°9	La géologie du bassin versant de Sebou.	48
Carte n°10	Indice de la végétation(NDVI) dans le bassin versant de Sebou.	52
Carte n°11	Le couvert forestier du bassin versant de Sebou.	56
Carte n°12	Carte récapitulative de trois périodes d'extension d'urbanisme dans la ville de l'Oued Amlil sur l'Oued Inaouene.	68
Carte n°13	Carte récapitulative de trois périodes d'extension d'urbanisme dans la ville de Sidi Slimane (Gharb) sur l'Oued Beht.	69
Carte n°14	Vitesse moyenne du vent en m/s en altitude 500 hPa pour les mois DJF (G) et JJA (D) selon le model ERA-Interim.	76
Carte n°15	Pression moyenne de la surface en 2010 pour les mois DJF (G) et JJA (D) selon le model ERA-Interim.	77
Carte n°16	Géopotential à 500 hPa en altitude(G) et au sol (D) du 04-10-2019	79
Carte n°17	Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 09-11-2015	79
Carte n°18	Géopotential 500 hPa en altitude(G) et au sol (D) du 29-1-2012.	80
Carte n°19	Géopotential 500 hPa en altitude(G) et au sol (D) du 22-8-2019.	81
Carte n°20	Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 24-12-2009.	82
Carte n°21	Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 14-11-2002.	83
Carte n°22	Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 22-12-1996.	84
Carte n°23	Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 11-11-2012.	85
Carte n°24	Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 10-10-1991.	86
Carte n°25	Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 21-10-1982.	86
Carte n°26	Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 15-11-1993.	87
Carte n°27	Géopotential 500 hPa en altitude (G) et au sol (D) du 13-09-2009.	88
Carte n°28	Régime pluviométrique dans le Bv de Sebou (1980-81/2013-14).	109
Carte n°29	Régime probable des pluies mensuelles dans le Bv de Sebou.	114
Carte n°30	Nombre de jours des pluies mensuelles dans le Bv du Sebou (1980-81/2013-14).	119
Carte n°31	Apport d'intensité des pluies dans quelques stations du Bv de Sebou.	128
Carte n°32	Débits moyens et Coefficient de variation des débits de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (1980-81/2011-12)	144
Carte n°33	Régime probable des débits de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (1980-81/ 2011-12).	146
Carte n°34	Spatialisation des pluies annuelles dans le bassin versant (1980-81/2013-14).	161
Carte n°35	Rythme des pluies maximales journalières dans le Bv de Sebou (1980-81/2013-14).	192
Carte n°36	Genèse atmosphérique de la crue du 29 décembre 1969 au 22 janvier 1970.	223
Carte n°37	La genèse météorologique de la crue 06-09mars 2010.	225
Carte n°38	Genèse atmosphérique de la crue du 21au 23 octobre 1982.	227
Carte n°39	La genèse météorologique de la crue 10octobre 2008.	229
Carte n°40	La genèse météorologique de crue du 06 août 2002.	230
Carte n°41	Situation géographique de la plaine du Gharb.	236
Carte n°42	Spatialisation des inondations historiques (06-01-1963) dans la plaine du Gharb.	245
Carte n°43	Spatialisation des inondations historiques (24-01-1996) dans la plaine du Gharb.	247
Carte n° 44	Spatialisation des inondations historiques (08-02-2009) dans la plaine du Gharb	249
Carte n° 45	Spatialisation des inondations historiques (10-03-2010) dans la plaine du Gharb.	251
Carte n°46	Atlas des zones inondables dans la plaine du Gharb (10-03-2010).	254
Carte n°47	Le réseau des voiries dans la plaine du Gharb.	256
Carte n°48	Croisement de la vulnérabilité du réseau des voiries à l'aléa d'inondations (06-01-1963) dans le Gharb.	258
Carte n°49	Croisement de la vulnérabilité du réseau des voiries à l'aléa d'inondations (24-01-1996) dans le Gharb.	258
Carte n°50	Croisement de la vulnérabilité du réseau des voiries à l'aléa d'inondations (08-02-	259

	2009) dans le Gharb.	
Carte n°51	Croisement de la vulnérabilité du réseau des voiries à l'aléa d'inondations (10-03-2010) dans le Gharb.	259
Carte n° 52	Les espaces agricoles et les plantations fruitières dans la plaine du Gharb.	260
Carte n° 53	Croisement de la vulnérabilité des zones agricoles et les plantations fruitières à l'aléa d'inondations (06-01-1963) dans le Gharb.	262
Carte n°54	Croisement de la vulnérabilité des zones agricoles et les plantations fruitières à l'aléa d'inondations (24-01-1996) dans le Gharb.	262
Carte n°55	Croisement de la vulnérabilité des zones agricoles et plantations fruitières à l'aléa d'inondations (08-02-2009) dans le Gharb.	263
Carte n°56	Croisement de la vulnérabilité des zones agricoles et les plantations fruitières à l'aléa d'inondations (10-03-2010) dans le Gharb.	263
Carte n° 57	Les zones bâties dans la plaine du Gharb.	264
Carte n° 58	Croisement de la vulnérabilité des zones bâties à l'aléa d'inondations (06-01 -1963) dans le Gharb.	266
Carte n°59	Croisement de la vulnérabilité des zones bâties à l'aléa d'inondations (24-01 -1996) dans le Gharb.	266
Carte n°60	Croisement de la vulnérabilité des zones bâties à l'aléa d'inondations (08-02 -2009) dans le Gharb.	267
Carte n°61	Croisement de la vulnérabilité des zones bâties à l'aléa d'inondations (10-03 -2010) dans le Gharb.	267
Carte n°62	Aménagement de la plaine du Gharb contre les risques des crues inondables.	275

Liste des photos:

N° des photos	Tire des photos	Pages
Photo n°1	Station météorologique de Taza (X : 623,9- Y : 403,8) (G) et Bab Marzouka(X : 615,8- Y : 400,8)(D) au Bv de l'oued Inaouene.	18

Photo n°2	Station hydrométrique d'Azzaba(X: 559,95 -Y : 359,57)(G) et Ait Khabache (X : 557 - Y :314,8) (D) dans le Haut Sebou.	26
Photo n°3	Développement de réseau hydrographique et la structure lithologique dans le Moyen Atlas (2019).	46
Photo n°4	Affleurements rocheux dans le Rif (commune d'Ouertzagh ; 2016(G) et les affleurements rocheux au Moyen Atlas (Aguelmane Sidi Ali; 2008) (D).	49
Photo n°5	La dégradation de la forêt du Rif (Beni Ouled 2017).	53
Photo n°6	Défrichement de la forêt du Moyen Atlas et sa diversité végétale (2019).	54
Photo n°7	La subéraie de la Maâmore (2019).	54
Photo n°8	Un substrat rifain plus dénudé de végétation (2017).	55
Photo n°9	Les zones rifaines incomplètement protégées (Beni Ouled : 2017).	62
Photo n°10	Système de gravité pour dévier les eaux vers les champs agraires irrigués par « Seguia » (Moyen Sebou).	171
Photo n°11	Système d'aspersion d'eaux pour arroser les champs agricoles.	171
Photo n°12	Importance de crue de l'oued Inaouene et Hauteur d'eau des inondations à 160 cm dans la ville de l'Oued Amlil le 10 mars 2010.	226
Photo n°13	Crue de l'oued Sebou le 10 octobre 2008 au niveau de pont Sadienne (Fès) et Béni Daoud (Moyen Atlas).	228
Photo n°14	La vulnérabilité des voiries face à l'aléa d'inondations à Sidi Kacem .	257
Photo n°15	Zones agricoles et des plantations fruitières inondées dans le Gharb (Sidi Kacem, 2010).	261
Photo n°16	Inondations des zones bâties dans le Gharb (Merjet Fourat et Hawafat, 2010).	265
Photo n°17	Prise de vue aérienne de la brèche de Haitam et Boutabet (Crue 1970).	270
Photo n°18	Canal de Nador, écoulement vers Merja Zerga et Canal Beht-Sebou.	275
Photo n°19	La morphologie d'habitat et douar dans la commune Had Kourt au Gharb.	278
Photo n°20	Etat de Douar Syabna (Gharb) après les inondations de mars 2010. Et Type des édifices précaires menacés par les inondations de février 2010.	280
Photo n°21	Confluence entre oued Ouergha et oued Sebou au Magrane	281
Photo n°22	Débordement de l'oued Sebou à la commune de Haouafat et Sidi Abdelaziz (2010).	286
Photo n°23	Canaux d'irrigation détruits dans la zone de Ghrarda et Coupure de la R .n° 413 à M'saâda (2010).	289
Photo n°24	Digue pour diminuer le plan d'eau dans le village typique Syabna 2017. Et Evacuation des populations pendant les inondations en 2010.	293

Liste des tableaux:

N° des tableaux	Titre des tableaux	Pages
Tableau n°1	Les sites menacés par les crues inondables dans le Bv du Sebou.	6
Tableau n°2	Les stations pluviométriques étudiées dans le Bv du Sebou.	19

Tableau n°3	Comblement des données pluviométriques.	25
Tableau n°4	Les stations hydrométriques étudiées dans le Bv du Sebou.	27
Tableau n°5	Longueur et largeur du bassin versant de Sebou.	33
Tableau n°6	Répartition de la surface totale par tranches d'altitudes.	33
Tableau n°7	Répartition des pentes dans le bassin du Sebou.	37
Tableau n°8	Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM en m/km.	38
Tableau n°9	Classification du relief selon Ds donné par l'ORSTON en m.	38
Tableau n°10	Les principales caractéristiques des sous -bassins versants du Sebou.	40
Tableau n°11	Les indices relatifs au relief et réseau hydrographique du Bv du Sebou.	45
Tableau n°12	Indices de De Martonne dans le bassin du Sebou.	60
Tableau n°13	Sévérité de l'indice de standardisé des précipitations.	63
Tableau n°14	Fréquence (%) de l'indice de sécheresse (IPS) à l'échelle du bassin versant du Sebou pendant la période (1980-81/2013-14).	64
Tableau n°15	Répartition de la population par Préfecture / Province dans le bassin du Sebou.	67
Tableau n°16	Irrégularité interannuelle des pluies dans le bassin versant de Sebou entre 1980-81 et 2013-14.	95
Tableau n°17	Quantiles des pluies dans le Bv de Sebou entre 1980-81 et 2013-14).	104
Tableau n°18	Valeurs probables des années exceptionnellement sèches et pluvieuses dans le Bv de Sebou entre 1980-81 et 2013-14.	105
Tableau n°19	Les pluies moyennes saisonnières dans le Bv de Sebou (1980-81/2013-14).	106
Tableau n°20	Nombre des jours pluvieux saisonniers dans le Bv du Sebou (1981-82/ 2013-14).	118
Tableau n°21	Nombre de jours des pluies par classes d'intensité.	120
Tableau n°22	Variabilité hydrométrique annuelle de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.	132
Tableau n°23	Débits moyens saisonniers de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.	135
Tableau n°24	Débits mensuels de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.	141
Tableau n°25	Irrégularité des débits mensuels de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.	142
Tableau n°26	Débits classés pour l'année humide (2009-10) à l'oued Sebou et ses principaux affluents.	155
Tableau n°27	Débits classés des années sèches (1991-92) de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.	157
Tableau n°28	Bilan de l'écoulement dans le bassin de Sebou (1980-81/2013-14).	163
Tableau n°29	Besoins en eau potable du bassin du Sebou (en Mm ³).	169
Tableau n°30	Consommation en eau par des unités industrielles isolées.	170
Tableau n°31	Coefficient de corrélation pour la latitude 34°N.	172
Tableau n°32	Bilan hydrique de sol dans le Bv Sebou dans entre 1980-81 et 2013-14.	173
Tableau n°33	Nombres moyens de jours de pluies (J) et intensités moyennes journalières (I) en mm/j.	184
Tableau n°34	Les records journaliers dans le Bv de Sebou.	185
Tableau n°35	Période de retour des pluies maximales de 24 h dans quelques stations de Sebou.	187
Tableau n°36	Les débits maximaux observés de l'oued Sebou et de ses principaux affluents	203
Tableau n°37	Débits maximaux instantanés selon des périodes de retours au bassin de Sebou.	206
Tableau n°38	Classification des formes des crues du Bv de Sebou.	219
Tableau n°39	Temps de propagation de crue et leur vitesse d'écoulement dans le Bv de Sebou.	233
Tableau n°40	Les caractéristiques des inondations historiques dans le Gharb.	243
Tableau n°41	Chronologie des inondations dans le Gharb.	271
Tableau n°42	Taux d'écêtement des barrages dans le bassin de Sebou	271
Tableau n°43	Débits maximums des oueds au niveau des stations hydrologiques dans le Bv Sebou	272
Tableau n°44	Statut de l'habitat dans la plaine du Gharb.	279
Tableau n°45	Causes des inondations dans la plaine du Gharb.	281
Tableau n°46	Fréquences des inondations au point de vue de population du Gharb.	284
Tableau n°47	Communes touchés par les inondations.	289

Tableau n°48	Zones à risque d'inondation dans la plaine du Gharb.	290
Tableau n°49	Savez-vous un plan de lutte contre les inondations dans la plaine du Gharb ?	291
Tableau n°50	Modes de gestion des inondations dans le Gharb.	292

Liste des acronymes:

L'E.M.D.AT	L'emergency disaster data base (Base de données sur les catastrophes d'urgence).

A.E.P	Approvisionnement de l'eau potable
Bv	Bassin versant
NO	Nord-Ouest
ONO	Ouest-Nord-Ouest
SO	Sud-Ouest
OSO	Ouest-Sud-Ouest
NE	Nord-Est
P	Précipitations
T	Températures
Nbr	Nombre
E.T.P	Evatranspiration
Ec	Lames d'eau annuelles écoulées
Déf	Déficits d'écoulement annuels en mm
C.r	Coefficients annuels d'écoulement
A.H.B.S	Agence hydraulique du bassin du Sebou
C.M.D	Coefficient mensuel de débit
D	Droite
G	Gauche

Table des matières:

Remerciement	2

Introduction générale:	3
<u>PREMIERE PARTIE : CONTEXTE METHODOLOGIQUE, FACTEURS PHYSIQUES ET ANTHROPIQUES DU BASSIN DE SEBOU</u>	10
Introduction :	11
<u>PREMIER CHAPITRE : Méthodologie, études précédentes et qualité des données pluvio-hydrométriques</u>	12
Introduction :	12
1.1. M	
éthodes et Approches	12
1.2. Aperçu des Travaux bibliographiques traitant le sujet des risques hydroclimatiques	14
1.3. Examen de la qualité des données pluvio-hydrométriques	17
1.3.1. Acquisition et répartition données pluviométriques	17
1.3.1.1. Insuffisance de l'archive climatique	18
1.3.1.2 Le réseau pluviométrique avec des durées d'observations variables	18
1.3.1.3. Un réseau des stations déséquilibré spatialement	20
1.3.1.4. Données pluviométriques variables dans le temps	21
1.3.1.5. Critique des données et méthode d'estimation des lacunes utilisées	23
1.3.1.5.1. Examens de l'homogénéité des données pluviométriques	23
1.3.1.5.2. Estimation de lacune d'observation	24
1.3.2. Acquisition et répartition données hydrométriques	26
1.3.2.1. Les données hydrométriques de l'oued Sebou et de ses principaux affluents	26
Conclusion de 1 ^{er} chapitre:	28
<u>DEUXIÈME CHAPITRE : Cadre géophysique de l'hydrosystème du Bv de l'oued Sebou</u>	29
Introduction :	29
2.1. Les données géographiques et administratives du bassin de Sebou	29
2.2. Les paramètres morphométriques	31
2.2.1. Surface et Périmètre	31
2.2.2. Paramètres de forme	31
2.2.3. Le courbe hypsométrique	33
2.2.4. Les altitudes caractéristiques	35
2.2.5. Les indices de pentes de relief	36
2.2.6. Les caractéristiques des principaux sous bassins versants de Sebou	39
2.3. Réseau hydrographique du bassin versant	40
2.3.1. La hiérarchisation du réseau hydrographique	40

2.3.2. La fréquence de drainage	41
2.3.3. La pente moyenne de cours d'eau	42
2.3.4. Le profil en long du réseau hydrographique	42
2.3.5. La densité de drainage	43
2.3.6. Le coefficient de torrencialité	44
2.3.7. Temps de concentration	44
2.4. Les différentes unités géomorphologiques, lithologiques et géologiques du Bv de Sebou	46
2.4.1. Cadre géomorphologie et structure lithologique.....	46
2.4.2. Structure géologique	47
Conclusion de 2 ^{ème} chapitre:	49
<u>TROISIÈME CHAPITRE</u> : Facteurs biogéographiques, bioclimatiques et anthropiques conditionnant l'écoulement du bassin de Sebou	50
Introduction :	50
3.1. Les facteurs biogéographiques	50
3.1.1. Les caractéristiques édaphiques	50
3.1.2. Indice de végétation (NDVI) et répartition des formations végétales	51
3.2. Les caractéristiques climatiques du bassin.....	56
3.2.1. Le contraste spatio-temporel des températures	57
3.2.1.1. Variation des températures moyennes annuelles	57
3.2.1.2. Le régime thermique mensuel	58
3.2.1.3. Les indices bioclimatiques du bassin	60
3.2.1.3.1. <i>Le degré d'aridité et étage bioclimatique</i>	60
3.2.1.3.2. <i>Indice de standardisé de précipitations (ISP) et leur fréquence</i>	63
3.3. Facteur anthropique et son rôle d'amplification du risque d'inondation	67
3.3.1. L'accroissement démographique	67
3.3.2. Évolution de l'urbanisation dans le bassin	68
Conclusion de 3 ^{ème} chapitre:	70
Conclusion de 1 ^{ère} partie :	71
<u>DEUXIÈME PARTIE</u> : DYNAMIQUE ATMOSPHERIQUE, REGIMES PLUVIO-HYDROLOGIQUES ET BILAN DES RESSOURCES EN EAU	72
Introduction:	73
<u>PREMIER CHAPITRE</u> : Aspects de la dynamique atmosphérique au-dessus du bassin de Sebou.....	74
Introduction :	74

1.1. Les mécanismes de la circulation atmosphérique au Maroc	74
1.1.1. Le rôle du courant -Jet subtropical et polaire dans la circulation atmosphérique	75
1.1.1.1. Caractéristiques de la circulation générale sur hémisphère nord	75
1.1.1.2. Effet du changement de vitesse du courant-Jet sur le climat du Maroc.....	76
1.1.2. Les types de temps stables et secs sur le bassin	78
1.1.2.1. Le type de temps de dorsale anticyclonique avec advection d'air tropical maritime	78
1.1.2.2. Temps d'anticyclonique avec advection de masses d'air continentales de Sud-Est.....	79
1.1.2.3. Type de temps anticyclonique de secteur de Nord-Est	80
1.1.2.4. Temps continental chaud de type chergui	80
1.1.3. Types de temps associés aux circulations cycloniques polaires	81
1.1.3.1. Type de circulation d'ouest rapide	82
1.1.3.2. Types de circulations atmosphériques méridiennes lentes	82
1.1.3.2.1. <i>Type de temps pluvieux avec flux de secteur Nord-Ouest</i>	83
1.1.3.2.2. <i>Les temps perturbés du secteur Ouest-Sud-Ouest</i>	83
1.1.3.2.3. <i>Les temps perturbés du secteur Nord-Est</i>	84
1.1.3.2.4. <i>Types de temps perturbés lié à une circulation cyclonique très lente avec blocage</i>	85
1.1.3.2.5. <i>Les types de temps orageux</i>	87
Conclusion de 1^{er} chapitre :	88
<u>DEUXIÈME CHAPITRE</u> : Variabilité et régime pluviométrique du bassin versant de Sebou	89
Introduction:	89
2.1. Irrégularité des pluies annuelles	89
2.1.1. Succession d'années humides et sèches	89
2.1.2. Étude d'efficacité des types de temps perturbés	95
2.1.2.1. Intérêt de l'étude et méthode d'approche	95
2.1.2.2. La part de l'efficacité des situations pluvieuses sur le plan annuel	96
2.1.3. Étude fréquentielle des pluies annuelles	99
2.1.3.1. Méthode d'ajustement aux lois statistiques	99
2.1.3.2. Résultats graphiques des ajustements aux lois statistiques adoptées	100
2.1.3.3. Fréquence des pluies annuelles	104
2.2. Le régime pluviométrique du Bv de Sebou	105
2.2.1. Distribution spatio-temporelle des pluies saisonnières	106
2.2.2. Les pluies moyennes mensuelles du Sebou et leurs variabilités.....	107
2.2.3. Étude du régime d'efficacité des situations perturbées	110

2.2.4. Étude du régime probable des pluies dans le bassin	112
2.3. Étude des pluies journalières et leurs caractéristiques dans le Bv	115
2.3.1. Variation interannuelle de nombre des jours pluvieux	115
2.3.2. Répartition du nombre moyen des jours pluvieux à l'échelle saisonnière et mensuelle	117
2.3.3. Le nombre des jours par classe d'intensité des pluies entre 1980-81 et 2013-14	120
2.3.4. Modalités et effets de la répartition journalière des pluies	121
2.4. Décomposition du régime en apport d'intensité des pluies dans le bassin ...	125
Conclusion de 2 ^{ème} chapitre:	130
TROISIÈME CHAPITRE : Comportement hydrologique et bilan des ressources en eau de l'oued Sebou et de ses principaux affluents	131
Introduction :	131
3.1. Étude des apports hydrologiques annuels de l'oued Sebou et de ses principaux affluents	131
3.2. Examen du régime hydrologique du bassin versant de Sebou	135
3.2.1. Débits moyens saisonniers	135
3.2.2. Débits moyens et coefficients mensuels	139
3.2.3. Variabilité des débits mensuels	141
3.2.3.1. Étude des coefficients de variation et d'irrégularité	142
3.2.3.2. Fréquence des débits moyens mensuels	145
3.3. Les apports moyens journaliers	147
3.3.1. Régime journalier pour quelques années humides	147
3.3.2. Régime journalier pour quelques années sèches	152
3.3.3. Étude débits moyens journaliers classés	154
3.3.3.1. Étude des débits classés dans une année humide	155
3.3.3.2. Étude des débits classés d'une année sèche	157
3.4. Bilans d'écoulement dans le Bv de Sebou.....	159
3.4.1. Méthode d'élaboration de la carte pluviométrique	159
3.4.2. Analyse de la carte pluviométrique de la période étudiée	160
3.4.2.1. Le versant rifain une distribution basé sur l'altitude et l'exposition	161
3.4.2.2. Versant moyen Atlasique: intervention d'Exposition-Abri et altitude	162
3.4.2.3. Bassin d'Inaouène: effet de relief et d'altitude	162
3.4.2.4. Secteurs du Gharb et du moyen Sebou: impact de la continentalité et d'abri ..	162
3.4.3. Examen des résultats du bilan hydrologique	163
3.4.3.1. Estimation de la lame d'eau précipitée dans le bassin	164

3.4.3.2. Étude de la lame d'eau écoulee dans le bassin	166
3.4.3.3. Déficit d'écoulement dans le bassin et ses facteurs	167
3.4.3.3.1. Analyse du déficit d'écoulement	167
3.4.3.3.2. Facteur anthropique et prélèvements d'eau dans le bassin	168
3.4.3.3.3. Résultat du bilan hydrique moyen des sols pour la période étudiée	171
3.4.3.3.3.1. Calcul d'ETP par la formule de Thornthwaite	172
3.4.3.3.3.2. Analyse des résultats du bilan hydrique moyen des sols	172
3.4.3.4. Analyse du coefficient d'écoulement dans le bassin	175
Conclusion de 3 ^{ième} chapitre :	177
Conclusion de la 2 ^{ième} partie :	178

TROISIEME PARTIE : ÉTUDE DES CRUES DU SEBOU ET LEURS IMPACTS SUR LA PLAINE DU GHARB

Introduction:	181

PREMIER CHAPITRE : Genèse, régime et typologie des crues dans le bassin de Sebou

Introduction:	182

1.1. Crue: Définitions et Méthodes

1.1.1. Difficulté d'adoption d'une définition de la crue	182

1.1.2. Méthodes de l'étude des crues	182

1.2. Étude des pluies journalières maximales dans le bassin de Sebou.....

1.2.1. Intensité des pluies journalières et séquences pluvieuses	183

1.2.1.1. Intensité pluviométrique à l'échelle annuelle et mensuelle	183

1.2.1.2. La date des maxima journaliers enregistrés dans le Bv	185

1.2.1.3. Fréquence des pluies maximales de 24h	187

1.2.2. Le rythme mensuel des pluies maximales	191

1.3. Étude des débits maximaux dans le bassin de Sebou

1.3.1. Régime des débits journaliers maximaux moyens et absolus	193

1.3.2. Étude des débits maximaux instantanés du bassin de Sebou	198

1.3.2.1. Débits journaliers maximaux instantanés annuels moyens et absolus.....	198

1.3.2.2. Date des débits maximaux instantanés observés	203

1.3.2.3. Fréquence des débits maximaux instantanés	205

1.4. Régime des crues dans le bassin de Sebou

1.4.1. Répartition mensuelle des crues	210

1.4.1.1. Les crues du Haut Sebou et Inaouene.....	210

1.4.1.2. Prédominance des crues hivernales au bassin de l'Ouergha et Beht	211

1.4.1.3. Régime des crues au Moyen Sebou et la plaine du Gharb	213

1.4.2. Régime saisonnier des crues	214

1.4.2.1. Crues d'automne plus fréquentes au secteur Moyen-atlasique	214
1.4.2.2. Crues hivernales prédominant dans la zone rifaine	215
1.4.2.3. Crues printanières plus virulentes dans le Haut Sebou et Inaouene	215
1.4.3. Régime de durée des crues au sein du bassin	216
1.5. Classification et Typologie des crues au bassin de Sebou	219
1.5.1. Genres et formes de crues	219
1.5.1.1. Les crues simples	220
1.5.1.2. Les crues complexes	220
1.5.2. Origine et genèse météorologique des crues dans le bassin de Sebou	220
1.5.2.1. Les crues océaniques du bassin de Sebou	220
1.5.2.2. Crues d'origine méditerranéenne	226
1.5.2.3. Crues issues des cyclogenèses locales sur le Maroc	227
1.5.2.4. Crues d'origine orageuse	229
1.6. Puissance et vitesse de propagation des crues vers l'aval	231
1.6.1. Le coefficient de puissance de crue H	231
1.6.2. Vitesse de propagation des crues vers l'aval	232
Conclusion du 1 ^{er} chapitre:	234
<u>DEUXIÈME CHAPITRE</u> : Inondations historiques du Gharb, spatialisation et	
degré de vulnérabilité.....	235
Introduction :	235
2.1. Présentation de la plaine du Gharb	224
2.2. Modélisation des inondations historiques de la plaine du Gharb	236
2.2.1. Étapes d'élaboration du modèle hydraulique	236
2.2.1.1. Création de la géométrie de l'oued Sebou et de ses principaux affluents	237
2.2.1.2. Choix des paramètres hydrométriques	238
2.2.2. Simulation hydraulique	239
2.2.2.1. Les profils en long.....	239
2.2.2.2. Étapes d'élaboration du modèle.....	240
2.2.2.3. Vue de trois dimensions du tronçon modélisé	240
2.2.2.4. Vitesse d'écoulement	241
2.2.2.5. Restitution de la courbe de tarage	241
2.2.3. Détermination des zones inondables	243
2.2.3.1. Spatialisation des inondations historiques dans le Gharb et leurs caractéristiques	243
2.2.3.1.1. Inondation de janvier 1963 de la plaine du Gharb	244
2.2.3.1.2. Inondation de janvier 1996 de la plaine du Gharb	246

2.2.3.1.3. Inondation de la plaine du Gharb du mois de février 2009	248
2.2.3.1.4. Inondation historique de la plaine du Gharb le 10 mars 2010	250
2.2.3.2. Focalisation sur les tronçons inondables dans le Gharb	252
2.2.4. Cartographie de la vulnérabilité de la plaine du Gharb face à l'aléa d'inondation	255
2.2.4.1. Présentation de l'approche adoptée	255
2.2.4.2. Le réseau des voiries	255
2.2.4.3. Estimation des tronçons inondés des voiries	256
2.2.4.4. Les zones agricoles et les plantations fruitières	260
2.2.4.5. Estimation des surfaces inondées des zones agricoles et des plantations fruitières	261
2.2.4.6. Les zones bâties	264
2.2.4.7. Estimation des surfaces bâties inondées	265
Conclusion de la 2 ^{ème} chapitre :	268
TROISIÈME CHAPITRE : Les inondations dans la plaine du Gharb: Gestion, ampleur et perception	269
Introduction:.....	269
3.1. Chronologie des inondations dans la plaine du Gharb.....	269
3.2. Aménagement de la plaine du Gharb	271
3.2.1. Rôle des barrages vis-à-vis des crues	271
3.2.2. Gestion de Barrage Al Wahda durant l'année 2009-10	273
3.2.3. Moyens de protection contre les inondations	274
3.3. Impact des inondations sur la plaine du Gharb	276
3.3.1. Présentation de la méthodologie d'enquête	276
3.3.1.1. Choix des Quartier/Douars, échantillonnage et étude de terrain	276
3.3.1.2. Outils et techniques de collecte des données.....	277
3.3.1.2.1. Enquêtes des ménages et objectifs.....	277
3.3.1.2.2. Entretien avec les gestionnaires des inondations	277
3.3.1.2.3. Observations directes du terrain	277
3.3.1.2.4. Dépouillement et analyse des données.....	278
3.3.2. Vulnérabilité, impact et adaptation face aux inondations du Gharb	278
3.3.2.1. Caractéristiques de l'habitat dans la plaine	278
3.3.2.2. Causes des inondations selon la population locale	281
3.3.2.3. Fréquence et ampleur des inondations dans le Gharb	283
3.3.2.3.1. Le Gharb la région la plus inondable du bassin	283
3.3.2.3.2. Les dommages dus aux inondations dans le Gharb	286
3.3.2.3.3. Impact des inondations sur la culture et l'élevage	287

3.3.2.3.4. <i>Impact des inondations sur l'infrastructure hydro-agricole et le réseau routier</i>	288
3.3.2.3.5. <i>Impact des inondations sur l'habitat et les personnes</i>	289
3.3.2.4. <i>Perception des risques d'inondation et mesures de gestion</i>	290
3.3.2.4.1. <i>Perception du risque d'inondation</i>	291
3.3.2.4.2. <i>Mesures d'intervention de la population et modes de gestion des inondations</i>	292
3.3.2.5. <i>Évaluation des mesures préventives et solutions proposées par la population locale</i>	294
3.3.2.5.1. <i>Évaluation des procédures préventives</i>	294
3.3.2.5.2. <i>Solutions proposées par la population pour atténuer le risque d'inondation</i>	295
<i>Conclusion du 3^{ième} chapitre:</i>	297
<i>Conclusion de la 3^{ième} partie:</i>	298
Conclusion générale:	300
Résumé:	305
Abstract:	306
المخلص :	307
Bibliographie	308
Liste des figures	313
Liste des cartes	316
Liste des photos	318
Liste des tableaux	319
Liste des acronymes	321
Table des matières	322
Annexes	330

Annexes:

Partie 2 : Annexe. n°1. Le régime pluviométrique probable dans le Bv de Sebou.
Tab.n°1.Ait Khabache (1980-81 /2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	5	4	4	3	1	2	15	2	11	0	0	2
25%	9	16	10	8	10	12	18	10	17	2	4	5
50%	26	26	32	19	22	24	27	42	34	10	9	12
75%	39	42	46	46	44	37	39	64	59	40	19	27
90%	80	72	85	59	62	54	52	89	77	58	42	45

Tab.n°2.Azzaba (1980-81/ 2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	0	3	15	10	4	6	7	7	5	0	0	0
25%	2	9	23	17	14	23	20	11	10	1	0	0
50%	10	25	40	30	36	35	30	30	22	6	0	2
75%	31	50	62	56	62	48	50	59	39	11	5	5
90%	48	77	76	84	77	79	67	75	62	16	7	11

Tab.n°3.Sefrou (1980-81/2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	0	5	26	17	4	16	8	8	5	0	0	0
25%	1	12	36	23	15	28	21	21	14	2	0	0
50%	10	35	60	46	45	58	46	44	28	6	3	2
75%	31	52	92	108	84	89	80	74	54	17	7	5
90%	52	88	126	143	106	126	102	104	73	29	12	12

Tab.n°4.Bab Ouender (1980-81/ 2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	0	7	12	15	4	4	8	16	5	0	0	0
25%	2	20	44	30	17	29	27	38	10	0	0	0
50%	11	49	85	80	80	75	56	74	27	1	0	0
75%	21	82	178	180	132	147	80	113	39	6	1	3
90%	44	114	225	228	218	179	145	135	99	14	5	7

Tab.n°5.Jbel Ouedka (1980-81/ 2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	1	16	27	42	4	12	17	19	3	0	0	0
25%	3	28	109	61	34	52	57	82	15	0	0	0
50%	19	97	196	119	156	162	124	160	51	5	0	0
75%	42	159	318	265	263	264	181	219	113	18	1	9
90%	76	187	437	524	415	338	263	299	150	33	6	16

Tab.n°6.Tabouda (1980-81/2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	1	2	11	8	0	0	6	3	1	0	0	0
25%	2	11	24	15	5	9	11	11	5	0	0	0
50%	6	23	34	24	26	24	18	21	11	1	0	0
75%	16	29	43	47	41	31	30	30	24	7	1	1
90%	24	37	91	57	62	49	49	44	27	19	2	3

Tab.n°7.Ain Aicha (1980-81/2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	0	3	9	19	2	9	10	10	2	0	0	0
25%	2	13	29	29	16	31	29	25	9	0	0	0
50%	7	41	64	45	68	57	46	42	18	2	0	0
75%	25	72	124	129	105	110	64	87	38	6	2	3
90%	41	95	172	164	182	141	137	126	76	32	4	7

Tab.n°8.Bab Marzouka (1980-81/ 2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	1	3	17	11	8	8	12	20	6	0	0	0
25%	3	19	43	28	20	39	29	33	12	1	0	0
50%	13	33	77	51	64	59	55	59	28	3	0	1
75%	30	63	130	95	108	99	77	104	42	7	2	5
90%	41	101	152	152	142	139	157	150	73	15	5	6

Tab.n°9.Taza (1980-81/ 2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	0	6	18	12	6	3	9	16	4	0	0	0
25%	1	14	46	23	23	26	19	34	11	0	0	0
50%	9	33	74	52	71	58	46	61	22	1	0	0
75%	24	58	148	129	106	102	72	89	32	5	0	0
90%	36	94	181	166	168	159	144	125	65	11	5	5

Tab.n°10.Fés (1980-81/2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	0	2	11	11	2	4	7	1	0	0	0	0
25%	0	12	32	16	21	26	17	17	7	0	0	0
50%	3	26	70	44	51	48	32	35	15	2	0	0
75%	13	55	98	93	92	80	57	64	31	10	0	0
90%	36	95	114	137	113	95	81	101	60	17	1	1

Tab.n°11.Dar Al Arsa (1980-81/2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	0	1	9	9	1	4	13	6	2	0	0	0
25%	0	14	31	22	17	18	19	20	9	0	0	0
50%	7	31	61	41	54	48	37	39	17	2	0	0
75%	15	53	111	95	92	65	62	67	37	9	1	1
90%	37	82	126	155	113	103	103	91	62	16	2	4

Tab.n°12.O Soltane (1980-81/ 2013-14) :

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
25%	0	1	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0
50%	1	3	4	6	7	5	6	6	3	1	0	1
75%	4	4	7	18	14	22	16	12	7	3	1	1
90%	8	9	14	32	41	29	22	17	10	6	3	3

Tab.n°13.M Belksiri (1980-81/2013-14):

%	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Ao
10%	0	6	19	12	7	7	4	9	2	0	0	0
25%	1	22	39	21	14	26	15	21	5	0	0	0
50%	8	47	81	53	61	44	37	44	15	1	0	0
75%	20	78	120	129	105	96	64	68	34	7	0	2
90%	38	114	152	169	131	149	95	88	64	11	1	6

Partie 2 : Annexe. n° 2.Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée :

Tab. n°1. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à Azzaba en mm.

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 - 99,9	0	0	0	0	54	0	0	70	0	0	0	0	124
20 - 49,9	144	346	356	231	322	138	155	244	224	54	0	0	2214
10 - 19,9	228	395	386	365	331	315	318	283	217	42	28	35	2943
6 - 9,9	110	201	236	248	233	231	167	184	182	36	30	15	1873
3 - 5,9	79	100	147	231	162	198	155	247	124	73	23	34	1573
0,1 -2,9	48	60	104	83	80	89	90	89	60	28	17	11	759

Tab. n° 2. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à Ait khabache en mm.

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
50 - 99,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 - 49,9	56,7	42,6	110,2	50,3	0	20,1	24,4	100,7	132,9	161,1	72,9	115,4	887,3
10 - 19,9	116,1	109,8	114,1	13,8	68,1	0	93,9	271,2	190,3	174,8	58,3	63,4	1273,8
6 - 9,9	105,8	38,8	66,4	44,9	71	110,4	145,3	93,4	84,1	86,3	34,7	36,8	917,9
3 - 5,9	86,8	111,6	99,1	82	77	131,2	126,7	95,1	80,8	46,6	72,6	54,6	1064,1
0,1 -2,9	53,6	50,4	65,4	72,1	40,4	59,5	63,3	53,4	77,2	32,5	41,8	44,1	653,7

Tab. n° 3. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à Bab Marzouka en mm .

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 - 99,9	0	0	318,7	232,8	269,8	0	101,4	179,1	0	0	0	0	1101,8
20 - 49,9	120	465,2	1031,7	421,1	897,6	601,3	802,9	504	117,4	29,4	0	0	4990,6
10 - 19,9	155,5	362,7	619,9	272,4	401,6	437,5	666,2	840,2	444,2	61,3	0	13,5	4275
6 - 9,9	172,7	188,1	443,8	400,6	322,6	336,5	259,2	326,4	238,6	34	0,4	15	2737,9
3 - 5,9	82,4	196,2	144,7	207,2	231,5	250,3	173	129,2	151,9	44,7	6,6	15,4	1633,1
0,1 -2,9	130,3	69,4	108,4	106,5	83,3	78,5	86,5	99,3	70,5	30,2	14,8	21,5	899,2

Tab. n° 4. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à Bab Marzouka en mm.

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 - 99,9	50	67	401	279	125	0	60	136	0	0	0	0	1118
20 - 49,9	89	614	890	956,7	805,5	580	434	452	265	22	0		5108,2
10 - 19,9	169	364	670	782	725,3	658,3	620,3	582,4	247	44	0	20	4882,3
6 - 9,9	83	177	291	150,4	544,3	167,2	248	240,4	172,7	15	9	8	2106
3 - 5,9	73	94,3	211	188	168,2	164,3	149,3	185,7	126,7	42	0	8	1410,5
0,1 - 2,9	45	57,2	93	83,2	78,1	81	57	105,9	53,3	16	4	3	676,7

Tab. n° 5. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à Bab Echehoub en mm .

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
50 - 99,9	0	118	455	389	190	547	124	54	0	0	0	0	1877
20 - 49,9	56	291	587	567	487	561	432	302	134	0	0	0	3417
10 - 19,9	76	261	223	258	376	310	270	276	158	0	0	0	2208
6 - 9,9	35	90	134	115	54	81	89	126	95	7	0	6	832
3 - 5,9	44	68	41	117	92	68	64	61	29	23	0	16	623
0,1 - 2,9	16	35	45	40	32	34	34	33	26	6	4	7	312

Tab. n° 6. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à Bab Ouender en mm.

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 - 99,9	50	57	201	279	125	100	55	111	0	0	0		978
20 - 49,9	70	514	790	756,7	605,5	380	234	152	165	0	0	0	3667,2
10 - 19,9	269	364	570	682	625,3	558,3	420,3	382,4	247	44	0	0	4162,3
6 - 9,9	93	177	291	450,4	544,3	267,2	248	240,4	172,7	40	9	8	2541
3 - 5,9	73	100	211	200	168,2	190	150	160	126,7	60	6	5	1449,9
0,1 - 2,9	50	60	111	90	78,1	88	55	120	60	16	4	1	733,1

Tab. n° 7. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à Jbel Ouedka en mm.

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	129	1615	1120,2	1075,2	328,8	117,8	103,5	0	0	0	0	4489,5
50 - 99,9	173,8	610,3	3087,7	1424,5	1845,7	1839,7	855,2	816,9	581,3	0	0	53,2	11288,3
20 - 49,9	307,4	977,7	2343,3	2218,7	1246,3	1521,9	1489	2240,5	818,9	74,8	0	168,5	13407
10 - 19,9	193,5	568,3	716,9	658,1	37,7	1042,8	555,5	818	513,2	116,5	0	70,7	5291,2
6 - 9,9	92	129,2	278,4	672,5	270,6	183,9	123,6	357,6	481,5	47,5	6,2	26,1	2669,1
3 - 5,9	41,9	122,4	135,3	137,5	109,7	178,8	105,9	226,8	206,3	23,6	21,9	27,9	1338
0,1 - 2,9	124,7	117,7	89,2	95	101,2	84,6	95	107,8	108,5	25,4	17,6	43,2	1009,9

Tab. n° 8. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à Oueljet Soltane en mm.

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 - 99,9	114	0	0	0	108,3	0	168,3	78,9	0	0	0	0	469,5
20 - 49,9	318,1	256,2	591	855	808,4	487,8	377,2	237,4	147,8	83,7	0	0	4162,6
10 - 19,9	108,7	341,8	629,4	672,6	631,7	695,7	662,4	511,3	312	78	0	15	4658,6
6 - 9,9	47,3	125,3	146,9	307,6	311,3	296	211,4	204,11	165,8	0	9,5	29,1	1854,31
3 - 5,9	40,5	73,5	135,1	186,2	147,9	222,3	168,5	222,7	103	9,2	13,6	22,8	1345,3

0,1 -2,9	29,5	70,5	90,9	75,4	107,2	94,2	83,4	102,4	60,6	26,9	5,4	11,8	758,2

Tab. n° 9. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à Sidi Mokhfi en mm.

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 - 99,9	111	0	60	0	80	0	187	0	0	0	0	0	438
20 - 49,9	118,1	256,2	491	955	1011	587,8	477,2	337,4	147,8	83,7	0	0	4465,2
10 - 19,9	90	241,8	529,4	572,6	631,7	595,7	562,4	511,3	212	78	0	15	4039,9
6 - 9,9	80	225,3	246,9	307,6	411,3	296	311,4	304,1	265,8	0	7	12	2467,41
3 - 5,9	50,5	73,5	135,1	186,2	247,9	322,3	268,5	222,7	103	9,2	11	2	1631,9
0,1 -2,9	39,5	70,5	100	75,4	120	94,2	70	102,4	30	26,9	4	23	755,9

Tab. n° 10. Décomposition du régime pluviométrique en apports d'intensité donnée à M Belksiri en mm .

Classes d'intensité	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A	Année
Plus 100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 - 99,9	54	279	251	302	0	95	0	0	60	0	0	0	1041
20 - 49,9	125	455	417	847	1109	598	458	422	237	0	0	0	4668
10 - 19,9	146	364	702	281	365	651	493	190	196	49	0	38	3475
6 - 9,9	63	176	164	257	263	229	154	184	172	13	0	7	1682
3 - 5,9	49	155	216	106	149	168	111	185	101	15	6	5	1266
0,1 -2,9	26	62	88	68	89	69	85	76	44	13	2	3	625

Partie 2: Annexe. n°3. Le régime probable de l'Oued Sebou et de ses principaux affluents.

Tab.n°1.Azzaba (1980-81/2011-12):

%	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
10	3	2,5	3	4	4	8	9	7	7	5	3	2
25	4	4	5	5	10	11	12	12	13	6	4	3
50	5	6	6	10	12	18	18	18	16	10	6	5
75	9	9	11	16	20	23	32	33	33	13	8	6
90	10	16	17	20	40	54	68	44	44	19	10	10

Tab.n°2.Bab Echehoub (1980-81/ 2011-12):

%	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
50	0	0	1	2	2	2	2	2	0	0	0	0
75	0	0	3	6	9	8	4	2	1	0	0	0
90	3	46	8	13	18	44	16	6	4	4	0	2

Tab.n°3. Bab Marzouka (1980-81/2011-12):

%	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	2	1	1	1	1	0	0	0	0
50	0	0	1	4	2,5	2,5	2	2	1	0	0	0
75	0	1	3	9	14	11	8	6	2	0	0	0
90	4	4	5	22	27	44	20	9	5	1	1	1

Tab.n°4. El Kouchet (1980-81/2011-12):

%	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
10	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0
25	0	0	1	1	3	4	2	2	0	0	0	0
50	0	1	2	6	5	14	9	5	1	1	0	0
75	1	2	4	15	12	16	11	8	5	2	1	0
90	3	5	14	21	34	58	37	14	7	4,5	2	1

Tab.n°5. Ain Aicha (1980-81/2011-12):

%	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
10	0	0	1	0	0	0	0	6	1	0	0	0
25	0	1	2	5	5	5	5	10	3	1	0	0
50	1	2	9	20	40	35	30	16	10	3	1	1
75	2	4	32	90	70	50	60	40	18	6	2	2
90	7	10	88	155	160	190	88	64	54	17	6	4

Tab.n°6. B Ouender (1980-81/2011-12):

%	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
10	0	0	0	2	2	2	2	3	2	0	0	0
25	0	1	3	4	4	3	4	4	3	1	0	0
50	1	1	4	16	12	14	12	9	5	2	1	0
75	1	3	15	40	34	24	18	24	10	3	1	1
90	4	3	40	64	74	90	56	31	26	4	4	3

Tab.n°7. M Belksiri (1980-81/2011-12):

%	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
10	7	6	7	15	10	10	10	10	8	12	10	10
25	8	8	16	20	26	20	20	15	14	14	15	15
50	22	24	35	40	80	70	60	40	40	30	30	25
75	36	36	50	140	180	180	100	90	70	40	44	40
90	62	96	120	340	340	520	300	150	180	70	84	85

Tab.n°8. Dar Al Arsa (1980-81/2011-12):

%	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
10	2	3	3	3	3	4	3	3	2	1	1	1
25	3	5	4	5	4	5	4	4	3	2	2	2
50	6	7	6	9	6	7	7	9	7	5	5	6
75	7	8	8	11	14	18	20	15	14	13	8	7
90	10	16	12	18	19	31	46	28	24	15	11	9

Tab.n°9. O Soltane (1980-81/2011-12):

%	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
10	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
25	1	1	5	5	5	3	4	4	5	1	0	1
50	6	6	15	25	30	30	20	16	10	6	3	3
75	11	13	40	50	70	100	73	43	25	18	12	11
90	22	26	70	150	180	190	140	148	70	40	31	29

Partie 3 : Annexe. n°4. Régime des crues de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.

Oueds	Stations	Période d'observation	Durée des crues	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Ao	Nb annuel
Haut Sebou	Azzaba	1957-58/2011-12	1-2 jrs	9	10	10	15	8	8	15	26	6	5	1	1	114
			3-4 jrs			1	3	3	5	10	5	2				29
			5-6 jrs				1	4	3	3	2	2	1			16
			7-8 jrs							3	2	1				6
			plus de 9 jrs					2	2	2	2	1				9
			Nb des crues	9	10	11	19	17	18	33	37	12	6	1	1	174
			%	5,2	5,7	6,3	10,9	9,8	10,3	19,0	21,3	6,9	3,4	0,6	0,6	100
Inaouene	B Marzouka	1970-71/2011-12	1-2 jrs	5	8	13	15	16	14	21	15	9	2			118
			3-4 jrs		2	1	5	9	9	9	4	2				41
			5-6 jrs		1		1	2	4	4	1	1				14
			7-8 jrs				4	2	2	1		1				10
			plus de 9 jrs				1	7	6	5	3					22
			Nb des crues	5	11	14	26	36	35	40	23	13	2	0	0	205
			%	2,4	5,3	6,8	12,6	17,5	17,0	19,4	11,3	6,3	1,0	0,0	0,0	100
Inaouene	El Kouchet	1975-76/2001-02	1-2 jrs	4	4	9	12	15	8	6	8	5				71
			3-4 jrs		2	1	2	6	2	4						17
			5-6 jrs				1	1	3	1	1	1				8
			7-8 jrs													0
			plus de 9 jrs				1	2	8	4	2	2				19
			Nb des crues	4	6	10	16	24	21	15	11	8	0	0	0	115
			%	3,5	5,2	8,7	13,9	20,9	18,3	13,0	9,6	7,0	0,0	0,0	0,0	100
Lebene	Tissa	1985-86/2010-11	1-2 jrs	2	6	14	13	12	12	11	4	4				78
			3-4 jrs			1	4	4	2	1	1					13
			5-6 jrs				4	2	2		2					10
			7-8 jrs				1	1								2
			plus de 9 jrs					4	6	3						13
			Nb des crues	2	6	15	22	23	22	15	7	4	0	0	0	116
			%	1,72	5,17	12,93	18,97	19,83	18,97	12,93	6,03	3,45	0,00	0,00	0,00	100

Ouergha	Bab Ouender	1957-58/2011-12	1-2 jrs	1	4	29	34	23	20	19	21	11	5			167
			3-4 jrs		2	3	8	9	4	5	6	1				38
			5-6 jrs	1		1	7	5	4	4		2			1	25
			7-8 jrs			1	5	3	4	3	2	2				20
			plus de 9 jrs				4	7	9	19	4	1				44
			Nb des crues	2	6	34	58	47	41	50	33	17	5	0	1	294
			%	0,68	2,04	11,56	19,73	15,99	13,95	17,01	11,22	5,78	1,70	0,00	0,34	100
Aoulai	Ghafsai	1980-81/2001-02	1-2 jrs		1	5	9	15	5	3	5	1				44
			3-4 jrs			3	2	4	2	2						13
			5-6 jrs			1	1	1	4		1	1				9
			7-8 jrs				1	2		1						4
			plus de 9 jrs			1	2	3	2	1		1				10
			Nb des crues	0	1	10	15	25	13	7	6	3	0	0	0	80
			%	0	1,25	12,5	18,75	31,25	16,25	8,75	7,5	3,75	0	0	0	100
Amzaz	Galaz	1983-84/2011-12	1-2 jrs		2	11	12	15	9	9	10	1				69
			3-4 jrs			7	4	8	8	4		2				33
			5-6 jrs				1	4	1							6
			7-8 jrs			2	3		1							6
			plus de 9 jrs				1	1	3							5
			Nb des crues	0	2	20	21	28	22	13	10	3	0	0	0	119
			%	0,0	1,7	16,8	17,6	23,5	18,5	10,9	8,4	2,5	0,0	0,0	0,0	100
Ouergha	Ain Aicha	1980-81/2011-12	1-2 jrs		1	8	9	14	5	8	7	5				57
			3-4 jrs			5	5	6	6	2	3	2				29
			5-6 jrs				1	2		2		1				6
			7-8 jrs			1	2	1								4
			plus de 9 jrs				5	3	5	3						16
			Nb des crues	0	1	14	22	26	16	15	10	8	0	0	0	112
			%	0,0	0,9	12,5	19,6	23,2	14,3	13,4	8,9	7,1	0,0	0,0	0,0	100
Moyen Sebou	Dar Al Arsa	1970-71/2011-12	1-2 jrs	3	10	4	5	7	10	9	10	4	1	1		64
			3-4 jrs	1	1		1		6	4	8	1			1	23
			5-6 jrs				1	1	1	3	2					8

			7-8 jrs					1	2	3		1			7
			plus de 9 jrs					3	4	6	7	5	1		26
			Nb des crues	4	11	4	7	12	23	25	27	11	2	1	128
			%	3,1	8,6	3,1	5,5	9,4	18,0	19,5	21,1	8,6	1,6	0,8	100
Beht	O Soltane	1991-92/2011-12	1-2 jrs	2	1	3	7	7	3	5	1				29
			3-4 jrs					1	2						3
			5-6 jrs				1								1
			7-8 jrs												0
			plus de 9 jrs						1						1
			Nb des crues	2	1	3	8	8	6	5	1	0	0	0	34
			%	5,9	2,9	8,8	23,5	23,5	17,6	14,7	2,9	0,0	0,0	0,0	100
Gharb	M Belksiri	1967-68/2011-12	1-2 jrs	0	3	5	12	8	9	7	6	3			53
			3-4 jrs			1	4	9	6	3	3	3			29
			5-6 jrs				3	4	4	4		2			17
			7-8 jrs			1	1			1	1	1			5
			plus de 9 jrs				6	9	10	7	2				34
			Nb des crues	0	3	7	26	30	29	22	12	9	0	0	138
			%	0,0	2,2	5,1	18,8	21,7	21,0	15,9	8,7	6,5	0,0	0,0	100

Partie 3 : Annexe. n°5. Questionnaire sur la manifestation, Perception et mode de gestion des inondations dans la plaine du Gharb (2017).

UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN
ABDELLAH

FACULTE DES LETTRES ET
SCIENCES HUMAINES, SAIS - FES



LABORATOIRE D'ANALYSES GEO –
ENVIRONNEMENTALES ET
D'AMENAGEMENT,
DEVELOPPEMENT DURABLE

CED : LANGUE, PATRIMOINE ET
DEVELOPEMENT SPATIAL

Ce questionnaire met la lumière sur le phénomène des crues et des inondations dans le bassin versant de Sebou : leur origine, leur fréquence et leur impact sur la plaine de Gharb. Nous aimerions connaître et évaluer les effets et la perception de la population du Gharb sur le risque des inondations, afin de gérer durablement ces risques dans cette région et de contribuer à l'amélioration de la recherche scientifique. Nous vous invitons à remplir ce formulaire.

Questionnaire à adresser aux populations du Gharb.

I-IDENTIFICATION :

- 1- Région :
- 2- Arrondissement :.....commune
- 3- Quartier /Douar:.....
- 4- Nom et prénom de l'enquête :.....
- 5- Age :.....- Sexe :.....- Profession

II – CARACTERISTIQUES DES HABITATIONS :

- 6- Statut de votre habitat.
Etes –vous : ☐ - Propriétaire ; ☐ - Locataire ; ☐ - Héritier ;
- 7- L'endroit est- il situé dans une zone :
☐ - marécageuse ; ☐ - sur un terrain plus élevé ; ☐ - Au bord de la rivière ;
- 8- Depuis combien de temps habitez-vous dans cette commune ?
☐ - depuis votre naissance ; ☐ - depuis moins de 5 ans ☐ Entre 5 et 10 ans
☐ 10 – 20 ans ☐ 20 – 30 ans ☐ + de 30 ans
- 9- Les constructions sont –elles bâties en matériaux :
☐ - Solides ; ☐ - semi- solides ; ☐ - précaires ;
- 10- Votre quartier /Douar connaissait-il les inondations au début de sa création ?
☐ - Oui ☐ - Non.
- 11- Savez-vous que vous êtes dans un quartier/Douar inondable avant d'installer ?
☐ - Oui ☐ - Non
- 12- Si oui, comment l'avez –vous su ?
☐ Mon logement a été déjà inondé ;
☐ J'ai été informé par (commune - Agence hydraulique de Sebou -familles) ;
☐ Autre (veuillez préciser)

III- CAUSES DES INONDATIONS :

- 13- Selon vous, les inondations sur votre quartier /Douar sont causées par :
☐ Le débordement de la nappe phréatique ;
☐ Le débordement de cours d'eau (Sebou) et ses affluents ;
☐ Les ruissellements pluviaux ; ☐ - Autres.....
- 14- Selon vous, les dommages des inondations sont causés par :(classer les propositions suivantes de plus prioritaire (valeur 1 à 8) :
☐ L'imperméabilisation des sols (l'eau ne peut pas infiltrer) ;
☐ Le manque d'information des populations installées en zone inondable ;
☐ L'inefficacité de la gestion de crise (surveillance, alerte, intervention ;
☐ Une insuffisance des ouvrages de protection ;
☐ L'inadaptation des constructions aux inondations ;
☐ L'urbanisation en zone inondable ;
☐ Le manque d'entretien des rivières ;
☐ L'infrastructure hydro-agricole

IV- AMPLEURS ET MANIFESTATIONS DES INONDATIONS :

- 15- Avez-vous connu d'inondations depuis que vous êtes dans le quartier/Douar ?
☐ - Oui ☐ - Non
- 16- Si oui, depuis quand vous connaissez l'inondation dans votre quartier /douar ?

- ☐ - depuis votre naissance ; ☐ - depuis moins de 5 ans ☐ -Entre 5 et 10 ans
☐ -Entre 10 et 20 ans ☐ -Entre 20 – 30 ans ☐ + de 30 ans
 17- Avez-vous jamais perdu quelques choses lors des inondations ☐ - Oui ☐ -Non

18- Si oui, qu'en avez –vous perdu ?

- ☐ Des personnes ;
☐ Des cultures ;
☐ Des animaux ;

19- Combien de temps, l'inondation dure-t-elle?

- ☐ -moins d' 1 jour ; ☐ - Entre 1à 5 ; ☐ - Entre 5 à 10 ; ☐ - Entre 10 à 20 ; ☐ - plus de 20 jours ;

20- Regagnez-vous votre ancienne demeure après les inondations ? ☐ - Oui ☐ -Non

21- Si oui, dans quel état vous la trouvez ? ☐ -En bon état ; ☐ - détruit ;

22- Les inondations sur votre commune sont :

- ☐ Extrêmement fréquentes (1fois/an à plusieurs fois /an en moyenne) ;
☐ Très fréquentes (1 fois tous les 2 à 5 ans en moyenne) ;
☐ Fréquentes (1 fois tous les 10 ans en moyenne) ;
☐ Rares (1 fois tous les 50 ou 100 ans en moyenne) ;
☐ Exceptionnelles ; ☐ - Inexistantes ; ☐ - Ne sait pas ;

23- Plus précisément, les lieux suivants sont-ils situés dans une zone à risque d'inondations ?

- ☐ Le trajet entre votre habitation et votre lieu de travail ;
☐ Votre lieu de travail ;
☐ Votre habitation ;
☐ L'école de vos enfants ;
☐ Le trajet entre votre habitation et l'école de vos enfants ;
☐ Les terres agricoles ;

24- Les inondations ont-elles entraîné des dégâts pour vos biens:

- ☐ Très importants ; ☐ Pas importants ; ☐ Importants ;

25- Vous pouvez indiquer les dégâts des inondations qui touchent votre commune ?

- ☐ Infrastructures hydro-agricoles
☐ Les terres cultivés
☐ Les humains
☐ Les animaux

29- Si les terres cultivées, veuillez préciser le type de culture : ☐ -Les pommiers ; ☐ - Les oranges ;
☐ -blés ; ☐ -Autres, veuillez préciser

30 - Estimez-vous le coût des dommages des inondations dans votre commune ?

- ☐ - Très élevé ; ☐ - élevé ; ☐ - Peu élevé ; ☐ - Ne sait pas ;

V- PERCEPTION DE RISQUE, ET MODE DE GESTION :

31- Vous sentez que vous protégez contre les inondations ? ☐ - Oui ; ☐ - Non ;

32- Si oui, pourquoi ?

- ☐ Mon logement /Activité sont protégés par une digue ou autres infrastructures ;
☐ Je connais les consignes de sécurité et les appliquer ;
☐ En cas d'inondation, j'alerte sur le champ la sécurité civile ;
☐ Je n'habite pas et ne travaille pas en zone inondable ;
☐ Autre (veuillez préciser)

33- Si non, pourquoi ?

- ☐ Manque d'ouvrage de protection ;
☐ Contre l'inondation, on ne peut en rien faire ;
☐ Temps de réaction trop court ;
☐ Autre (veuillez préciser).....

34- De par ses caractéristiques (type de construction, population, zone basse, écoles, imperméabilisation, ...) votre secteur vous semble-t-il vulnérable face aux inondations ?

- ☐ -Très vulnérable ; ☐ - Vulnérable ; ☐ - Pas vulnérable ; ☐ - Ne sait pas ;

35- Pendant le temps des inondations, que faites –vous pour lutter contre elles ?

- ☐ -Faire des digues ;
☐ -Evacuation des eaux par moyen de pompe ;
☐ -Abandonner la demeure ;
☐ -Autres

36- Savez-vous un plan de lutte contre les inondations de la plaine du Gharb ?

- ☐ Non, je ne le connais pas ; ☐ Oui, mais je sais seulement qu'il existe ;
☐ Oui, mais je ne le connais que vaguement ;
☐ Oui, je le connais ;

37- Si oui, pensez-vous que les informations transmises sont :

- ☐ -Suffisantes ; ☐ -Insuffisantes ; ☐ -Rares ;

38- Êtes-vous informés sur les risques des inondations sur terrain ? ☐ - Oui ; ☐ - Non;

39- Si oui, comment ?

- ☐ Par la commune ;
- ☐ Par des habitants vivant depuis longtemps ici ;
- ☐ Par m'expérience des inondations ;
- ☐ Par le plan de protection contre des inondations ;
- ☐ Par mass média ;
- ☐ Par des agents de l'agence de bassin hydraulique de Sebou ;
- ☐ Autre (Veuillez préciser).....

40- À propos des risques des inondations, pouvez-vous évaluer les propositions allant de 1 à 3 qui exprime, selon vos propres critères, l'importance d'avoir des informations pour :

1- Très importants

2- Importants

3-Pas importants ;

- ☐ L'identification des zones exposées aux risques ;
 - ☐ Le degré auquel je suis exposé ;
 - ☐ Les conséquences et les possibles dommages dues à l'homme, à leurs biens et à l'environnement ;
 - ☐ Les plans d'urgence prévus par les autorités publiques ;
 - ☐ Les procédures d'alerte pour la population en cas de crise ;
 - ☐ Les mesures exceptionnelles à adopter ;
 - ☐ Les mesures préventives que la population doit adopter pour se protéger ;
 - ☐ L'accès aux informations concernant la gestion des crises ;
 - ☐ L'accès aux informations concernant les risques auxquels je suis exposé ;
 - ☐ Les méthodes d'information en direction de la population ;
- 41- Quelles seraient à votre avis ,les solutions pour réduire le risque d'inondation au mieux vivre ? (classer de 1 à 10).
- ☐ Laisser les rivières naturellement débordées ;
 - ☐ Renforcer ou créer des ouvrages des protections ;
 - ☐ Aucune, ou ne peut pas éviter les impacts d'inondations ;
 - ☐ Sensibiliser et former les habitants au risque d'inondation ;
 - ☐ Mieux entretenir la rivière ;
 - ☐ Mieux organiser l'alerte et la gestion de crise en cas d'inondation ;
 - ☐ Adapter votre logement pour faire face aux changements climatiques;
 - ☐ Mieux réglementer et maîtriser l'urbanisation en zone inondable ;
 - ☐ Mieux surveillez et prévoir les inondations ;
 - ☐ Autre (veuillez préciser).....