AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Université Sultan
Moulay Slimane
F.L.S.H Béni-Méllal

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

TOME I

Thèse de Doctorat de l'Université Sultan Moulay Slimane et l'Université de Lorraine

Centres d'Etudes Doctorales : ***Urbanisation et Aménagement Urbain***

École doctorale : ***Fernand Braudel (LOTERR Metz)***

Discipline : Géographie

Les risques hydrologiques d'inondations et la problématique d'aménagement des territoires de piémont : Cas du "dir" de Taghzirt à Zaouit Echiekh, Province de Béni-Méllal, Maroc

Préparée par :

Bouazza SALLAK

Thèse réalisée en co-tutelle sous la direction de

Yahia El KHALKI, Université de Béni-Méllal
Emmanuel GILLE, Université de Lorraine
Sébastien LEBAUT, Université de Lorraine

Membres du jury

Yahia El KHALKI *Professeur de l'Enseignement Supérieur à l'Université de Béni-Méllal*	**Directeur**
Emmanuel GILLE *Maître de conférences HDR à l'Université de Lorraine*	**Directeur**
Sébastien LEBAUT *Maître de conférences à l'Université de Lorraine*	**Co-directeur**
Aude NUSCIA TAÏBI *Maître de conférences HDR à l'Université d'Angers*	**Rapporteur**
Farid JAA *Professeur de l'Enseignement Supérieur à l'Université de Béni-Méllal*	**Président**
Rachida NAFAA *Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Mohammedia*	**Rapporteur**
Khalid OBDA *Professeur de l'Enseignement Supérieur à l'Université de Fès*	**Rapporteur**

Thèse financée par le programme 'PHCTOUBKAL

2018/2019

Les risques hydrologiques d'inondations et la problématique d'aménagement des territoires de piémont : Cas du "dir" de Taghzirt à Zaouit Echiekh, Province de Béni-Méllal, Maroc

Sommaire

PREMIERE PARTIE: CONTEXTE PHYSIQUE ET CONTRASTES SPATIOTEMPORELS DES PRECIPITATIONS 9

CHAPITRE 1 : CADRE, PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE, OBJECTIFS ET METHODOLOGIE 11
CHAPITRE 2 : BASSINS VERSANTS TEST ET LEUR REPRESENTATIVITE DANS LE CONTEXTE DU "DIR" DE L'ATLAS DE BENI-MELLAL 30
CHAPITRE 3 : DONNEES PLUVIOMETRIQUES : CONTRASTES SPATIOTEMPORELS DES PRECIPITATIONS 62

DEUXIEME PARTIE : HYDROLOGIE ANALYTIQUE DES BASSINS VERSANTS TESTS : ETUDE HYDROLOGIQUE DE L'ALEA MENAÇANT LES AGGLOMERATIONS DE "DIR" DE BENI-MELLAL 84

CHAPITRE 4 : APERÇU HISTORIQUE DES CRUES TORRENTIELLES DANS LE "DIR" DE BENI-MELLAL 86
CHAPITRE 5 : LES BASSINS TEST : LA PRODUCTION DES DONNEES HYDROMETRIQUES 100
CHAPITRE 6 : CARACTERISATION DES CRUES TORRENTIELLES DANS LES BASSINS VERSANTS TEST 113
CHAPITRE 7 : L'APPORT DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE A LA GESTION DU RISQUE INONDATION 122

TROISIEME PARTIE : "DIR "DE BENI-MELLAL : VULNERABILITE AGGRAVEE . 135

CHAPITRE 8 : LA GESTION DES RISQUES DES INONDATIONS : CARACTERISATIONS ET ACTEURS 137
CHAPITRE 9 : LA POLITIQUE DE GESTION DES INONDATIONS : ACTEURS, INSTITUTIONS ET REGLEMENTATION 163
CHAPITRE 10 .....: EXTENSION URBAINE : FACTEURS D'AGGRAVATION DES INONDATIONS 190
CHAPITRE 11 .....: LA CULTURE DU RISQUE : CARACTERISATION ET PERCEPTION 222
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS : VERS UNE GESTION INTEGREE DES RISQUES INONDATIONS 246

Résumé :

Le tiers de la population mondiale, vit dans des espaces où les risques potentiels sont liés plus ou moins directement à la nature ; Les inondations, sont responsables de plus de la moitié des risques dommageables. À l'instar le risque inondation affecte les villes marocaines et plus particulièrement celles situées sur les piedmonts dir. Les agglomérations du "dir" de Béni-Méllal sont très menacée par les inondations. Ces catastrophes sont le fait de crues-éclair (flash flood) trouvant leur origine dans la structure des précipitations (intensités remarquables) et une topographie propice à la concentration des écoulements sur de petits bassins versants de forte pente.

Ce travail est une contribution opérationnelle à la connaissance du phénomène « crue-éclair » affectant les agglomérations du "dir" de Béni-Méllal dont l'objectif est l'amélioration de la résilience du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal face aux inondations et aux "crues-éclair".

À cause de l'absence des stations hydro pluviométriques, et vu la spécificité de dire comme une zone de transition, la démarche élaborée repose sur une étude fine des deux facteurs du risque, l'aléa et la vulnérabilité, sur des bassins versants représentatifs du domaine du "dir" de Béni-Méllal.

Notre approche, que l'on peut qualifier "l'hydrologique intégrée" considère l'aléa comme une solidarité hydrologique entre l'amont et l'aval ou plutôt la dépendance de l'aval vis-à-vis de l'amont. La gestion des risques dans le "dir" de Béni-Méllal, demande donc l'intégration des techniques hydrologiques modélisatrices et l'association des mesures non structurelles telles que, la conscience du risque, la réduction de la vulnérabilité, la maîtrise de l'occupation du sol, surtout la dynamique urbaine. Les solutions adoptées doivent être cohérentes entre elles. A cet égard, notre méthodologie s'articule sur la valorisation de données multi-sources. Elle s'appuie, d'un côté, sur une approche de l'hydrologie classique, qui consiste en l'étude analytique de « l'aléa historique » et l'étude hydrométrique dont les données hydrométriques et pluviométriques produites, seront utilisées pour la caractérisation de « l'aléa » et des crues torrentielles. Une approche hydrologique modélisatrice où les résultats seront utilisés pour la calibration et la validation d'une modélisation hydraulique et pour la production des cartes de risques.

D'un autre côté, elle vise à intégrer le contexte socio-économique et cultuel, le degré d'organisation de l'occupation du sol, et les politiques publiques de la gestion des risques…etc.

Mots clés : Risque d'inondation, "dir" de Béni-Méllal (Maroc), bassins versant de dir, et bassins versants test, caractéristiques physiographiques et climatiques, équipement des bassins test, crues éclaire, aléa hydrologique, modélisation hydrologique, vulnérabilité, culture des risques, gestion intégré des inondations.

Abstract:

The hydrological risks of floods and the problem of development of piedmont territories: Case of the piedmont of Taghzirt in Zaouit Echiekh, Province of Béni-Méllal , Morocco

One-third of the world's population lives in areas where potential risks are more or less directly related to nature. Floods are responsible for more than half of the damaging risks. Like other countries, the flood risk affects the Moroccan cities and especially those located on the piedmonts. For instance, the agglomerations of Béni-Méllal piedmonts are very threatened by floods. These disasters are the result of flash floods originating principally from a changing rainfall pattern (remarkable intensities) and a favorable topography conductive to the concentration of the flows on small watersheds of steep slope.

This study is an operational contribution to the knowledge of the "flood-lightning" phenomenon that is affecting the agglomerations of the "piedmont " of Beni-Mellal. Its objective is to identify the resilience of the Atlas “piedmont” of Beni-Mellal in the face of floods and "flash floods".

Because of the absence of hydro-rainfall stations, and the specificity of the study area considered as being a transition zone, the approach developed is based on a detailed study taking into account two risk factors, namely the hazard and the vulnerability...

Our approach, which can be described as "an integrated hydrological approach" considers the hazard as a hydrological solidarity between upstream and downstream or rather the dependence of downstream towards the upstream. Therefore, risk management in the piedmonts of Béni-Méllalrequires the integration of modeling hydrological techniques and the association of non-structural measures such as, risk awareness, vulnerability reduction, controlof soil occupation, especially urban dynamics. For this reason, the adopted solutions a must be coherent with each other. In this respect, our methodology is based on the valuation of multi-source data. It relie, on one hand, on a classical hydrology approach, which consists of the analytical study of "historical hazard"and the hydrometric study whose hydrometric and rainfall data will be used for the analysis. Characterization of "hazard" and flashfloods events (The results of this modeling hydrological approach will be used for the calibration and validation of hydraulic modeling and for the elaboration of risk maps. On the other hand, it aims at integrating the socio-economic and cultural context, the degree of organization of the occupation of the ground, and the public policies of the risk management ... etc.

Key words: Flood risk, Béni-Méllal piedmont (Morocco), drainage basins, and watersheds test, physiographic and climatic characteristics, equipment test basins, flash floods, hydrological hazard, hydrological modeling, vulnerability, risk culture, integrated flood management.

الملخص:

الفيضانات الطرق الوطنية كمخاطر طبيعية: التحديات والحلول

حالة الطريق الوطني رقم 1 بين بسكرة وتقرت كنموذج للدراسة، الشريعة، الوادي، الجزائر

تعتبر الفيضانات من المخاطر الطبيعية الأكثر ترددا في العالم، كما أنها تعتبر الخطر الطبيعي الذي يمس أكبر عدد من السكان في العالم. المدن المغرية هي الأخرى من بين هذه الظاهرة، حيث تتعرض العديد من المنشآت الحيوية لأضرار متباينة من الفيضانات، وتعتبر الطرق البرية التي تربط الجزائر بشكل عام والطريق الوطني رقم 1 بين بسكرة وتقرت من المنشآت التي تتعرض لهذه الظاهرة الطبيعية.

هذه الدراسة هي مساهمة إجرائية في تشخيص ظاهرة الفيضانات بالطريق الوطني رقم 1 بغية تعزيز قدرة هذه المنشآت على مواجهة هذه الظاهرة الطبيعية.

أمام غياب معطيات حول المناطق المعرضة للفيضانات، ونظرا لخصوصية الطرق التي تعبر عدة مناطق: طبيعية، اجتماعية، اقتصادية...، تم الاعتماد على المقاربة متعددة المخاطر: المنشأة والمحيط، وذلك في أحواض تجريبية تم اختيارها في بسكرة.

تم الاعتماد على مقاربة الظاهرة الفيضانات بالاعتماد على نماذج الانحدار اللوجستي التي تربط بين الظاهرة (النموذج الهيدرولوجي) والعوامل المؤثرة فيها (النموذج الهيدرولوجي)، من جهة وأخرى مرتبطة بخصائص الحوض والمنشأة المجاورة، والتي تم تحليلها في إطار نظام المعلومات الجغرافية والتي تسمح بتسيير المخاطر بشكل عام والفيضانات بشكل خاص.

في هذا السياق تم الاعتماد على مقاربة هيدرولوجية كسيناريو، من أجل التنبؤ بالتدفقات القصوى، الناتجة عن الأمطار الغزيرة، والتي تعتبر السبب الرئيسي في الفيضانات التي تهدد الطريق الوطني رقم 1، وكذا دراسة خصائص الأحواض التجريبية المختارة والتي تهدد الطريق الوطني رقم 1. ثم الاعتماد على مقاربة هيدرولوجية لتحديد التدفقات القصوى المحتملة على مستوى النموذج المختار والتي تعبر الطريق الوطني رقم 1.

من جهة أخرى تهدف هذه الدراسة إلى إعداد خريطة للحساسية والتي تسمح بتسيير مخاطر الفيضانات.

الكلمات المفتاحية:

الفيضانات- الطريق الوطني رقم 1- الأحواض التجريبية- الخصائص الفيزيوغرافية- الأحواض التجريبية- النماذج الهيدرولوجية- المنشأة- الطريق الوطني رقم 1.

Remerciements :

Rien ne vaut une sincère reconnaissance, envers toutes les personnes qui nous ont épaulés, chacune à sa façon. C'est pour moi, un réel plaisir de remercier toutes les personnes qui m'ont, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, permis, par leur soutien et leur collaboration de mener à bien ce travail. Voilà pourquoi, nous profitons de ce moment idéal, pour nous adresser tout spécialement à :

Mes directeurs de thèse, **Yahia El KHALKI** , **Emmanuel GILLE** et **Sébastien LEBAUT**, pour la qualité de leurs encadrement, tant sur le plan scientifique qu'humain, leurs encouragements, leurs enthousiasme et leur grande disponibilité, au cours de ces cinq années. J'ai été chanceux et heureux d'avoir comme directeurs de thèse des professeurs comme vous. Vos compétences, votre sérieux, votre générosité scientifique, votre gentillesse et vos implications dans ce travail m'ont beaucoup apporté, et je tiens à vous exprimer ma grande reconnaissance.

Merci cher professeur, **Yahia El KHALKI**, qui a mis sa confiance en mes capacités, en acceptant de diriger cette thèse, et qui a su me motiver, tout au long de ces années. Aucune expression ne pourra traduire, la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous.

Merci cher professeur, **Emmanuel GILLE** de me faire l'honneur d'accepter la direction de ce travail, et de m'avoir fait profiter de tes connaissances scientifiques. Votre expérience dans le domaine de l'hydrologie et de la modélisation, m'a été profitable.

Merci cher professeur, **Sébastien LEBAUT**, d'avoir assuré avec un dynamisme, sans faille l'encadrement de cette thèse. Merci de m'avoir apporté une aide précieuse au cours des différentes étapes, par vous conseils, par ton aide et ton savoir-faire, sur le terrain et au Labo. Je vous remercie encore pour votre totale compréhension des problèmes que j'ai dû affronter tout au long de la réalisation de ce travail. Les sorties de terrain, ainsi que les séjours à Metz. Aucune expression ne pourra traduire, la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous.

Il est également de mon devoir de remercier tous les professeurs de géographie a Béni-Méllal. J'insiste à les remercier chacun par son nom : M. Said **Arif**, M. Farif **Jaa**, M.**EL Ghachi** Mohamed, M. Abdelatif **Hafid**, M.**Idali** Mouhcine, M. Mohamed **Mayoussi**, M.**Madad** Mohamed, M. **Madi** Redouane, M.Ahmed **Oulom, Ribaa** Mohamed, Mme **Lmebaad** Touria, Mme Hanane **Redad,** J'ai l'honneur d'être parmi vos étudiants

J'adresse aussi mes sincères remerciements aussi, à tous les membres de "LOTERR" pour leur accueil chaleureux et d'avoir mis à ma disposition leurs compétences et connaissances. Je les remercie également pour leurs qualités scientifiques et humaines ainsi que leur modestie. J'insiste à les remercier chacun par son nom : **Luc Manceau**, **Didier Francois**, **DROGUE Gilles**, **MATHIS Denis**…

Un immense merci M. **EL Ghachi Mohammed,** pour sa disponibilité et ses conseils éclairés.
Un immense merci M. **Farid Jaa,** pour sa disponibilité et ses conseils éclairés.
Un immense merci M. **Said Arif,** pour sa disponibilité et ses conseils éclairés.
Je remercie vivement: M. **Ahmed Elkhider**, qui m'a beaucoup aidé dans le travail de terrain.
Je remercie vivement touts les membres de la coopération Franco-marocaine, PHC TOUBKAL, merci de m'avoir intégré au projet et également pour vos encouragements tout au long de ces cinq années.

A toute mes amis (**Chamkha** M, **El Bihi** Y, **Massaoudi** H, **Ait Kadour** M, **Anwar** O, **Makboul** H, **Hamri** H, **Kamal** A, **Ait Omar** T j'adresse mes sincères remerciements.

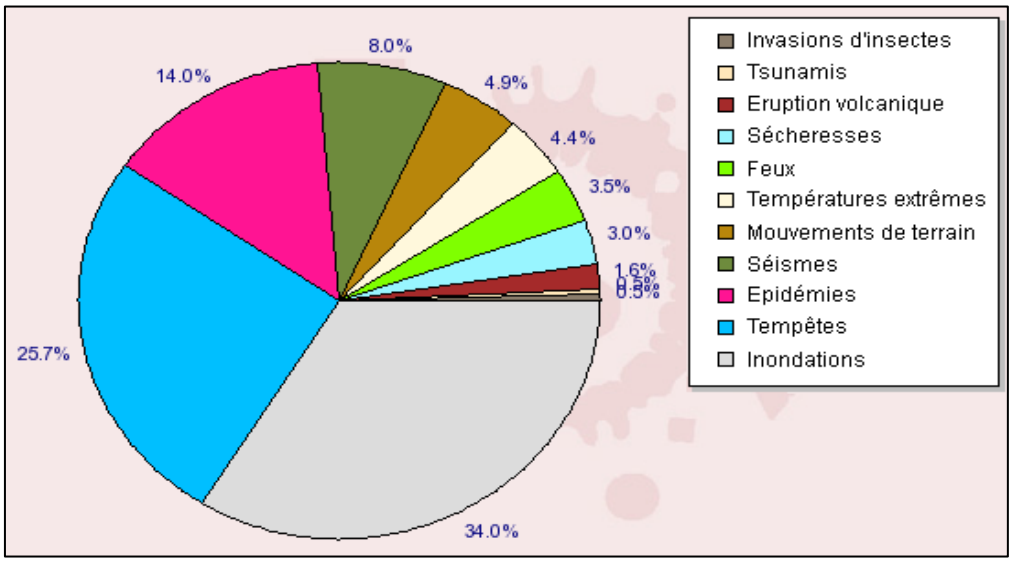
Je tiens aussi à présenter mes remerciements les plus distinguées aux membres de jury ; mes professeurs M. **Yahia EL KHALKI**, M**. Emmanul GILLE,** M**. Sébasatien LEBAUT.** M**. Khalid Obda.** M**. Farid JAA,** Mme**. Rachida NAFAA,** Mme **Aud NUSCIA TAIBI.**

A toute ma famille, j'adresse mes sincères remerciements.

Introduction générale :

Les relations entre l'homme et l'eau, depuis longtemps ont été marquées par le double sentiment d'attirance et de répulsion (Gout, 1993). Cette répulsion est justifiée par les impacts néfastes des inondations. Ces phénomènes représentent une calamité naturelle les plus répandue à la surface du globe, et touchent le plus grand nombre d'individus et leurs biens. En effet d'après les études réalisées par l'université " Catholique de Louvain ", et d'après la base de données internationales des catastrophes naturelles (International Disaster Database : www.em-dat.net), les inondations présentent 34 % de ces catastrophes (fig. 1.1). D'après la même source, sur une période allant de 2000 à 2016, plus de 339 millions de personnes ont été affectées par des inondations. Le Département des Affaires Humanitaires des Nations Unies a confirmé que la fréquence et les dégâts dus aux inondations sont de plus en plus importants, surtout à partir de la deuxième moitié du 20ème siècle. La dynamique urbaine mal maîtrisée, l'anthropisations des zones inondables et les changements climatiques sont les principaux facteurs expliquant cette tendance des inondations.

Figure 1. 1 : Types de catastrophes naturelles les plus répandues dans le monde.



Source :Type de catastrophes survenues dans le monde de 1990 à 2007, Crédit : EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium, 06/2007

Le Maroc n'échappe pas à cette tendance, car, durant les dernières années, il a connu une grande irrégularité spatio-temporelle des précipitations, induisant ainsi, de longues périodes de basses eaux prolongées et des inondations catastrophiques (Obda, 2008).

Ces inondations avec leurs dégâts matériels et humains, sont fréquentes durant les dernières années. Plusieurs régions et villes marocaines ont été menacées et sinistrées par des inondations ravageuses. Nous pouvons citer quelques événements historiques les plus dommageables, et qui sont gravés dans la mémoire collective des marocains :

- L'inondation de l'oued Agay à Sefrou, le 25septembre 1950, est un exemple éloquent (Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eaux et de l'Environnement, Département de l'Eau) ;
- Les inondations de l'Oued Ziz, le 5 novembre 1965 ont laissé plus de 25000 personnes

sans abri dans la vallée du Ziz (*(Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Département de l'Eau, 2005* /www.water.gov.ma).

- Les inondations de l'Oued Ourika le 17 août 1995 ont fait 238 morts et un coût de 80 Millions de Dirhams. L'oued Ourika a par ailleurs été confronté à une série d'inondations en 1964, 1965, 1968, 1969,1988, 1995 et 1999 (*Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Département de l'Eau, 2005* /www.water.gov.ma),
- Les inondations de 1996, touchant les villes de Mohammedia, Casablanca, El Jadida, Kenitra, Tanger, Béni-Méllal et Agadir, ont causés beaucoup de dégâts matériels : maisons effondrées, unités industrielles inondées, dégradation de plus de 2000 km de routes (*Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Département del'Eau,2005* /www.water.gov.ma).
- Les inondations de 2000 à Taza ont fait 40 morts)www.maghress.com/attajdid/44968),
- Les inondations de 2002, menaçant les villes de Mohammedia, Berrchid, Settat, Bouznika, Casablanca, Kénitra, Romani, Boulmane et Taza, ont laissé des dégâts matériels importants (Ministère *de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'environnement, Département 2002).*
- Les inondations d'Oujda en 2006 ont causé des dégâts matériels (maisons, infrastructure publique) et ont fait 3 victimes,
- Les inondations de 2008 dans plusieurs villes ont fait 43 victimes : 16 à Nadour, 5 à Errachidia, 2 à Midalt, 1 personne à Fès, 4 dans la Province de Boulmane, 5 à Tanger et 7 à Essaouira,
- Les inondations de Mars 2010 à Ait Hammou Abdessalem, commune de "dir" d'El-Ksiba a laissé 7 morts, 120 têtes de bétail et l'effondrement de plusieurs maisons,
- *Selon le Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement (2012)* les inondations de 2011 qui ont touché la ville de khénifra ont fait un mort et submergé 141 maisons,
- Le bilan des inondations au Maroc dressé par le Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement (2012) sur la période 1990 et 2010 est 1068 morts pour 146 000 personnes touchées.

Plus récemment, les inondations du 24 au 28 décembre 2014, ont impacté plusieurs provinces, et ont provoqué d'importants dommages : dans la province de Guelmim il y a eu plus de 47 victimes et 432 personnes touchées, ainsi que la destruction de 53 maisons et l'endommagement de toutes les routes, ce qui a nécessité l'intervention de l'armée pour rétablir les voies de communication. Le coût de cette intervention a été chiffré à 2,5 milliard de Dh. En tout cet épisode aura généré l'effondrement de plus de 200 maisons dont 140 dans la commune d'Ifrane dans l'Anti Atlas *)Targa-Aide et Zurich Assurances Maroc /2014 https://www.zurich.com)*.

Globalement, d'après le Plan National de Protection contre les Inondations (*Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement*, *2014*), le Maroc abrite 397 sites inondables, y compris les villes, centres et villages du "dir" de Béni-Méllal , la zone sur lequel porte ce travail de recherche, ce qui en fait un des sites les plus menacés au Maroc.

Première Partie : Contexte physique et contrastes spatiotemporels des précipitations

- Chapitre 1 : Cadre, problématique de l'étude, objectifs et méthodologie

- Chapitre 2 : Bassins versants test et leur représentativité dans le contexte du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal

- Chapitre 3 : Donnée pluviométrique : contrastes spatiotemporels des précipitations.

Introduction de la première partie:

Cette première partie a pour objectifs est replacer notre étude dans son contexte, Physique scientifique et collaboratif, en exposons aussi la problématiques, objectifs et méthodologie de travail,

Dans un deuxième temps (chapitre 2), nous allons analyser la représentativité des bassins versants test dans son domaine de dire, ainsi que les critères de leur choix. Aussi nous nous sommes basés sur l'analyse des caractéristiques morphométriques, hypsométrique, hydrométriques et la perméabilité des terrains, afin d'interpréter l'impact de ces caractéristiques sur la réponse hydrologique des bassins versants du domaine de l'étude et les bassins versants test en particulier,

Et comme troisième objectif (chapitre 3), nous allons analyser les caractéristiques climatiques qui caractérisent la zone d'étude. Bien évidemment, les précipitations sont des facteurs majeurs qui déterminent le comportement hydrologique des bassins versants. Dans un premier temps de présenter le contexte régional et local du climat de notre bassin versant, puis, nous allons focaliser l'analyse des précipitations. A cet effet, nous allons nous baser sur l'équipement de l'oued "Ikkour" par un pluviomètre, et les données pluviométriques disponibles sur les 13 stations pluviométriques pour analyser la variation spatiotemporelle des précipitations ainsi que leurs intensités.

Chapitre 1 : Cadre, problématique de l'étude, objectifs et méthodologie

Sommaire :

Introduction :

I-Le Contexte de la réalisation de la thèse :

II- Présentation du domaine d'étude :

III-La problématique de l'étude :

IV-Etapes et méthodologie de travail :

V-Les difficultés spécifiques à ce travail de recherche :

VI- Le cadre conceptuel :

VII-Risques d'inondations et demande de sécurité : vers une nouvelle méthode "hydrologique intégrée" :

Conclusion :

Introduction :

Le présent chapitre a pour objectif de rappeler le cadre de l'étude et de jeter un bref éclairage sur le cadre de réalisation de la thèse. Par ailleurs, ce chapitre est également consacré à la présentation de la problématique de l'étude, méthodologie adoptée, objectifs, et contrainte de l'étude. Ce chapitre aussi vise à éclaire le cadre conceptuel de la thèse.

I) Contexte de la réalisation de la thèse:

Le travail présenté dans cette thèse a été réalisé dans le cadre d'une Action intégrée, PHC TOUBKAL, programme de recherche bilatéral franco-marocain établie entre l'université de Lorraine et l'université Sultan Moulay Slimane de Béni-Méllal. Intitulé "**Diagnostic socio-environnemental, pour un développement durable du périmètre irrigué du Tadla** " . Ce programme de recherche a été porté par l'équipe du laboratoire « Dynamique des Paysages, Risques et Patrimoine (DPRP) » de l'Université Sultan Moulay Slimane de Béni-Méllal et celle du laboratoire " LOTERR ", de l'université de Lorraine. Ce projet s'inscrit dans une longue collaboration entre le laboratoire "LOTERR" et des équipes d'universités marocaines sur la thématique générale de l'eau (ressource – risque).

En outre, plus particulièrement sur cette région du "dir" divers travaux de recherche ont été réalisé par l'équipe mixte du DPRP. Une étude sur les inondations et les processus d'urbanisation dans la ville de Béni-Méllal a été menée conjointement avec l'université d'Angers et plus récemment une collaboration avec l'université de Fès et de Lausanne ont donné lieu à deux thèses sur le thème de la cartographie des inondations, à Fès par Lasri (2015) et a Béni-Méllal par Werren (2013). Le travail présenté ici s'inscrit donc dans la continuité de ces travaux de recherche sur les risques inondation dans le "dir" de l'Atlas de Béni- Mellal. Toutes ces études répondent aux objectifs du laboratoire de recherche "DPRP", qui visent à caractériser et mieux comprendre ces phénomènes hydrologiques exceptionnels dans un contexte géomorphologique et géologique particulier, marqué par une topographie de cônes de déjection. Notre travail s'appuie donc sur les résultats de ces deux thèses, entre autres, mais propose de nouvelles méthodes s'appuyant notamment sur une instrumentation à l'origine de valeurs de débits mesurés in situ et non pas déduit de formulation empirique. Un autre exemple est la modélisation hydraulique fine du corridor fluvial à l'origine de la cartographie des zones inondables. Mais plus globalement la différence avec les deux études précédentes tient au fait que nous avons mené une démarche intégrée en collectant des données originales concernant l'aléa et la vulnérabilité et en produisant nos propres données.

II) Présentation du domaine d'étude :

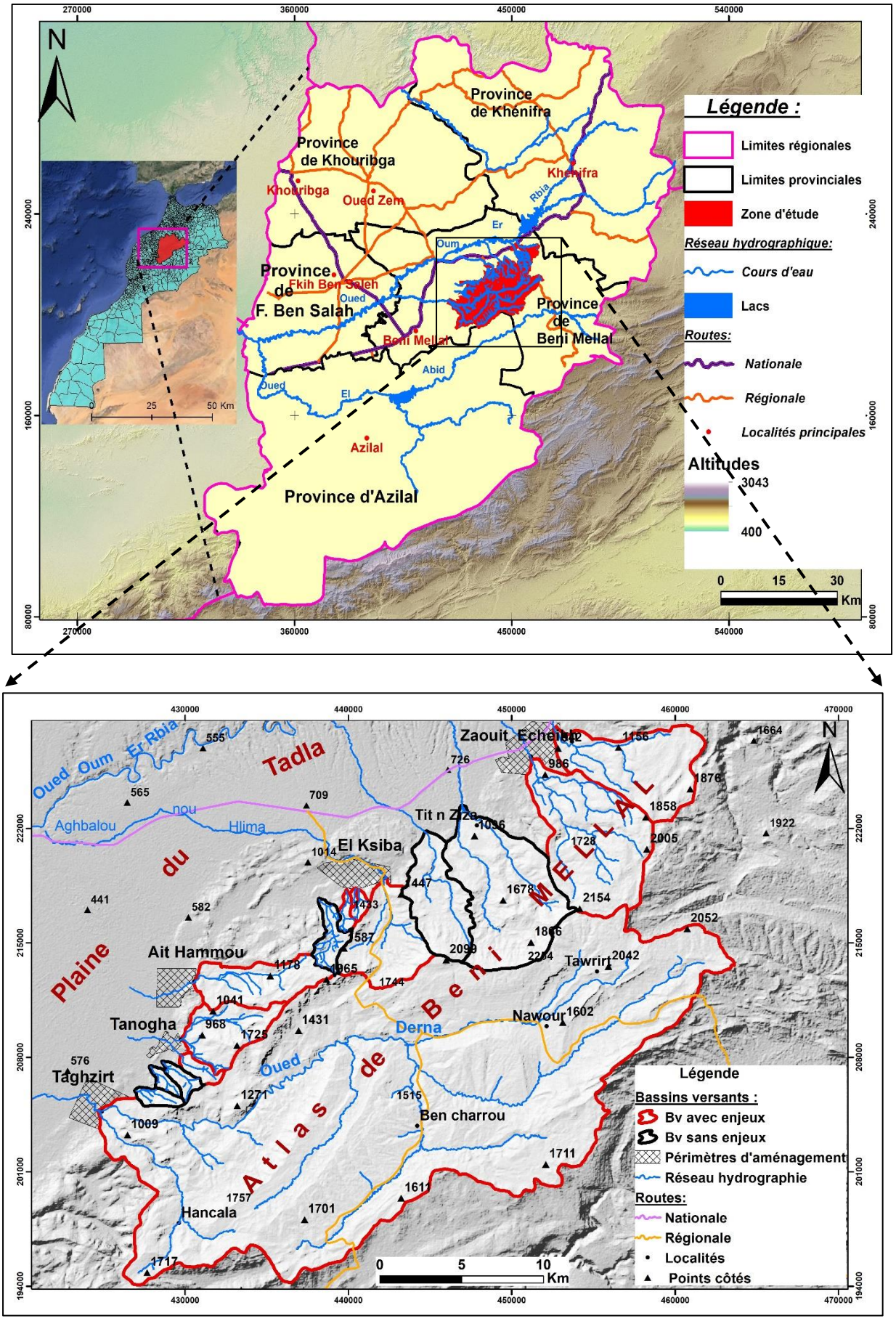
Le domaine d'étude se situe au Nord-Est de la ville de Béni-Méllal sur la bordure Nord-Ouest de l'Atlas de Béni-Méllal. Administrativement, étendue sur le territoire de 5 communes de la province de Béni-Méllal, et couvre une superficie de 626 km2, subdivisée en 11 bassins versants et chaabts de taille différente.

La zone d'étude s'étend sur une parte de "dir" du Moyen Atlas Méridional calcaire et pose de nombreux problèmes associés aux crues violentes, qui génèrent souvent des inondations qui touchent les infrastructures publiques et les champs agricoles.

La population de la zone d'étude, a connu une grande évolution démographique, entre 1987 et 2014, en liaison avec un fort exode rural depuis les montagnes. Cet exode rural, a été accentué par les sécheresses subies par le Maroc, durant les années 80 et2000, ainsi que par les difficultés à maintenir l'agriculture et l'élevage dans les zones montagneuses et périphériques du périmètre irrigué du Tadla. Cet exode a induit aussi, une grande extension urbaine non contrôlée, vers les zones à risques (fonds de vallées), une forte pression sur les ressources naturelles (dégradation du couvert végétal, pollution...) et a posé de nouveaux problèmes d'aménagement et de gestion des dangers dans le domaine du "dir".

Selon l'étude de délimitations des zones inondables et les études de protection contre les inondations réalisées par l'Agence du Bassin Hydraulique de L'Oum-Er-Rbia, les agglomérations du "Dir" de Beni-Mellal sont classées parmi les 152 sites les plus touchés par le risque d'inondations dans la province de Beni-Mellal. Notre travail de recherche s'inscrit donc dans une problématique opérationnelle de compréhension du risque inondation sur une portion du "dir" de Béni-Méllal (carte 1.1).

carte 1. 1 : Cartes de situation de la zone de l'étude.



III) La problématique de l'étude :

La problématique de notre travail s'articule autour du risque inondation dans un espace de transition entre la montagne atlasique et la plaine. Ce risque est aggravé non seulement par une urbanisation anarchique et non contrôlée, mais aussi, par un couvert végétal dégradé et ouvert caractérisant les bassins versants de cette zone du "Dir" de l'Atlas de Béni-Méllal.

La caractérisation de l'aléa hydrologique, sa genèse, sa propagation à l'aval au niveau des zones urbanisées constituent un centre d'intérêt de ce travail mais pas seulement

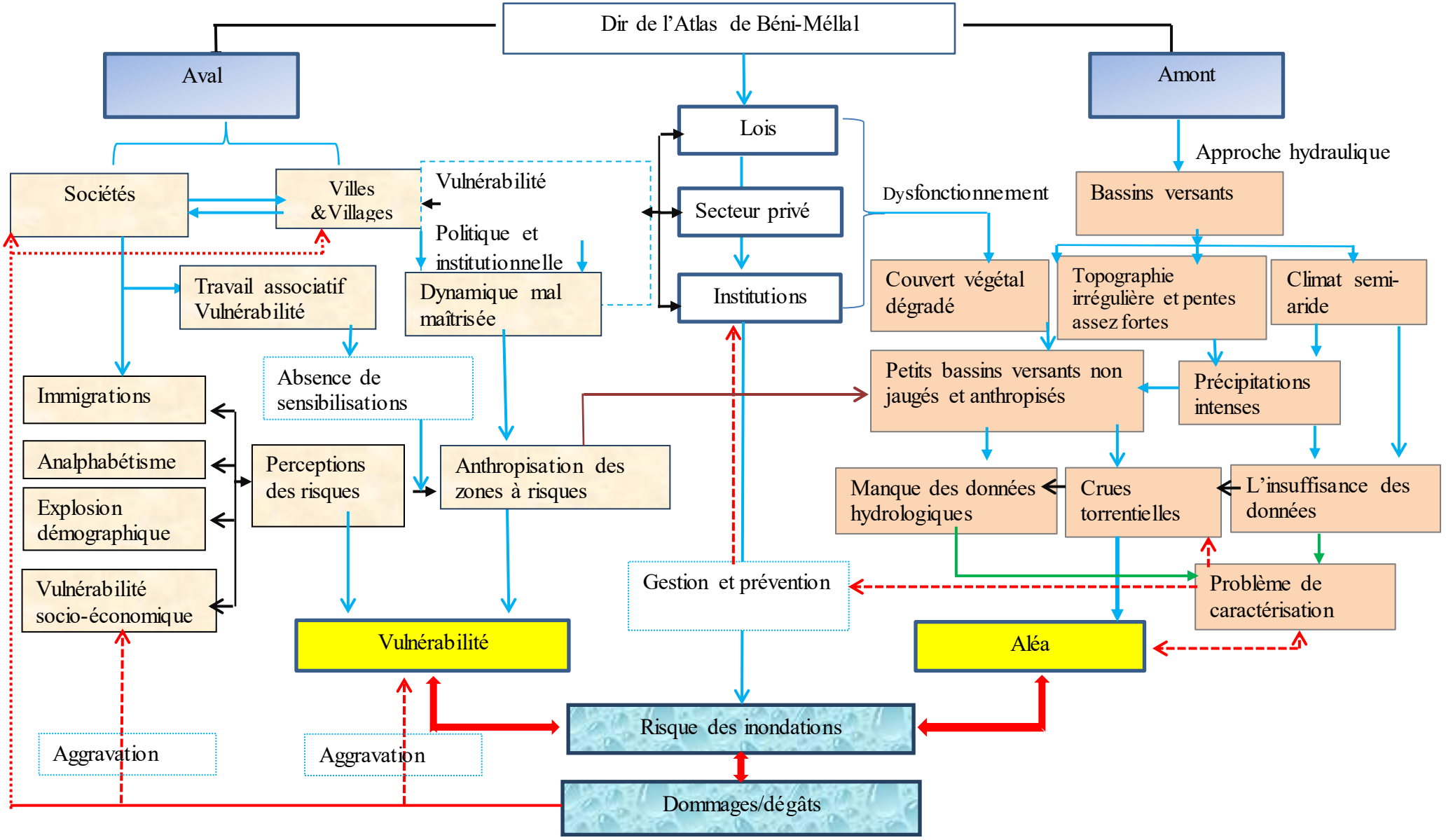
En effet nous tachons également d'apporter un point de vue éclairé sur la vulnérabilité de cette zone particulière. La caractérisation de la vulnérabilité va nous permettre de bien saisir les grands enjeux de ce territoire de transition qui est un territoire convoité et exploité par la population de la région de "Béni-Méllal - Khénifra". C'est un espace riche en eau et en ressources. De même, la gestion du risque inondation dans ses rapports avec l'aménagement de territoire repose sur une bonne connaissance de la culture du risque et aussi de sa dimension sociale. Cette connaissance va nous aider à mieux saisir la perception des différents acteurs intervenant dans la gestion du risque inondation. Pour détailler la problématique de ce travail, nous pouvons formuler les questions suivantes (fig. 1.2):-Quel est le fonctionnement hydrologique des bassins versants du "Dir" de Béni-Méllal ? Est-il comparable dans bassin à l'autre ?

Les inondations sont-elles des événements exceptionnels ? Autrement dit, quel est le poids respectif de l'aléa et de la vulnérabilité dans le risque ? Et donc, comment peut-on caractériser la vulnérabilité et quels en sont les principaux types ? Comment justifier l'anthropisation des zones à risque et quels sont les responsabilités ? Est-ce dû à la vulnérabilité socio-économique des riverains ou est-ce un défaut des politiques institutionnelles d'aménagement du territoire ?

Nous nous poserons également la question de savoir comment le secteur privé et les autres acteurs du territoire qu'ils soient locaux, régionaux ou nationaux, réagissent face à cette problématique ?

Enfin, dans le cadre des propositions que nous souhaitons faire, nous nous interrogerons sur la méthode ou l'approche la plus adéquate, pour une gestion intégrée des risques d'inondations. Et si une cartographie des dangers d'inondation, pourrait fournir des solutions pour lutter contre ce fléau ?

Figure 1. 2 : Organigramme de la problématique des inondations dans le "dir " de l'Atlas de Béni-Méllal :



IV) Etapes et méthodologie de travail:

Si on prend uniquennment le piémont "dir" du Moyen Atlas (Béni-Méllal et Fès), plusieurs auteurs (Werren, 2013, Lasri, 2015, Oulghazi, 2017), ont étudié les risques inondations. Ces auteurs se sont basés sur une modélisation hydrologique utilisant les données hydro-pluviométriques simulées à partir de modèles empiriques. Ce type de modélisation engendre une grande incertitude quant aux résultats fournis. De plus, ces études n'ont pas accordé une grande importance à la vulnérabilité ce qui en limite la portée opérationnelle. Dans le but de contribuer à cette même problématique, nous avons élaboré une démarche complémentaire reposant sur une étude fine des deux facteurs du risque, l'aléa et la vulnérabilité, sur des bassins versants représentatifs du domaine du "dir" de Béni-Méllal.

Notre approche, que l'on peut qualifier "hydrologique intégrée" considère l'aléa comme une solidarité hydrologique entre l'amont et l'aval ou plutôt la dépendance de l'aval vis-à-vis de l'amont. La gestion des risques dans le "dir" de Béni-Méllal, demande donc l'intégration des résultats des techniques hydrologiques modélisatrices et des mesures non structurelles telles que, la conscience du risque, la réduction de la vulnérabilité, la maîtrise de l'occupation du sol et surtout la dynamique urbaine. Les solutions adoptées doivent être cohérentes entre elles. A cet égard, notre méthodologie s'articule sur la valorisation de données multi-sources. Elle s'appuie, d'un côté, sur une approche de l'hydrologie classique, qui consiste en l'étude analytique de " l'aléa historique " et l'étude hydro-climatologique dont les données hydrométriques produites seront utilisées pour la caractérisation de "l'aléa " constitué des crues torrentielles. A cet égard une modélisation hydraulique est mis en œuvre pour la production des données hydrométriques et la production des cartes de risques. D'un autre côté, elle vise à intégrer le contexte socio-économique, le degré d'organisation de l'occupation du sol et les politiques publiques de la gestion des risques.

Notre approche repose sur les quatre étapes suivantes.

1. La collecte de l'information existante : bibliographie, données :

Cette première étape, qui en réalité, s'est poursuivie tout au long de la thèse, a consisté en la collecte de deux types d'informations. Le premier concerne classiquement la consultation des travaux universitaires (thèses, mémoires et articles scientifiques) et des rapports administratifs : Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum-Er-Rbia(ABHOER), Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et la Lutte Contre la Désertification, Direction Provinciale de l'Agriculture (DPA) de Béni-Méllal et l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tadla (ORMVAT). Nous avons également consulté des documents émanant d'autres établissements régionaux et nationaux telles que : l'Agence Urbaine, les Collectivités Locales, l'Agence de Développement Social de Béni- Mellal(ADS), les Directions Régionales du Haut-Commissariat au Plan, la Province de Béni-Méllal, l'Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie de Rabat (ANCFCC).Des informations déjà organisées ont été acquises auprès d'organismes étatiques (ABHOER, Direction Régionale de l'agriculture, etc.) ou locaux (Agences Urbaine, associations, etc.). Ce sont des documents cartographiques, telles que les

cartes topographiques, géologiques, géomorphologiques, ou bien des documents d'aménagement, tels que les plans d'aménagement et les plans de restitution. Le deuxième type d'informations concerne les données, c'est-à-dire les variables mesurées, qu'elles soient hydrologiques, météorologiques, hydrogéologiques… ou d'ordre humain et associatif, comme celles des différents recensements de la population par exemple.

Un autre type de données a été utilisé, c'est celui des dérivées de "télémesures" à partir de satellite ou d'avion qui fournissent des informations sur l'état du sol (occupation, altitude) ou de l'atmosphère (précipitations, températures, etc).

2. La production des données relatives à l'aléa et la vulnérabilité :

Il est indéniable que l'originalité d'un travail de géographie et la portée de ses résultats sont conditionnées par l'originalité des données de terrain et des résultats que l'on peut en tirer. A cet égard, nos travaux de terrain ont visé à nourrir notre étude sur les trois volets : aléa, vulnérabilité et gestions des risques.

"Aléa":

Du fait de l'absence de stations hydrométriques et pluviométriques propre à caractériser le fonctionnement hydrologique de petits bassins versants au sein de la zone d'étude, dans le cadre de cette thèse nous avons mis en place des dispositifs de mesures hydrométriques dans trois bassins versants représentatifs du "dir" de Béni- Mellal. Nous avons également équipé le bassin versant de l'oued Ikkour par un pluviomètre. Cet oued est considéré comme représentatif des oueds du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal. Le pluviomètre a été fourni par l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia du18/01/2016 au 30/08/2016. Les données produites vont servir à la caractérisation des crues et de la pluviométrie.

La production d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à haute résolution spatiale, la qualité et la précision de la modélisation hydraulique sont conditionnées par la qualité de ce MNT. Plus « les cartes de risque » sont précises, plus les propositions et projets d'aménagement sont efficaces pour lutter contre les inondations. A cet égard, nous avons produit un MNT sur la base de Photographies aériennes.

"Vulnérabilité" :

La vulnérabilité a été approchée selon 2 axes.

Le premier axe relève de la cartographie in-situ des maisons et des infrastructures de protections et tous les éléments qui gênent l'écoulement dans le chenal. La cartographie permet de dresser un inventaire localisé des objets de surface vulnérables. Une cartographie diachronique à partir d'images d'observation de la terre permet l'étude de la caractérisation de la pression anthropique sur le milieu d'une façon générale et celle de la dynamique du tissu urbain en particulier.

Le deuxième axe est relatif à la gestion et la perception du risque "flash-flood". L'approche participative est la méthode la plus adéquate dans ce domaine d'étude. Les enquêtes de terrain

ont touché tous les acteurs locaux à savoir, les institutions étatiques, le secteur privé, la population locale et les associations de la société civile.

Grâce aux différentes techniques d'investigation de terrain (enquêtes, questionnaires, entretiens directs), nous avons pu collecter une masse importante d'informations touchant la gestion des risques inondation et la perception des différents acteurs vis-à-vis de ce risque. Les investigations de terrain ont touchées tous les acteurs locaux, à savoir, les collectivités locales, l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum-Er-Rbia, l'Agence Urbaine de Béni-Méllal, le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts de Béni-Méllal, la Direction Régionale de la Météorologie de Béni-Méllal, la Délégation Régionale de l'Agriculture de Béni-Méllal, la Direction Régionale de la Protection civile de Béni-Méllal, la Province de Béni-Méllal, la Délégation Provinciale de la Santé de Béni-Méllal , le secteur privé (bureaux d'études) et les associations de la société civile. Et enfin pour évaluer la vulnérabilité chez les riverains nous avons adopté une nouvelle méthode, basée sur l'analyse des perceptions de la population en utilisant l'outil des cartes mentales et des questionnaires de perceptions, adressés aux différentes catégories d'âges de la population : écoliers, collégiens, lycéens, étudiants et femmes au foyer.

3. Organisation et traitement des données :

Ce travail repose sur un grand nombre de données de diverses natures: documents cartographiques, images satellitaires, photographie aériennes, données émanant de postes météorologiques et pluviométriques acquises et produites, données hydrométriques acquises et produites, données de jaugeages, données limnimétriques de trois sections de contrôle, données des levés topographiques des trois sections , "MNT" brutes, "MNT" produit par images satellites brutes, variables dérivées des mesures satellitaires, données des résultats de 12 types d'enquêtes, résultats des cartes mentales, données des recensements de la population, résultats des questionnaires …etc.

Pour traiter, questionner, analyser et représenter toutes ces données à référence spatiale, nous avons eu recours à un Système d'Information Géographique(SIG). C'est un système d'aide à la décision et qui nous aide à résoudre des problèmes complexes de gestion et d'aménagement du territoire et qui sont en relation, dans ce cas d'étude, avec la cartographie des zones inondables. Les cartes présentées dans le présent document, sont produites à partir du logiciel "ArcGis 10.2". Le traitement statistique des données hydro-climatiques s'est appuyé sur des logiciels généralistes, comme "Excel", et sur des outils plus spécifiques, tels que "Tanagra", "Hydracces", "Khronostat", "River Analysis package" et PCRaster…

Quant au dépouillement des données hydrologiques, nous avons utilisé les logiciels "SEBA" et "Lulu". Pour l'analyse des données topographiques (levés de terrain), nous avons utilisé les logiciels "Covadis","Autocad". "HecRas" 4.5 a été utilisé pour la modélisation hydraulique. Les logiciels "Envi" et "ERDAS" 2014, ont été utilisé pour le traitement des images satellitaires Landsat. Et enfin, le logiciel "SPSS"a été utilisé pour le dépouillement et l'analyse des résultats des enquêtes de terrain.

4. La modélisation hydraulique : une méthode pour la délimitation des zones inondables :

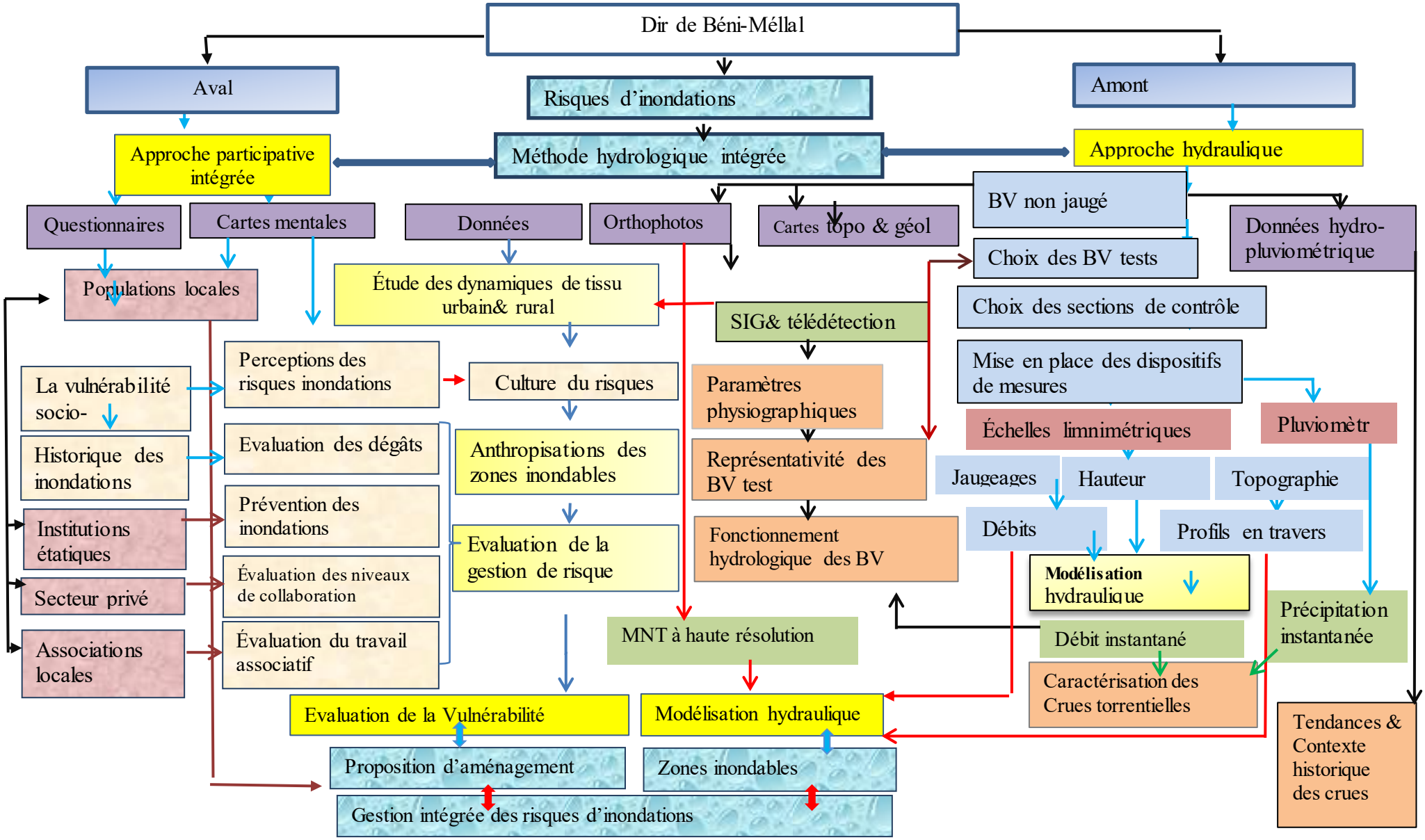
La gestion et la planification urbaine dans les espaces de transition, comme notre zone de l'étude ("dir" de l'Atlas de Béni-Méllal) constituent une préoccupation majeure pour les collectivités rurales et urbaines. Les collectivités territoriales doivent faire face à ce défi de planification et d'aménagement de territoire, surtout dans les espaces exposés aux risques d'inondation et dans un contexte d'une urbanisation non maîtrisée et anarchique, qui se développe dans des zones à risques.

Pour bien maîtriser et mieux gérer ces risques d'inondation, la modélisation hydrauliq ue, couplée à d'autres méthodes d'investigation (hydrogéomorpphologique et historique) constitue la méthode la plus appropriée à ce type de problématique.

La réalisation de cet objectif s'est heurte aux difficultés liées à l'absence des données hydrologiques et climatiques précises qui permettent de mieux prévoir d'une part, les risques d'inondation et de l'autre de bien identifier les zones inondables.

C'est la raison pour laquelle ce travail a comme objectif une modélisation hydraulique précise, calée sur des données de terrain, et dont le but est la production des cartes de risques, comme : i) document de base et d'aide à la décision pour une bonne gestion des inondations, ii) outil de planification préventive, en l'absence d'outils de prévention et les difficultés d'application de systèmes d'alerte dans ces petits bassins versant torrentiels. Par ailleurs, la prise en considération des perceptions et des propositions d'aménagement des différents acteurs locaux, constitue une action participative et intégrée en termes de la gestion des risques d'inondation (fig1.3).

Figure 1. 3 : Organigramme des étapes et la méthodologie adoptée.



V) Les difficultés spécifiques à ce travail de recherche :

Ce travail s'est heurté à plusieurs difficultés, en particulier :

L'accès aux données : l'étude d'un phénomène hydrologique, tel que le risque d'inondation, fait recours à différentes données hydrologiques, climatiques, historiques, topographiques (MNT), cartographiques, des photos aériennes, des images satellitaires, etc.

L'acquisition des données concernées auprès des différents services a été très difficile et a été chronophage.

L'indigence des données hydrologiques a limité les possibilités d'analyse du fonctionnement hydrologique des bassins du "dir" de Béni-Méllal. Pour pallier ce manque de données nous avons **produit nos propres données hydrométriques**. Ce travail colossal et constant sur 3 ans s'est confronté à plusieurs difficultés qui sont :

- Les contraintes les plus difficiles sont celles liées à la production de données hydrométriques que ce soit pour le choix et l'installation des échelles limnimétriques, pour leur relevé ou la mesure des débits pour caler le modèle hydraulique et construire la courbe d'étalonnage aux stations hydrométriques.
- Le choix des sections de mesure du fait de la topographie irrégulière du fond du lit (profil en long) et de la dynamique fluviale marquée, conséquence d'une forte torrentialité de l'écoulement. Le choix des sections de mesure a nécessité plusieurs jours de repérage.
- Une fois les échelles limnimétriques installées sur les sections de mesures, la puissance des cours d'eau en crue a emporté des échelles qu'il a fallu réinstallé par la suite. L'isolement de ces bassins versants et le manque de transport en commun desservant ces endroits a rendu difficile la mission de levés limnimétriques de nos observateurs en particulier lors des précipitations et des crues survenues la nuit. A l'exception de la zone " d'Ait Hammou Abdessalem", les observations ont été faites, en partenariat avec l'association civile de manière gratuite. Le reste des observateurs ont reçu des frais hebdomadaires selon le travail et le déplacement effectués durant la nuit ou le jour. Pour certains épisodes de crue fort je me suis déplacé malgré les divers risques.
- Les jaugeages dans ce type de travail demeurent une action très difficile, voire même risquée. Les mesures hydrométriques durant la période de crue nous a permis d'avoir une idée sur les débits instantanés des crues éclairs et torrentiels de ces petits bassins versants. Et c'était l'une des finalités que nous avions tracées pour notre travail de terrain. Par conséquent, nous nous sommes exposés plusieurs fois aux dangers des crues qui ont causé des dégâts pour nous et pour le matériel de jaugeage. Dans cette quête de la donnée hydrométrique j'ai cependant été épaulé par X technicien du service de suivi de la ressource en eau de l'ABHOER qui m'a formé à l'utilisation du micromoulinet pour mesurer le débit en rivière. Ce coordonner avec lui et le l'ABHOER a pu ralentir le dérouler des sorties sur le terrain à des fins de mesure. Comme les différents dépouillements des mesures ont été faits à l'ABHOR, à cause de l'absence d'un logiciel gratuit, tout ce travail technique et de calculs a exigé de nous une bonne coordination sur une longue durée avec les services de l'ABHOER.
- Les levés topographiques sur les stations hydrométriques ont été réalisés avec une

station topographique prêtée par l'Agence du Bassin Cependant, lorsque l'obtention de cette dernière n'était pas possible nous avons fait appel à la Direction Régionale des Travaux Publics pour qu'elle nous prête la sienne.

Pour mener à bien toutes ces opérations et ce travail de terrain, qui nous a pris beaucoup de temps et d'efforts, nous avons pu suivre un certain nombre de stage au Maroc et en France et cela grâce aux programmes d'échanges et de collaboration entre notre laboratoire et nos partenaires régionaux (ABHOR) et internationaux (université de Lorraine). Parmi ces stages, on peut citer :

- Stage dans le domaine de l'hydrométrie (jaugeage et dépouillement), au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum- Er- Rbia, sous l'encadrement d'un technicien de jaugeage sur le terrain, et ce, durant trois mois.
- Formation durant deux mois, dans le domaine de la topographie (relevés et dépouillement), au sien de l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum- Er- Rbia.
- Stage dans le domaine de la modélisation hydraulique (traitements des données, insertions, simulations, calage du modèle, productions des débits…etc), au sein du laboratoire de "LOTERR" de l'Université de Lorraine, en France.
- Une autre contrainte est liée à l'étendue du domaine d'étude qui s'étire sur 70 km et éloigné de 30 à 60 km de Béni-Méllal. Pour mieux connaitre la perception des acteurs vis-à-vis des risques inondation nous avons parcouru le secteur pour faire remplir nos questionnaires, **(856)** et faire réaliser les cartes mentales **(705)** aux différents acteurs. En plus de contraintes liées aux déplacements dans les localités mentionnons-les contraintes de communication avec la population locale qui parle la langue "Amazighe". Nous avons néanmoins bénéficié de l'aide précieuse des étudiants de licence et de master.

VI) Les objectifs de la thèse:

Ce travail est une contribution opérationnelle à la connaissance du phénomène " crue-éclair" affectant les agglomérations du "dir" de Béni-Méllal dont l'objectif est l'amélioration de la résilience du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal face aux inondations. L'atteinte de cet objectif repose sur les objectifs secondaires suivants :

-Production de données hydrométriques à un pas de temps fin (QTVar)
-Caractériser les hydrogrammes de crue
-Cartographier les secteurs impactés par les crues
-Identifier les quartiers touchés par le risque inondation,
-Caractériser les différents états de surface des bassins versants et leur modification récente
-Renforcer la culture du risque chez les citoyens, les décideurs et les associations,
-Mieux cerner la perception des citoyens, et des décideurs à l'égard du les risques inondations,
-Evaluer le degré de coordination et de gestion entre les différents acteurs.

VII) Le cadre conceptuel

Pour éclaircir et enrichir la problématique d'étude nous présentons les concepts théoriques d'aléa, de vulnérabilité et de risque.

Tout d'abord, le concept de l'aléa est difficile à déterminer car il est relativement récent dans le domaine des risques. L'aléa est principalement défini, comme " la probabilité d'un événement menaçant à se produire, ou bien, la probabilité d'occurrence d'un phénomène " (Tobin & Montz, 1997 ; Dauphine, 2003 ; Smith & Petley 2009). Pour d'autres, c'est "une manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée " (Mangan & Mudry, 2012).

Un aléa environnant est défini comme un évènement instantané ou un processus continu qui, lorsqu'il se réalise, induit la possibilité de dégrader la qualité de l'environnement, directement ou indirectement. En général, le mot "aléa" s'est imposé en France, pour désigner un phénomène physique naturel et non maîtrisable, potentiellement dommageable. Il correspond au mot "Hasard", et dans le cas des inondations, l'aléa correspond à des conditions d'occurrence et d'intensité données. Selon "Hostache " en 2006, l'aléa d'inondations est caractérisé par deux composantes, fréquentielle et spatio-temporelle (intensité).

La fréquence de l'aléa, exprime « la probabilité d'exposition d'un lieu à une crue d'occurrence donnée pour un temps de retour (T). Le temps de retour est défini, comme l'inverse mathématique de la probabilité (F) (T=1/f). Une attention particulière, doit être accordée à considérer le temps de retour d'une crue, d'un point de vue statistique (Hostache, 2006).

La composante spatio-temporelle de l'aléa d'inondations, décrit l'intensité du phénomène. D'un point de vue spatial et des conditions de submersion, il se définit en fonction de paramètres tels que : la fréquence, la hauteur d'eau, sa vitesse, la durée de submersion (Vinet, 2010).

Les indices les plus courants, pour caractériser l'aléa inondations sont : le débit de pointe et les temps de concentration (Lefèvre et Schneider, 2004). Vu l'importance de ces deux indices dans la caractérisation de l'aléa d'inondations et la prévision des risques, et aussi, vu l'absence ou l'insuffisance des données hydrologiques dans notre zone d'étude, la compréhension des phénomènes "crues-éclair" dans ces zones, nécessite la mise en place de dispositifs de mesures « hydro-pluviométriques » dans les bassins versants test et représentatifs.

Le terme de la "vulnérabilité", a été introduit dans les études des catastrophes liées à l'environnement, par l'école comportementaliste ou écologiste, adressée principalement pour indiquer « l'exposition à des dommages » (White, 1973 ; Burton et al, 1978). De nos jours, le concept de "vulnérabilité", fait l'objet de nombreuses études et définitions (Chave, 2002 ; Dauphiné, 2003 ; Lefèvre et Schneider, 2004 ; Scarwell et Laganier, 2004 ; Hostache, 2006, Mangan&Mudry, 2012). La vulnérabilité d'une région, dépend de son degré de préparation (mesures préventives, plans de secours...), vis-à-vis des aléas climatiques, ainsi que de l'intensité et de la fréquence des catastrophes, dans un intervalle de temps, qui peuvent être estimés (Beltrando & Chémery, 1995). D'une autre manière, elle exprime les différentes actions et capacités des sociétés qui peuvent la réduire, en atténuant l'intensité de certains aléas ou crises potentielles. En général, la "vulnérabilité" est un ensemble de conditions résultant du contexte physique (sites, densité des populations, infrastructure, qualité des constructions…etc.), social (perceptions des risques, éducation, santé publique, solidarité sociale, etc.), des facteurs économiques (les activités économiques, statuts économiques, etc.) et des facteurs environnementaux (topographie , état du couvert végétal, géologie, etc.), et enfin, du contexte culturel (traditions, croyances, valeurs morales, perceptions des risques etc.), qui augmentent la durabilité d'une communauté à l'impact des risques (ISDR, 2002). Il peut comprendre des

facteurs physiques, socio-économiques, environnementaux, ou des facteurs politiques, qui nuisent à la capacité des collectivités à répondre à des événements (Jegillos, 1999 ; Blaike et al, 1994).

La vulnérabilité peut être exprimée par les caractéristiques des personnes ou des groupes, en fonction de leur capacité à anticiper, à faire face, à résister et à se remettre de l'impact d'un danger, selon les perceptions de ce danger, l'expérience de confronter le risque d'inondations, le choix du mode de vie, le niveau d'instruction, la situation socio-économique, la croyance aux risques (du point de vue religieux) et peuvent être mesurés par le niveau de la fatalité, c'est-à-dire, le nombre de décès, les pertes de biens ou d'argent… etc.

Les secteurs vulnérables dans le "dir" (annexe 1) de Béni-Méllal se sont accrus depuis les années 1970 du fait d'une situation géographique attractive (aménagement hydro-agricole). La pression sur ce milieu est également liée à l'exode rural renforcé lors des périodes de sécheresse du début des années 80. Cette pression incite les personnes à s'installer sur les secteurs à risque que ce soit dans de nouveaux quartiers de villes anciennes ou de nouveaux centres. L'évaluation de cette vulnérabilité croissante tant au niveau social, économique, naturel, culturel et juridique est l'objet d'une étude par questionnaire auprès des riverains et des acteurs locaux.

L'étude des risques a pris une dimension considérable au début des années 1980. Ceci, grâce à l'émergence des mouvements écologiques et à la dégradation des écosystèmes (Smith, 1996). Le concept de "risque" fait l'objet de nombreuses disciplines (économique, industrielle, environnementales, sociale…), et peut être défini, « comme la conséquence d'un événement d'une certaine ampleur ayant une certaine probabilité de se produire (aléa) » (Laure & Chémery,1995). On peut dire aussi que le passage d'un aléa à un risque, suppose la prise en compte de la vulnérabilité, des enjeux soumis à cet aléa. Selon la science des risques, ces derniers sont exprimés par la formule mathématique suivante (A. Dauphiné,2002):

RISQUE = ALEA × VULNERABILITE

Suivant cette expression, plus la vulnérabilité des enjeux est élevée, plus le risque augmente (de même pour l'aléa). Mais, si on ne peut pas agir sur l'aléa (par exemple, lorsqu'il s'agit des phénomènes naturels), il faut agir sur la vulnérabilité des enjeux, afin de réduire le risque.

En général, le risque est associé à l'incapacité des communautés à gérer les événements de danger, qui peuvent éventuellement conduire à des conséquences négatives (dégradation de l'environnement, dégâts socio-économiques, activités, dégagement des propriétés et les pertes de vies…etc). Il apparaît donc que les communautés les plus pauvres et isolées sont davantage exposées au risque en raison de leur grande vulnérabilité aux situations de danger, et aussi en raison de leurs faibles capacités d'adaptation. Les inondations sont ainsi responsables de plus de la moitié des risques naturels dommageables. Selon Smith (1996) un tiers de la population mondiale vit dans des espaces où les risques potentiels sont liés plus ou moins directement à la nature. Ces espaces sont principalement des plaines ou des fonds de vallées inondables. Les risques d'inondations doivent donc être appréhendés à l'interface entre " l'aléa" de la nature et la " vulnérabilité " des sociétés humaines.

VIII) Risques d'inondations et demande de sécurité : vers une nouvelle méthode hydrologique intégrée" :

Notre thèse s'inscrit dans le champ de recherche de la gestion des risques naturels et plus particulièrement du risque hydraulique d'inondation. Le tiers de la population mondiale, vit dans des espaces où les risques potentiels sont liés plus ou moins directement à la nature ; Les inondations, sont responsables de plus de la moitié des risques dommageables. Ces populations demandent ainsi la sécurité contre ce risque, et la demande sécuritaire, s'est accrue dans les sociétés occidentales, du fait de leur fonctionnement socio-économique et des contraintes sociales qui les sous-tendent. Cette demande sécuritaire, se généralise dans les domaines de la santé, de l'alimentation, des risques naturels et technologiques. La préoccupation de ce risque est une demande des sociétés riches, où les besoins fondamentaux des sociétés et des individus (nourriture, santé, étude, emploi ...) sont satisfaits (Vinet, 2010).

Dans ce cadre, Pellinge, (2003) a distingué trois phases dans l'approche de la gestion des risques inondations : la première phase est une phase dite classique (nature-centrée) qui prévaut jusqu'à la fin des années 1970. Durant cette période « l'école de Chicago (Burton al, 1964)» voit les risques comme une potentialité de récurrence d'un phénomène naturel destructeur dont les origines sont extérieures à l'homme. Cette approche suppose que la société est agressée par un agent naturel, à l'instar des aménageurs qui voient aussi le risque par les mêmes lunettes, et considèrent qu'un risque donné est un phénomène naturel insupportable. La deuxième phase vient avec la prise en considération du rôle anthropique dans le processus de production du risque. Cette période ou le concept "hasard-paradigme" a commencé au début des années 1980. Durant cette époque la vision a changé par l'implication de l'homme et de la société dans l'équation de production du risque. Durant cette période, le risque est considéré comme le fruit du croisement entre l'aléa et la vulnérabilité. Ses adeptes font de la vulnérabilité l'élément déterminant du risque (Gaillard ,2007). La troisième phase commence à partir des années 1990 par le développement d'une vision intégrée des risques d'inondations et de leur gestion associant la relation réciproque nature/société et ce, dans une vision qui associe les facteurs humains et naturels dans un système territorialisé (Page, 2005).

Le concept de gestion du risque, alimenté par beaucoup de réflexions actuelles sur la meilleure façon de gérer les risques naturels, a abouti finalement, pour les inondations, à une approche bien établit (Sene, 2013). Le risque inondation est habituellement défini comme la combinaison d'une probabilité d'une crue et de ses conséquences. Compte tenu des nombreux facteurs à l'origine du risque on peut néanmoins décliner différents leviers sur lesquels influer sur le risque, ils sont synthétisés dans « le cycle de gestion du risque » (fig 1.4).

Figure 1. 4 : Cycle de gestion du risque.



Flash floods: forecasting and warning (Sene K., 2013).

Parallèlement, plusieurs méthodes et approches ont été développées ; Elles ont pour but la réalisation et la production des documents (carte des risques d'inondations) déterminant les zones inondables, et des systèmes de prévention et de prévision des risques, tels que, le Plan de Prévision des Risques (PPR), la carte des risques, ou bien l'Atlas des Zones Inondables (AZI), ainsi que les systèmes d'alarme. Parmi ces documents celui qui nous intéresse est la carte des risques d'inondations, ou bien l'Atlas des Zones Inondables. Ce sont des documents publics, qui déterminent les types d'inondations susceptibles de se produire par débordement des cours d'eau. Ils sont destinés à informer et à sensibiliser tous les acteurs territoriaux. Ce sont des documents de gestion et de prévention des risques d'inondations, décrits en France en 1978 selon la loi du 17 juillet 1978. La réalisation de ces documents a fait l'objet de plusieurs méthodes et approches, telles que :

a) L'approche historique :

L'approche historique, consiste à cartographier les zones inondables, à partir d'une ou plusieurs crues, réellement constatées (relevés in-situ de laisses de crues, repères de crues, interprétation de photo-aériennes ou photo-satellitaires, données-archives, populations locales).

b) La méthode hydro-géomorphologique :

La méthode hydrogéomorphologique est une méthode naturaliste basée sur l'observation du terrain. L'analyse des traces morphologiques et sédimentologiques permet d'identifier les différentes unités des cours d'eau et de la plaine alluviale : lit mineur, lit moyen, lit majeur et lit majeur exceptionnel ; sièges des crues les plus fréquentes aux crues les plus exceptionnelles.

c) La modélisation hydraulique :

La modélisation hydraulique consiste à réaliser, selon des méthodes variées, un modèle hydraulique en fonction des débits prédéterminés et à calculer en tout point du champ d'inondation les caractéristiques de l'écoulement (hauteur et vitesse).

L'approche hydro-géomorphologique et l'approche historique présentent des limites. Par exemple, elles ne permettent pas de mettre en évidence le fonctionnement hydrologique des bassins versants pour déterminer les fréquences de l'aléa. L'approche hydraulique, quant à elle, peut différencier tout un éventail de fréquences de crues pour des périodes de retour de 2, 5, 10, 100 ans… On peut y voir un avantage certain à détenir une interprétation plus fine des récurrences, mais cela induit toutefois un faux sentiment de précision, étant donné les marges d'erreurs associées aux résultats. Aussi, la délimitation des lits majeurs, moyens et mineurs, n'est pas toujours évidente surtout dans les oueds torrentiels où la plaine alluviale n'est pas toujours reconnue, ou lorsque la plaine alluviale est anthropisée ou bien aménagée. En plus, elle ne prend pas en compte de nombreux paramètres associés, tels que : la remonté des nappes, l'occupation des sols, le temps de concentration dans les bassins versants, le temps de réponse et les changements qu'ils peuvent subir dans un contexte local, national et global. Ces contextes sont caractérisés par des changements continus qui peuvent modifier les témoins comme les traces des crues et la suppression aussi des systèmes fluviaux.

Quant à la modélisation hydraulique, elle est basée sur la caractérisation des écoulements. L'efficacité de cette approche est liée à la disponibilité et à la qualité des données insérées ; Ceci pose certaines contraintes à l'application de cette approche dans les bassins versants non jaugés pour lesquels les résultats manquent alors de précision, ce qui limite leur efficacité de le cadre opérationnel de gestion du risque ; Dans la plupart des cas, les résultats ne reflètent pas la réalité des zones exposées aux risques. Aussi, cette approche ne permet pas de caractériser la "vulnérabilité" qui constitue un facteur important dans la production du risque d'inondations. Les propositions d'aménagement issues de cette approche restent techniques et ne prennent pas en considération le risque dans le contexte i) d'occupation des sols et son évolution (dynamiques urbaines, anthropisation des zones à risques…etc), et ii) dans le contexte des politiques de gestion des risques. Les solutions techniques ne seraient pas efficaces, sans la prise en compte de la population locale et les acteurs locaux sans la compréhension des politiques de gestion des risques adoptées, et sans l'analyse, l'étude et la compréhension du comment la population perçoit le risque et accepte de vivre avec ce risque.

A cet égard, nous allons utiliser une approches dite "l'Approche Hydrologique Intégrée ", C'est une approche associant les deux facteurs produisant le risque : l'aléa et la vulnérabilité, et ce, dans un contexte territorialisé, associant ces deux facteurs dans le diagnostic et la gestion des risques.

Notre vision de la caractérisation de "l'aléa" exige l'analyse de toutes les composantes des bassins versants, tels que : le fonctionnement hydrologique, l'écoulement, le temps de réponse, le temps de concentration...etc.

Par ailleurs, notre vision de la caractérisation de la « vulnérabilité » est basée d'une part sur une méthode collaborative, étendue à toutes les composantes de la vulnérabilité : politiques, lois, institutions, modes de gestion, situations socio-économiques, nivaux de collaborations entre les institutions responsables, les rôles du secteur privé, et les associations locales. D'autre part elle s'appuie, sur l'étude de la dynamique de l'occupation du sol telles que : la dynamique urbaine et l'anthropisation des zones à risques. Et pour faire affiner les résultats de ce travail, nos questions sur la sociologie ont été définies sur la base des perceptions des risques d'inondation.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons replacé le travail et la problématique "inondation", dans son contexte, international, national et local, ainsi que dans son cadre scientifique. Il a permis de jeter un bref éclairage sur les travaux réalisés antérieurement sur cette problématique, ainsi que sur les méthodes adoptées dans ces travaux, afin de choisir et d'affiner notre méthodologie de travail. Ce chapitre replace aussi la problématique des inondations, dans son contexte conceptuel et théorique. Enfin, nous avons présenté aussi les difficultés, que nous avons rencontrées durant cette étude.

L'exposé sur la méthode" hydrologique intégrée", comme méthode appliquée dans l'étude des inondations dans le domaine de "dir" de Béni-Méllal est justifiée par la nécessité d'apporter un regard complémentaire aux travaux déjà réalisés, sur les 2 volets du risque, l'aléa et la vulnérabilité.

Chapitre 2 : Bassins versants test et leur représentativité dans le contexte du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal :

Sommaire :

Introduction :

I) Les bassins versants test : critères de choix :

II) Le contexte physique de domaine de l'étude et la représentativité des bassins versants test :

1. Topographie :

2. Géologie :

2-1 Le facteur géologique et son influence sur la réponse hydrologique des bassins du "dir" de Béni-Méllal :

3- Caractéristiques hydrographiques des bassins versants : la densité de drainage :

4- Le couvert végétal : un facteur favorisant les crues rapides dans le "dir" de l'Atlas de Béni-Mellal :

Conclusion :

Introduction:

Le milieu physique constitue l'élément le plus déterminant sur lequel se base toutes les études hydrologiques. Ce chapitre décrit les multiples caractéristiques physiographiques qui permettent d'expliquer les processus hydrologiques dans le domaine du "dir" de Béni-Mélla1. Il traite aussi le processus du choix des bassins versants test, ainsi que la représentativité de ces bassins par rapport à ceux du domaine, sur lesquels on se focalise pour traiter le phénomène des inondations menaçant notre zone d'étude.

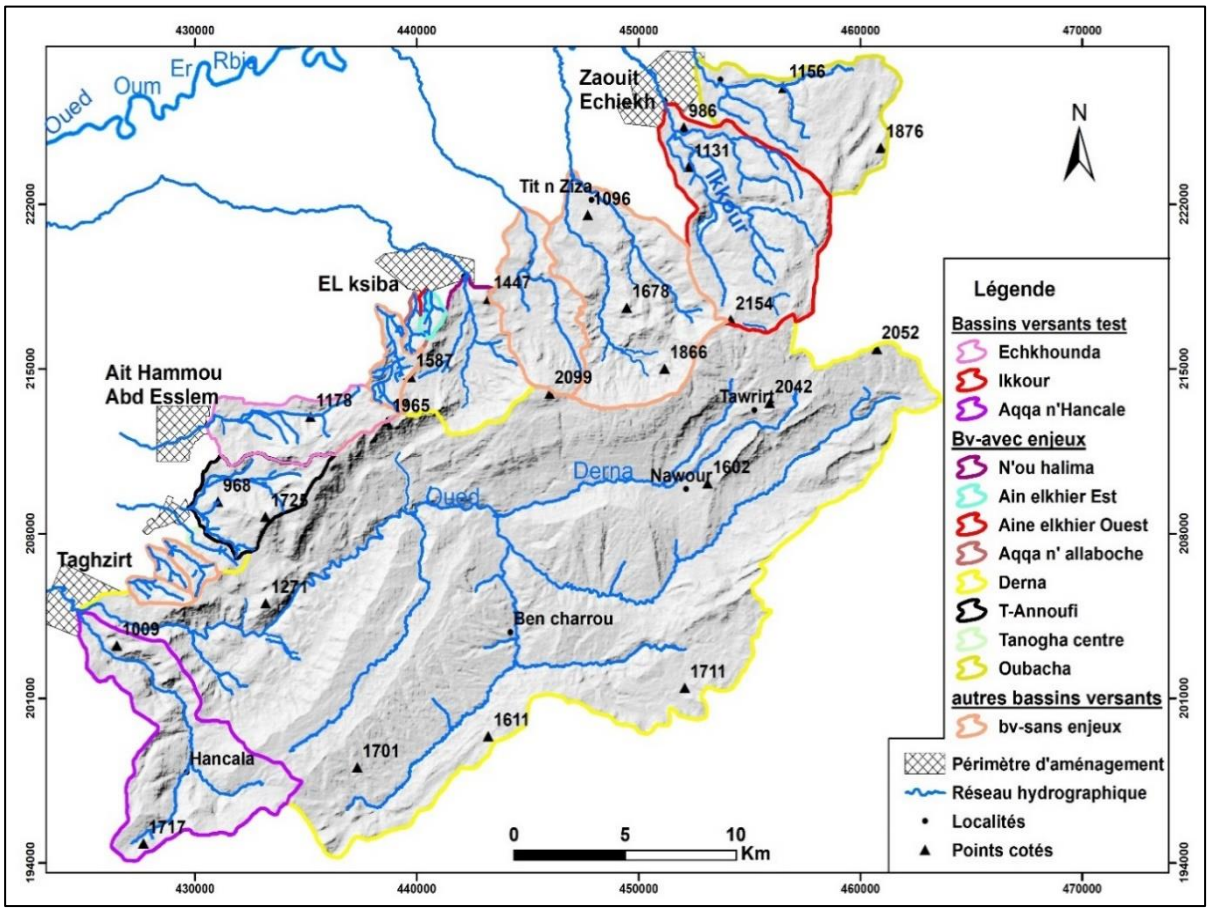
I) Les bassins versants test : critères de choix:

Le choix des bassins versants test s'est fait à partir des critères suivants :

- L'enjeux : pour la portée opérationnelle des résultats, souhaitée par l'Agence de l'Hydraulique, le choix s'est porté sur des bassins versants à fort enjeux qui ont donc historiquement subi d'importants dégâts matériel et humain.
- L'accessibilité : compte tenu du choix d'instrumenter les bassins versant avec des stations hydrométriques, pour leur suivi il fallait que ces bassins soient rapidement accessibles en toutes conditions météorologiques. Leur exutoire devait donc se trouver à proximité d'un axe de circulation.

Après les visites sur le terrain le choix s'est porté sur les bassins de l'Oued Ikkour, de l'Oued Echkounda et de l'Oued Aqqa'Hançal (carte 2.1).

Carte 2. 1 : les bassins versants teste dans le domaine de l 'étude.



II) Le contexte physique du domaine de l'étude et la représentativité des bassins versants test.

1. Topographie :

Les fortes déformations qui ont affecté l'Atlas de Béni-Méllal donnent une topographie assez accidentée surtout vers le sud et sud-est, dont on voit des crêtes et des versants très accentuées qui atteignent de grandes altitudes (2300 m).

La zone d'étude fait partie au Piémont de l'Atlas de Béni-Méllal dont on peut distinguer deux grandes unités topographiques qui sont la montagne vers le sud-est et la plaine de Tadla vers le nord-ouest (600m) séparées par une sous unité qualifiée de "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal, qui regroupe deux "dir" : "dir" de Béni-Méllal proprement dit et "dir" "El-Ksiba".

- Le "dir" de Béni-Méllal commence à partir de "Foum El Ancer" jusqu'à "Afourer". Cette partie du piémont est caractérisée par sa petite longueur qui ne dépasse pas 30 kilomètres, et connue par la chaîne des hauts sommets de montagnes. Dans le Haut Atlas ; on note la force de l'altitude et la forme des sommets aigus et importants, en particulier le "Tassmit" (2248 m) et l'Oghenayn (2401 m), et au-dessous de cette altitude dans la direction du sud, on retrouve le sommet de "Tazerkount" (1718 m). (Finigue, 2016).
- Le "dir" d'El-Ksiba s'étend des "Ait Oum El Bakht" au Nord, atteignant "Taghzirte" au Sud. Sur le plan géographique il est caractérisé par le côté topographique des montagnes, avec une altitude significative au-delà de 1800 m pour plusieurs sommets (Jebl Ouknus, 1935 m et "Jebl Bouzrfan", 1977 m). (Finigue, 2016) (carte 2.2).

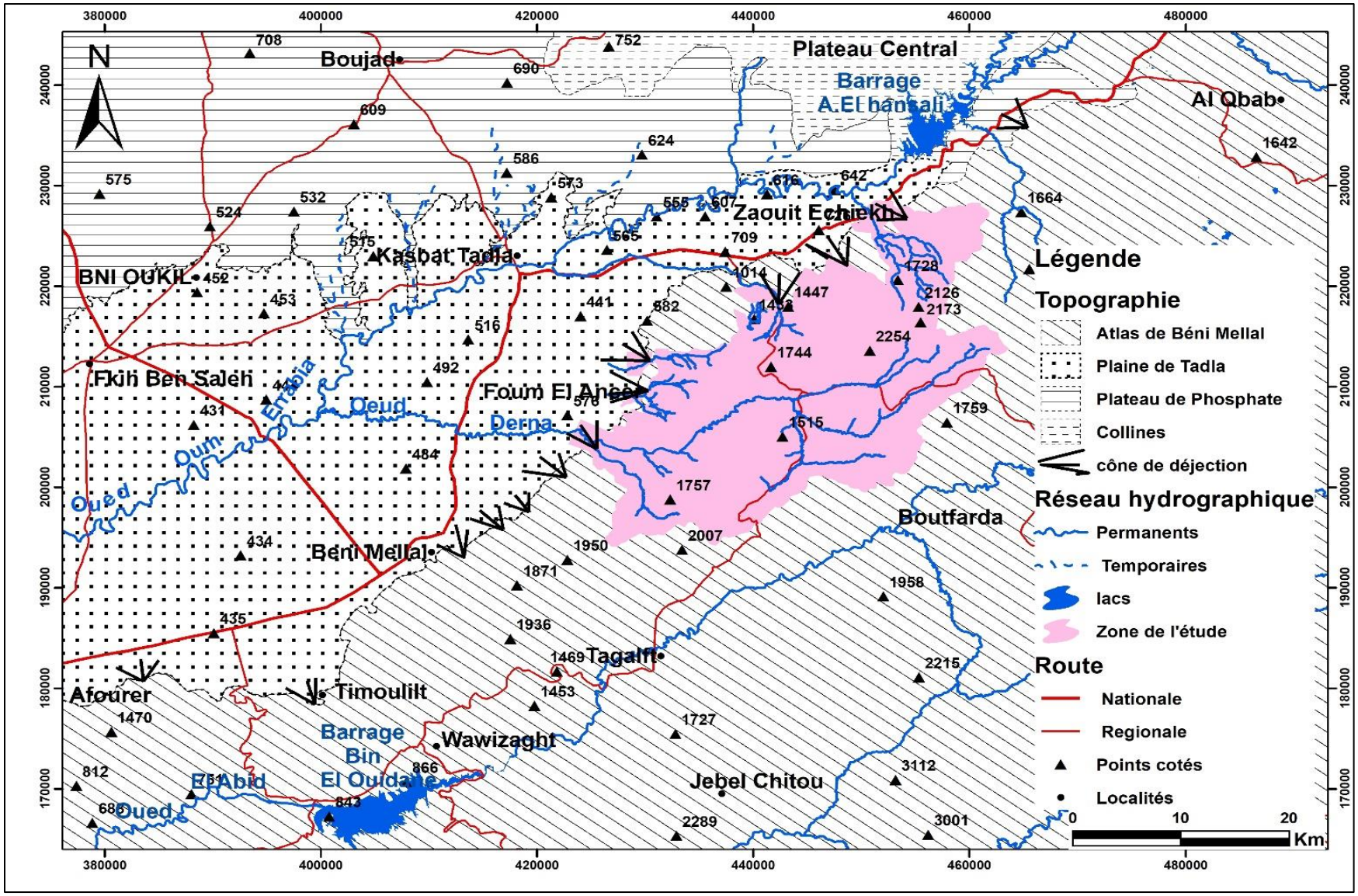
1-1 Les paramètres physiographiques des bassins versants tests :

Les caractéristiques physiographiques sont déterminées à l'aide des cartes topographiques au 1/50000ème, des cartes géologiques au 1/100 000ème, d'un "MNT" (Aster V2) et d'images d'observation de la terre. Tous ces documents sont insérés dans un SIG ce qui permet d'extraire des valeurs de distance ou de pente.

a) Les paramètres géométriques :

Les paramètres géométriques des bassins versants donnent des éléments de compréhension du comportement hydrologique d'un bassin versant tel que le régime de l'écoulement, le temps de concentration des eaux ou le temps de réponse en période de crues notamment car, outre la nature de l'averse, ce sont les caractéristiques morphologiques du bassin qui conditionnent la forme des hydrogrammes observés à l'exutoire (Humbert et al. 1982 ; Saidi, 1995 ; Saidi et al. 2003). Plusieurs formules et indices permettent de chiffrer les caractéristiques morphologiques des bassins versants, nous appliquons les plus couramment utilisé (tab 2.2)

Carte 2. 2 : Le contexte topographique du domaine de l'étude.



- **Superficie (A) :**

La surface d'un bassin versant est la portion du plan délimitée par la ligne de crêtes. Sa valeur est calculée à partir de la digitalisation sur six cartes topographiques1/50000 *(Béni-Méllal, Kasbat Tadla, Zaouit Echiekh, El-Ksiba, Tagzirte Et Tizi Nisly*) du domaine d'étude.

- **Indice de compacité de "Gravelius"(Kc) :**

Ce coefficient de compacité de Gravelius KC rend compte de la manière dont les eaux écoulées par les différentes parties du bassin versant peuvent se concentrer à l'exutoire. La compacité des bassins versants intervient sur la rapidité de la réponse et le mode de circulation d'eau d'un bassin. Lorsque le bassin versant est allongé, le temps mis par une goutte d'eau pour atteindre l'exutoire est plus long ; le temps de réponse est donc plus important, Il se calcule de la façon suivante : $Kc = \frac{p}{2\sqrt{\pi x A}} = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$ Avec : **P** : périmètre du stylisé du bassin (km)

A : superficie du bassin (km²).

KC est égal à 1 pour un bassin circulaire et il croît d'autant plus que la compacité diminue (P. Dubreuil, 1974 ; G. Réméniéras, 1980). Le tableau suivant retient la classification la plus courante dans la bibliographie (Roche 1963)

Tableau 2. 1 : La valeur de Kc et le type de réponse hydrologique (Source : Roche, 1963).

Indice	Forme	Réponse
Kc < 1,25	Bassin compact	Réponse rapide
1,25< Kc < 1,5	Bassin de forme moyenne	Réponse moyenne
Kc > 1,5	Bassin allongé	Réponse plus lente

1-2 Indice de Rectangle équivalant :

Il est destiné à faciliter la comparaison entre des bassins versants du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. Cet indice introduit par Roche (1963) est une transformation géométrique qui permet d'assimiler les bassins à un rectangle. C'est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que les bassins versants. L'indice du rectangle équivalent s'exprime comme suit avec **L** et **l** respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent : Le périmètre du rectangle équivalent vaut : $p = 2 \times (L + l)$

- Surface : $A = L \times l$
- Le coefficient de compacité : $Kc = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$
- En combinant ces trois relations, on obtient la longueur du rectangle équivalent qui s'exprime comme suit :

$$Ir = \frac{Kc \times \sqrt{A}}{1.12} \times \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2}\right]$$

-Largeur du rectangle équivalent (l)
Il s'exprime comme suit :
$l = \frac{A}{L}$
Avec :
S = la superficie (km²) et
L = longueur du rectangle équivalent

Il est évident qu'il existe une relation étroite entre les bassins du "dir" qui peut être vue dans leurs caractéristiques géomorphologiques et leur contribution, pour expliquer et /ou comprendre le fonctionnement hydrologique à travers leur apport, leur temps de réponse et la vitesse des écoulements superficiels.

La superficie est un paramètre important pour comprendre l'enjeu et le degré des inondations qui peuvent se manifester dans telle région du "dir".

Le bassin versant de "Derna" d'une superficie de 443,5 km² est de loin le plus grand ce qui veut dire qu'il a une forte contribution pour l'émergence des inondations dans le secteur étudié. Toutefois, la superficie cumulée des bassins test est de 109 km² : l'Oued Ikkour a une superficie de 47,46km², celui de Hançale est 43,85km² et celui de l'Oued Chkounda est 17,95km². Nous avons donc des données hydrométriques sur plus de 87% du territoire investigué.

La compacité des bassins versants intervient sur la rapidité de la réponse et le mode de circulation d'eau d'un bassin. Lorsque le bassin versant est allongé, le temps mis par une goutte d'eau pour atteindre l'exutoire est plus long ; le temps de réponse est donc plus important. On peut classer les basins en trois catégories :

- ***Bassins circulaires et compactes*** : il s'agit des bassins où l'indice de Gravelius est inférieur ou égal à 1,25. Ce type de bassins est propice à une forte crue issue de leur forte réponse et un temps réponse très court. Cela concerne principalement le bassin d'Aghbalou N'ou Halima (1,25), qui est considéré comme bassin avec enjeu ainsi que les bassins Test, surtout Bassin Oued "Echkounda" (1,19) puis le bassin de l'oued Ikkour (1,22).
- ***Forme semi circulaire*** : il correspond aux bassins avec un indice compris entre 1,25 à 1,5. Cette forme est vue dans la plupart des bassins étudiées sauf excepté celui avec enjeu de Derna et le bassin test d'"Aqqa n'Hançal".
- ***Forme allongée*** : il correspond aux deux bassins de l'Oued "Derna" et d'Aqqa n'Hançal dont l'indice est d'ordre de 1.60. La rapidité des écoulements est plus faible et le temps de réponse est plus lent.

Donc globalement les bassins versants du "dir" de Béni-Méllal par leur compacité sont plutôt propices à un temps de concentration des écoulements plutôt rapide.

Tableau 2. 2 : Caractéristiques géométriques des bassins étudiés.

Indice de forme		Bassins-Versants										
		Bassins-Versants avec enjeux								Bassins-Versants test		
		Oued Derna	Châabat Tanogha centre	châabat Annofi	Oued Oubacha	Oued Aggbalou n'ou,Hlima	Châabat Aqqa Noulabouch	Châabat Ain Elkheir Ouest	Châabat Ain Elkheir Est	Oued Ikkour	Oued Echkounda	Sous bassin Aqqa n'Hançale
A	Superficie (km²)	443,49	3,59	15,87	32,85	22,76	1,65	0,39	1,25	47,64	17,95	43,85
P	Périmètre (km)	120,35	10,06	19,03	27,18	21,33	6,46	2,90	5,02	29,98	21,76	37,81
Ih(Km)	Plus grande longueur du bassin à l'exutoire	40.11	3.73	7.04	9.56	6,78	2.17	1	2	11.06	8.62	12.51
ih(km)	Plus grande largeur du bassin perpendiculaire à la longueur	15.38	1.33	4.29	60.5	5,63	1.13	0.50	1.04	7.05	3	7.45
IH	Indice de Horton	2.61	2.80	1.65	1.58	1.20	1.66	2	1.9	1.57	2.87	1.67
Kc	Indice de compacité de Gravelius	1,60	1,48	1,34	1,33	1,25	1,40	1,30	1,26	1,22	1,19	1,60
L	Longueur de rectangle équivalent	40.11	3.73	7.04	60.5	6.78	2.17	1	2	11.06	8.62	12.51
I (km)	Largeur de rectangle équivalent	15.38	1.33	4.29	9.56	5.63	1.13	0.5	1.04	7.05	3	7.45
Ir	Indice de rectangle équivalent	2.60	1.33	4.29	9.56	5.63	1.13	0.5	1.04	7.05	3	7.45
Longueur du cours d'eau principal (Km)		46.43	4.09	6.04	9.89	7.41	2.98	1.00	2.11	11.89	7.90	16.20

1-3 Paramètres hypsométriques : une variation topographique assez remarquable:

La pente joue un rôle fondamental sur l'écoulement de l'eau. On peut définir la pente moyenne (P) d'un bassin en utilisant le rapport de la dénivelée totale du bassin (DT) ou bien la dénivelée utile (DU) et la longueur du rectangle équivalent (Lr), Roche (1963).

$$Pt = \frac{Dt}{Lr} \qquad ou \qquad Pu = \frac{Du}{Lr}$$

$$Ds = Pu.\sqrt{A}$$

Les caractéristiques hypsométriques des bassins versants étudiés favorisent la vitesse des eaux superficielles circulant dans les cours d'eau du fait de la variation topographique soudaine, Ceci engendre des cours d'eau à caractère violent et destructif. Les caractéristiques hypsométriques calculées sont les suivantes :

H1 : altitude maximale
H2 : altitude minimale
DT : altitude maximale - Altitude minimale
DU : la classe qui présente 5% - la classe qui présente 95%
PT : la pente totale en %
PU : la pente utile en %
DS : dénivelée spécifique
Lr : la longueur du rectangle équivalent
La dénivelée spécifique est calculée à partir de l'indice de pente (PU) et de la surface du bassin (A).

Les calculs se font pour chaque bassin en considérant les classes d'altitudes et la superficie de chaque classe.

D'après les résultats obtenus (carte 2.3, figure 2.1 et les annexes : 2.1 ,2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.10 et 2.11) on distingue 2 types de bassins versants :

Les altitudes les plus importantes sont observées dans plusieurs bassins à savoir le bassin versant de l'Oued Ikkour dont 60% de sa surface est couverte par des altitudes situées entre 1478 et 2086m, le bassin versant d'aqqa n'allabouche dont les altitudes se situent entre 1550 et 1850 m et qui s'étalent sur 45% de sa superficie globale. Il existe des bassins où les altitudes sont considérées comme peu importantes à modérées surtout le bassin d'aghbalou n'ou halima dont les altitudes sont à 70% comprises entre 1330 et 1599m ou encore le bassin de Derna caractérisé par 73% de la classe d'altitude comprise entre 1254 et 1768m.

Au contraire, il existe des bassins avec des altitudes très faibles. Ils concernent les bassins présentant une extension vers la plaine. Dans ce cas les altitudes sont inférieures à 1000 m. Les bassins de chaabat Tanougha (707 à 1000 m pour 92%) puis de bassin test de l'Echkounda (776 et 891pour 18%) font partie de ces bassins aux altitudes peu contrastées.

D'une manière générale les bassins versants étudiés peuvent être qualifiés d'intramontagnard bien qu'ils le soient à des degrés divers.

Carte 2. 3: Les tranches d'altitudes dans les bassins étudier.

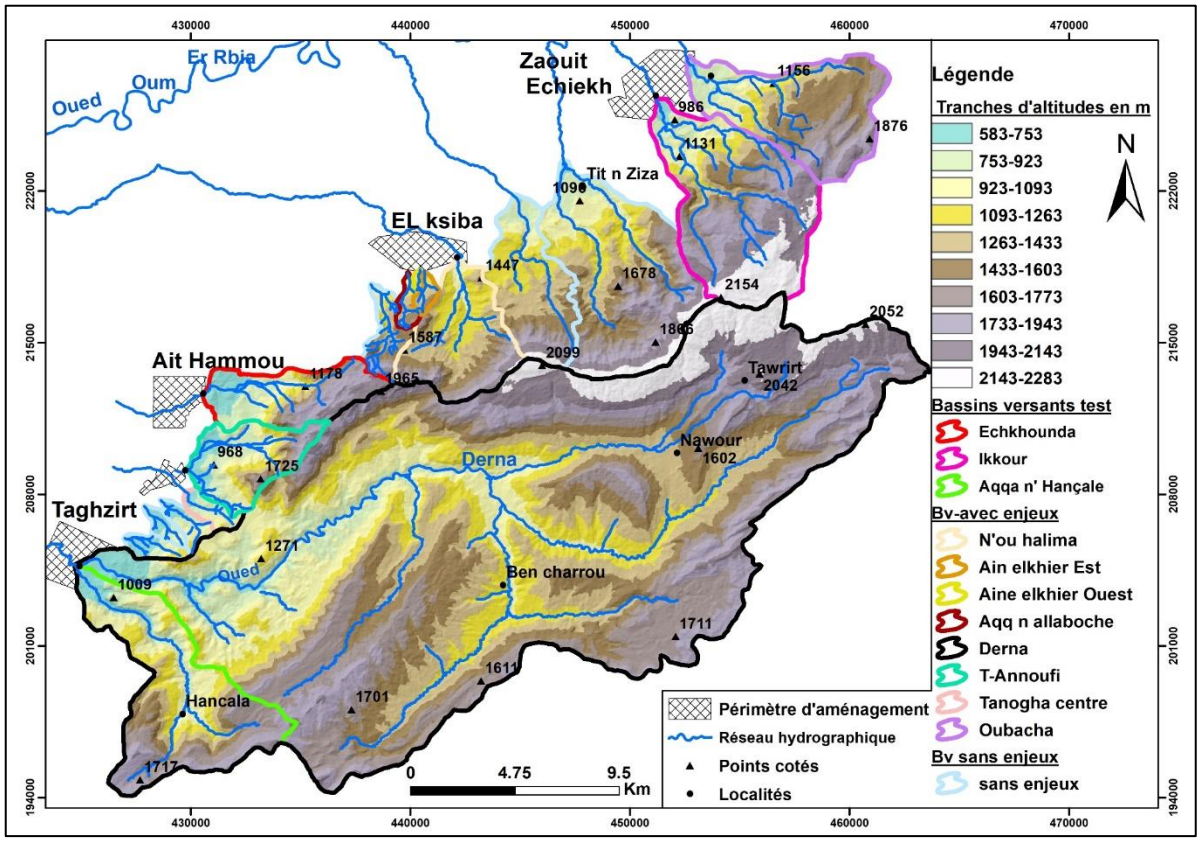
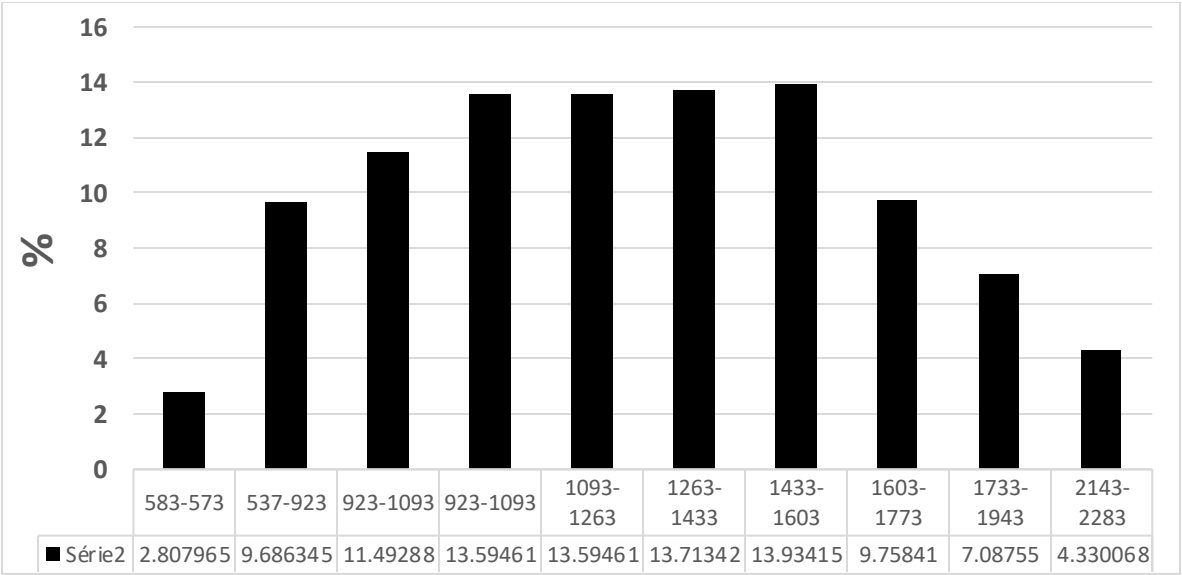


Figure 2. 1 : Réparation des tranches d'altitudes dans les bassins étudier.

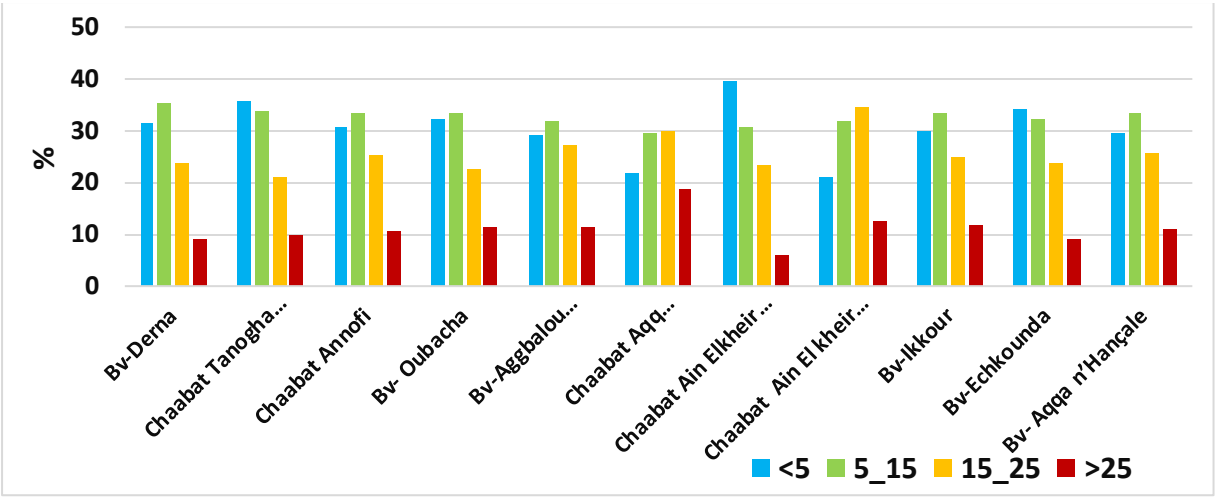


1-4 Les Pentes : une variation très remarquable:

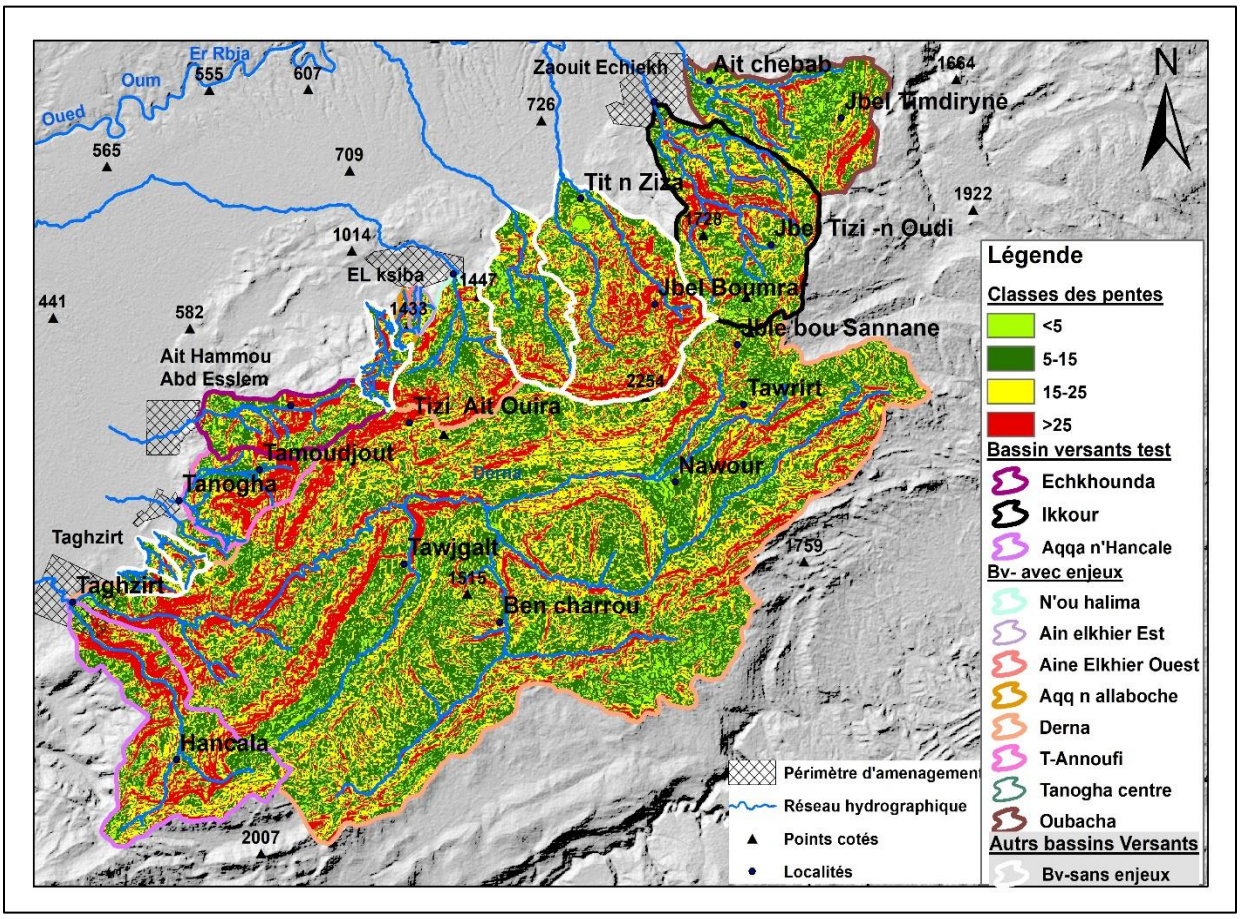
Globalement les pentes inférieures à 5% et comprises entre 5 et 15% représentent à peu près 30% chacune de la surface des bassins versants du dir. Les différences entre bassins sont par contre plus accusées pour les valeurs de pentes supérieures, Les surfaces occupées par les pentes comprises entre 15 et 25% peuvent représenter jusqu'à 18% pour le bassin de Aqq Noulabouch et tomber à 6% pour le bassin de Ain Elkheir ouest. Les surfaces dont les pentes sont comprises

entre 15 et 25% oscillent entre 20 et 35%. Le bassin d'Echkonda, le moins pentu des bassins ayant des observations de données hydrométriques, a des pentes largement inférieures à celles des autres bassins du dir. Les deux autres bassins instrumentés dans le cadre de ce travail ont des pentes comparables à la plupart des bassins du dir. Ces pentes plus ou moins marquées en fonction des bassins versant jouent un rôle important dans la genèse des crues.

Figure 2. 2 : Réparation des classes des pentes dans les bassins étudier.



Carte 2. 4 : Les classes des pentes dans le domaine d'étude.

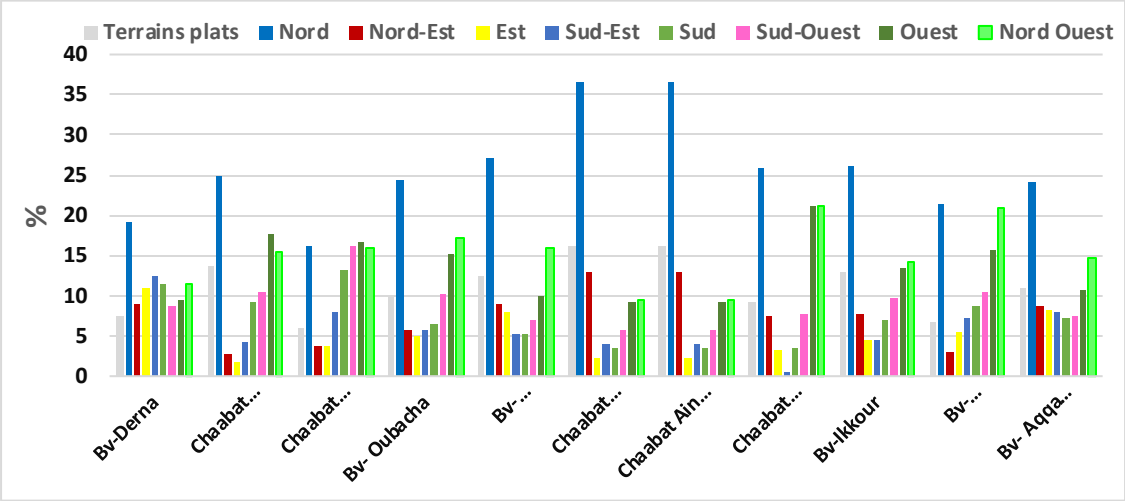


1-5 Expositions des versants : La dominance des versants Nord favorise un apport pluviométrique important :

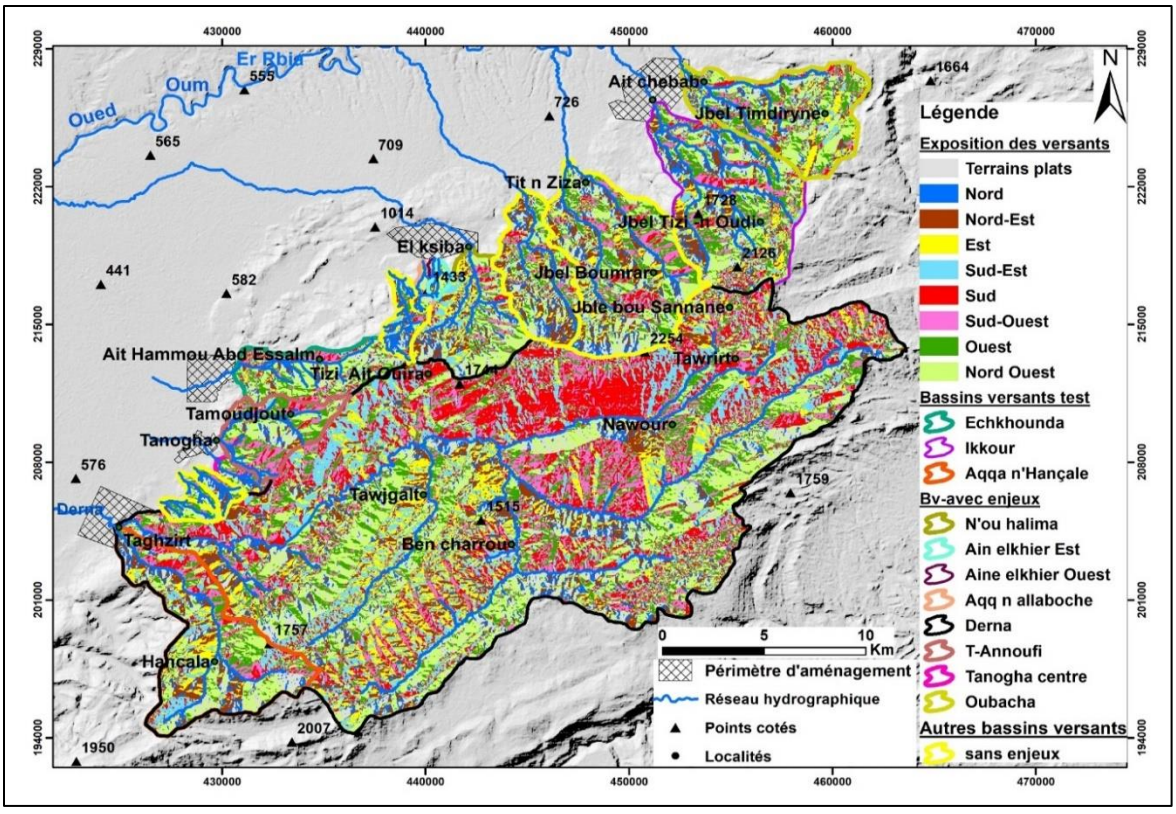
On remarque que les bassins versants étudiés ont globalement une exposition nord et nord-ouest (respectivement 26% - 21% pour le bassin versant de l'Oued Ikkour, 24 % - 15% pour le bassin de l'Oued Aqqa n'Hançal, 21% pour le bassin Echkounda), avec une dominance des versants exposés au Nord surtout pour les bassins de Chaabat Ain El Khheir, Chaabat Aqqa Noulabouch (plus de 35%).

Les bassins sont donc ouverts sur les plaines atlantiques ce qui a des implications pluviométriques comme le souligne Couvreur (1988), avec « des versants exposés au nord qui reçoivent toujours une grande quantité de précipitations par rapport aux versants sud ».

Figure 2. 3 : Répartition de l'expositions des versants dans les bassins versants.



Carte 2. 5 : l'expositions des versants dans les bassins de "dir" de Béni-Méllal.



Pour conclure cette approche morphométrique nous pouvons dire que les bassins versants du "dir" de Béni-Méllal, considérés du point de vue du risque comme des bassins de production des crues, sont relativement compacts, d'amplitude altimétriques marquée à l'origine de pentes fortes sur la majorité de leur surface et dont l'orientation est favorable à une pluviométrie abondante.

2. Géologie :

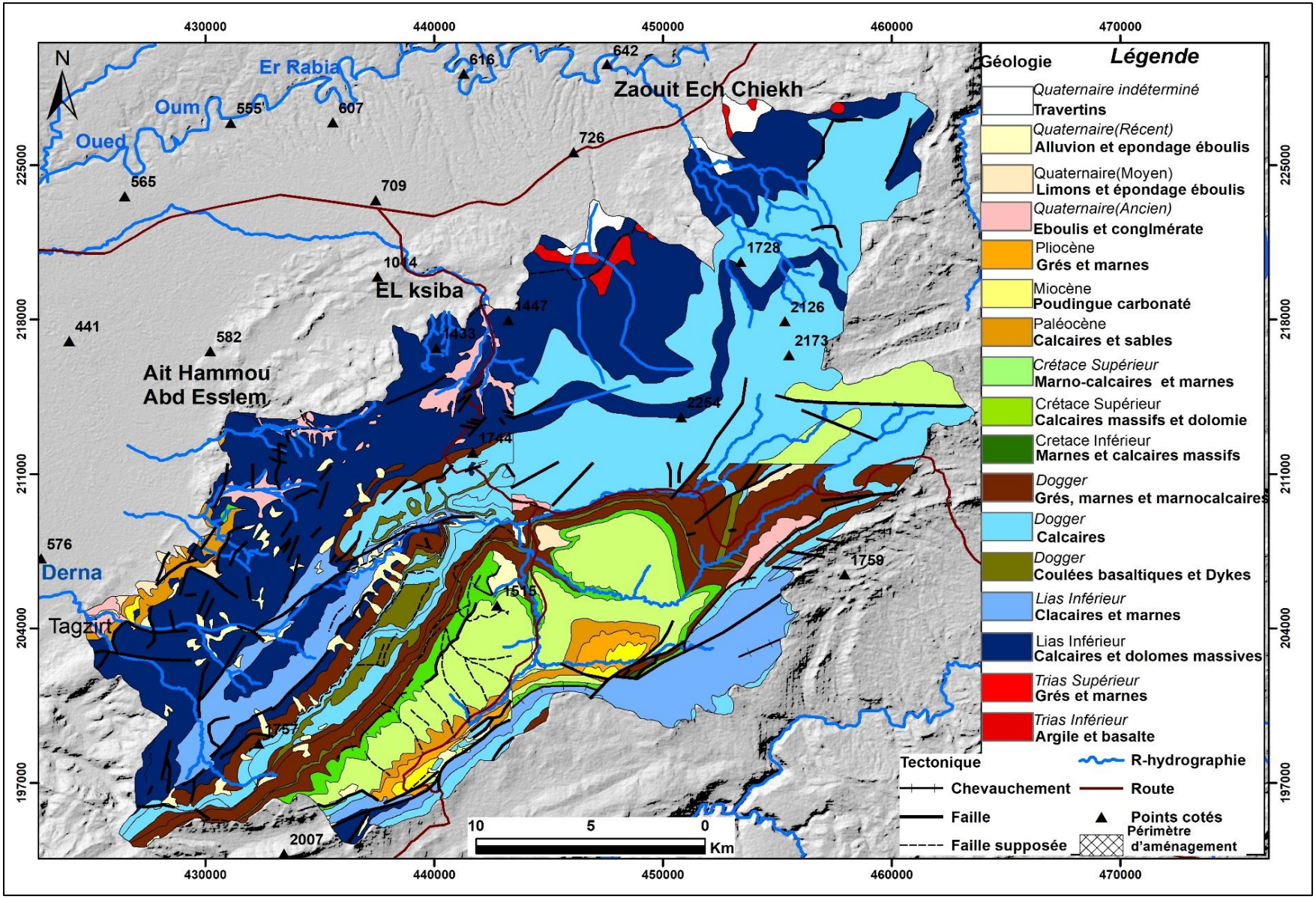
L'information géologique est tirée essentiellement des feuilles géologiques de Béni-Méllal, de Kasba Tadla 1985 et des travaux réalisés dans les régions voisines (Fadile, 1987 ; Laville, 1978, 1981 Monbaron, 1982). Les formations géologiques s'échelonnent du Trias au Quaternaire dans l'Atlas d'El-Ksiba et celui de Béni-Méllal.

Géologiquement, la zone d'étude fait partie intégrante de L'Atlas de Béni-Méllal. La structure géologique montre une succession d'anticlinaux et de synclinaux avec une tectonique cassante illustrée par de nombreuses failles de directions variables (failles du Jbel Taçmit, Jbel Tilwa, Jbel Antar, Tadla etc.). Cette structure constituée d'un système en écailles particulièrement complexe résulte de la phase alpine "pontico-pliocène" (Monbaron, 1982 ; Hakim, 1982).

Sur le terrain, l'observation des calcaires et dolomies montre bien un réseau de fracturations important, de même une manifestation karstique est bien évidente au sein de ces faciès. Ainsi plusieurs formes de dissolution sont mises en évidence (grottes, avens, gouffres…), des lapiés se sont développés sur les roches carbonatées, bien que liés à des processus krypto-karstiques agissant sous couverture pédologique, ils apparaissent souvent à l'air libre, ce qui témoigne d'une circulation d'eau plus ou moins importante dans ces massifs calcaires.

D'après la carte n2.6, il apparait que la structure est constituée essentiellement d'une série marneuse armée de bancs centimétriques de grès et de calcaires (Lias supérieur, Toarcien, Aalénien et Bajocien). Toutefois certains secteurs sont formés de roches carbonatées : calcaires dolomitiques et dolomies du Lias inférieur.

Carte 2. 6 : Litho-stratigraphie de la zone de l'étude



2-1 Le facteur géologique et son influence sur la réponse hydrologique des bassins du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal :

Dans la problématique qui nous intéresse ici, il est nécessaire d'avoir une idée précise de la nature des terrains car elle conditionne la présence ou non d'aquifère et surtout elle détermine, par son degré de perméabilité, les coefficients d'écoulement de crue. Les études géologiques et géomorphologiques traitant de la zone d'étude sont nombreuses (Monbaron, 1972 ; Rolley 1973 ; Couvreur, 1988; Martin, 1981) et relativement bien détaillées. A partir de ces études nous caractérisons le contexte géologique et géomorphologique des bassins versants du "dir" de Béni-Méllal.

2.1.1 Litho-stratigraphie :

Géologiquement, la zone d'étude fait partie intégrante de l'Atlas de Béni-Méllal. La structure géologique montre une succession d'anticlinaux et de synclinaux affectée par une tectonique cassante illustrée par de nombreuses failles de directions variables (failles du Jbel Tilwa, Jbel Antar, Tadla etc.). Elle constitue un système en écailles d'une grande complexité qui résulte de la phase alpine "Pliocène" (Monbaron, 1982 ; Hakim, 1982).

D'après la carte géologique de la zone, il apparait qu'elle est constituée essentiellement d'une série marneuse armée de bancs centimétriques de grès et de calcaire (Lias supérieur, Toarcien, Aalénien et Bajocien). Toutefois certains secteurs sont formés de roches carbonatées : calcaires dolomitiques et dolomies du Lias inférieur.

Le Trias Supérieur est constitué principalement des argiles ainsi que des marnes et grés. Il couvre des zones très restreintes à proximité d'El-Ksiba et de Zaouit Echiekh. Ces substrats très tendres et vulnérables à l'érosion apparaissent à l'affleurement sous forme de badlands.

Les formations du Lias Inférieur et Supérieur sont majoritairement à l'affleurement dans le domaine d'étude. Elles sont constituées d'alternance de roches calcaires et marneuses ainsi que des dolomies. Ces formations calcaires constituent une importante ressource en eau pour les villes et villages de la montagne, du "dir" et de la plaine.

Le Jurassique Moyen (Dogger) est composé de formations diverses avec une dominance des roches carbonatées. Les formations carbonatées constituent une alternance de roches calcaires de dolomies et de marnes Elles couvrent les sommets entourant les synclinaux de Tagleft, Ben Cherrou et Tizi Nisly. Cette période a également connu des roches intrusives dont subsistent des coulées basaltiques et dykes.

Le Crétacé couvre les synclinaux de l'Oued El Abid et le synclinal de Ben Cherrou, dont on voit qu'il existe une série sédimentaire composée de calcaires massifs (Crétacé Inférieur), et de marnes et marno-calcaires (Crétacé Supérieur).

Le Tertiaire est caractérisé par l'abondance des roches détritiques sous forme de conglomérats et de poudingues ainsi que de sables consolidés. Il est parfois composé de calcaires lacustres.

Le Quaternaire reflète la période où le fonctionnement de la dynamique fluviale et l'érosion de différentes origines ont déterminé une diversité des matériaux déposés. On y trouve des formations continentales, des éboulis et des alluvions le long des vallées et sur les versants. Des sables et limons sont présents sur les plaines voisines du "dir" (Ex : Plaine de Tafrent à Ksiba) et des éléments argileux tapissent le fond des cuvettes et des dépressions karstiques. De plus,

des dépôts de travertins sont visibles près des sources.

La zone d'étude est donc caractérisée par la dominance des roches calcaires fissurées très perméables ce qui favorise l'écoulement souterrain et limite le superficiel, mais cela ne signifie pas pour autant qu'il n'existe pas de surfaces imperméables (formations marneuses et marno-calcaires) ou peu perméables, (calcaires non fracturés) (carte 2.6).

2.1.2 La tectonique :

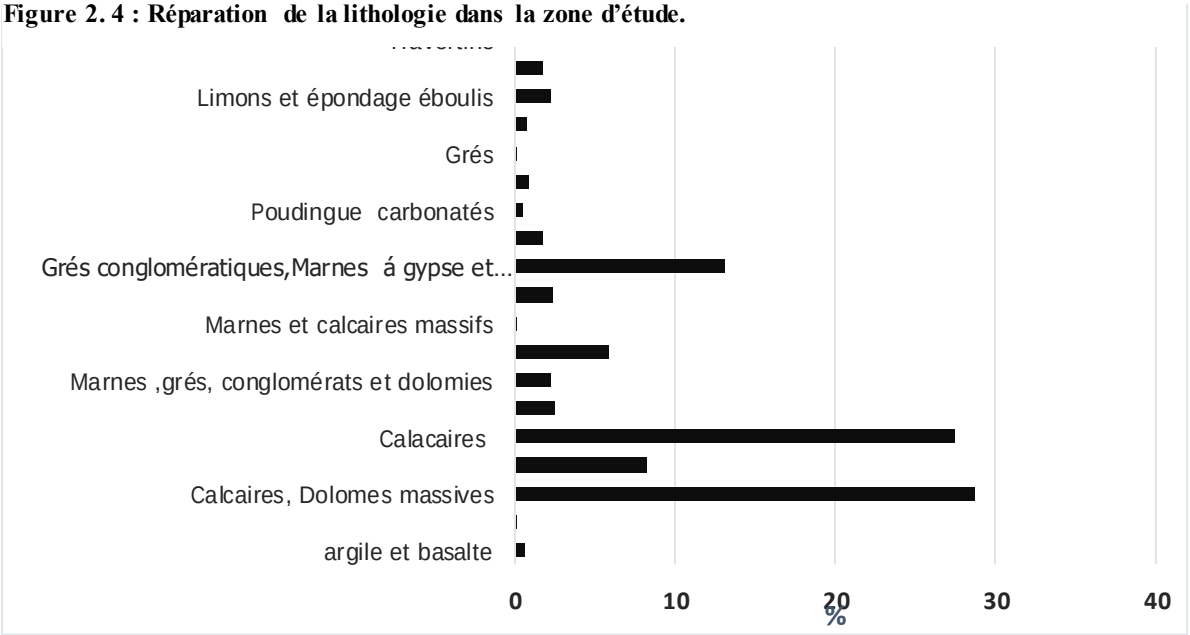
La tectonique joue un rôle fondamental dans la circulation de l'eau souterraine, ainsi que dans le développement des reliefs. Dans les bassins du Dir, les déformations sont en liaison avec l'évolution générale du Haut Atlas Central plissé et fracturé. Elles sont affectées par un réseau de failles et des ondulations. (Chevauchement d'Aghbala Afourer) Toutes ces déformations ont une incidence indirecte sur le réseau hydrographique (carte 2.6).

2.1.3 La lithologie et perméabilité des bassins étudiés :

Globalement, les bassins situés dans le "dir" de l'Atlas de Béni-Mélla1 se caractérisent par la dominance des roches calcaires et calcaires dolomitiques massifs (58%), puis des grés et des conglomérats (13,05%), des marnes et des marno-calcaires (10%) (carte 2.6 et fig.2.4). L'abondance des roches calcaires et marno-calcaires va accélérer la compétence des écoulements surtout dans les zones qui ne sont pas bien couvertes par la végétation. Les autres roches sont détritiques ; Elles se situent au pied des versants de dir, elles sont le résultat de l'érosion des roches mères en amont. Elles sont généralement des éboulis, des congloméra ts, limons et des alluvions (19%) et des formations travertineuses (0.81%).

Ces éléments détritiques sont considérés comme producteur de charges solides (blocs et galets) dans les cours d'eau et renforcent donc le risque hydrologique lors des orages et pluies intenses. On remarque une large extension de ces éléments près des villages ainsi que dans les ravins larges et profonds. Ce phénomène est remarquable au niveau dans le bassin de Chkounda.

Figure 2. 4 : Réparation de la lithologie dans la zone d'étude.



2-2 La perméabilité des roches ; un paramètre décisif dans la genèse des crues :

La lithologie des terrains influence non seulement l'écoulement souterrain, mais aussi le ruissellement de surface. En effet, le degré de perméabilité des roches est décisif, car il intervient notamment sur la pluie seuil à partir de laquelle il y a dépassement de l'infiltrabilité (ruissellement hortonien) donc dans le coefficient d'écoulement rapide de crue (CERC).

Les terrains à l'affleurement ont fait l'objet d'une classification en fonction de leur lithologie (tab.2.3).

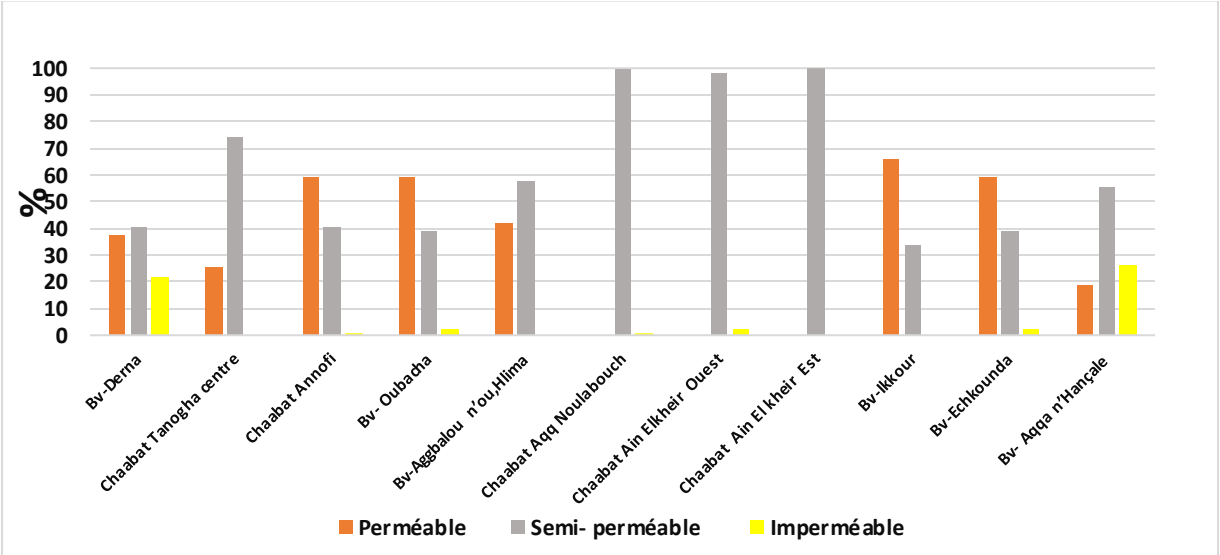
Tableau 2. 3 : la perméabilité des roches dans les bassins d'étude.

Type de roche	Superficie en km²	Superficie en %
Imperméable	15.9	19.1
Perméable	41.0	49.3
Semi-perméable	26.2	31.4
Total	83.2	100

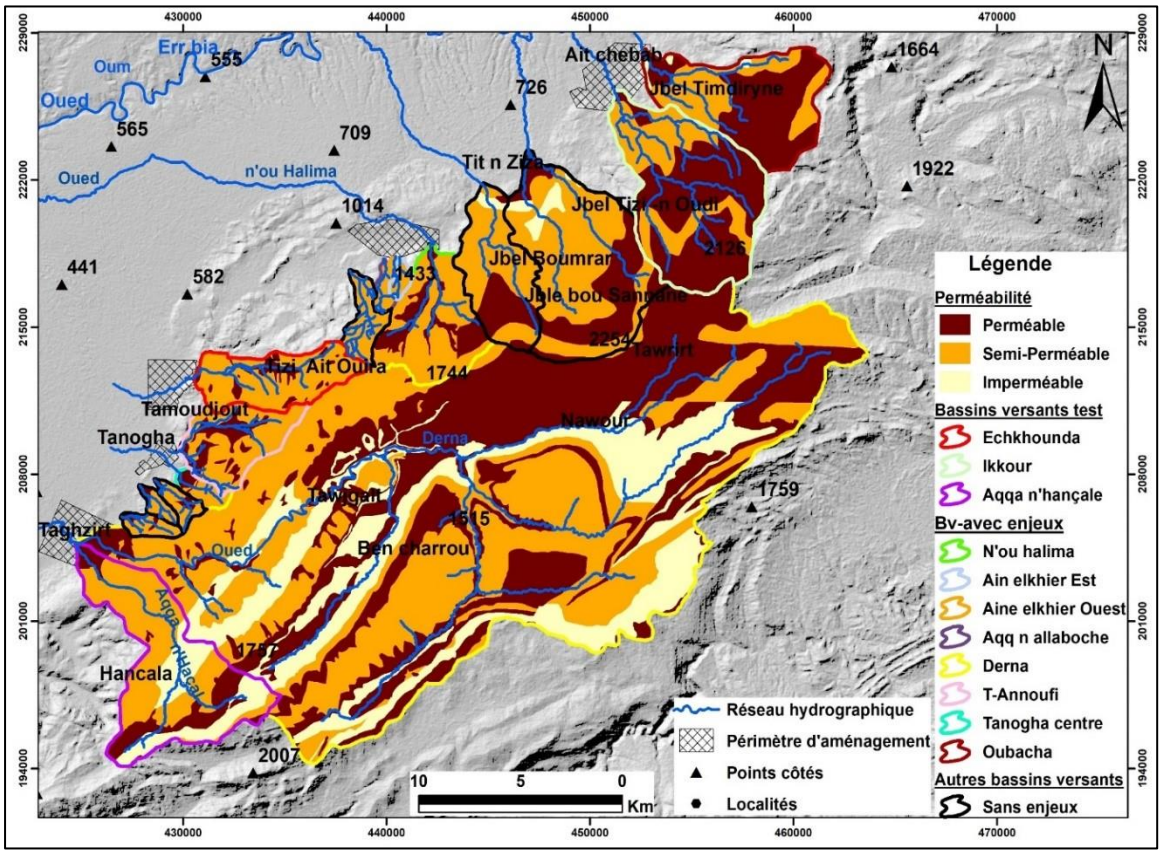
A l'échelle du "dir" considéré la moitié de la superficie est perméable (49,3%), ce qui correspond à l'abondance des roches carbonatées fissurées à l'amont des bassins et à la présence des dépôts détritiques de Quaternaire à l'aval (carte 2.7 et tab. 2.3). Les terrains imperméables n'affleurent que sur 19.2% et concerne essentiellement les terrains argileux du Trias. Les terrains semi-perméables, marneux affleurent sur 31.5% des surfaces.

Trois types de bassins se dégagent à partir des perméabilités à l'affleurement (fig. 2.5). Tout d'abord 4 bassins franchement semi-perméables, à quasi 100% pour Chaabat Aqqa Noulabouch, Chaabat Ain El Kheir Est et Chaabat Ain El Kheir Ouest et 75% pour le bassin de Chaabat Tanougha. Deux bassins, Derna et Aqqa n'Hançale, présentent une typologie particulière avec une grande proportion (de l'ordre de 20%) de terrains imperméables. Les autres bassins sont composés en proportion variable de terrains perméables et semi-perméables. Soulignons que les deux bassins les plus perméables du secteur sont les bassins test de l'oued Ikkour et Echkounda.

Figure 2. 5 : la perméabilité des roches dans les bassins d'étude.



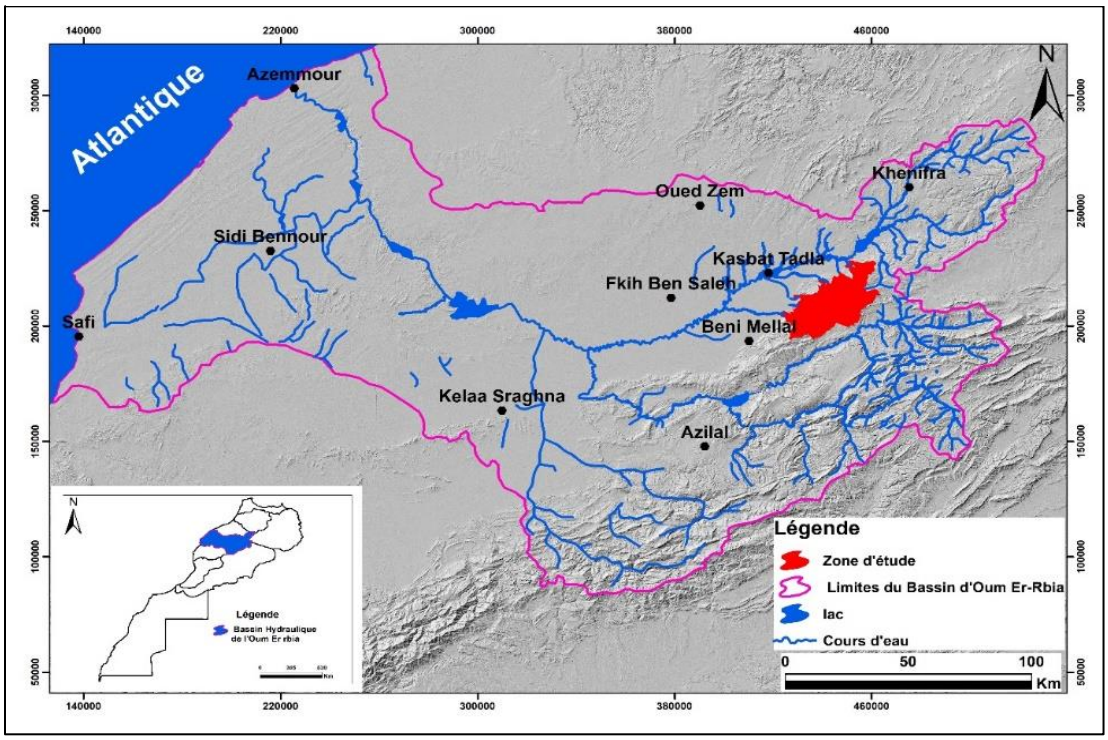
Carte 2. 7 : la perméabilité des roches dans les bassins de l'étude.



3. Caractéristiques hydrographiques des bassins versants : la densité de drainage :

Du point de vue hydrographique la zone d'étude (600 km²) fait partie du bassin de l'Oum Er Rbia (48000 km²) (carte 2.8). Elle est composée 17 sous bassins versants et chaabats.

Carte 2. 8 : Situation géographique du domaine de l'étude dans le bassin de l'Oum Er Rbia.



Les caractéristiques du réseau de drainage et plus particulièrement la densité de drainage d'un bassin versant influencent considérablement le temps de réponse et le coefficient d'écoulement de crue. A titre d'exemple Humbert (1990) a établi une très bonne relation entre l'écoulement direct de crue et la densité de drainage dans les bassins versants des hautes Vosges.

La densité de drainage, développée par Robert Elmer Horton est définie comme étant la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle est décrite comme suit :

$$Dd = \frac{\sum Lx}{A}$$ *Avec : Dd = la densité du drainage en Km/Km² ; Lx = la longueur des drains et A = Surface du bassin versant.*

Différents indices hydromorphométriques ont été calculés : la densité de drainage, l'ordination et la hiérarchisation du réseau hydrographique, les profils longitudinaux et les pentes moyennes des principaux oueds.

Les calculs reposent sur le réseau hydrographique des cartes topographiques digitalisé à partir du Système d'Information Géographique ArcGis©. Comme notre travail s'inscrit dans la problématique des crues nous avons mesuré tous les drains y compris ceux fonctionnant de façon intermittente puisqu'ils contribuent à l'acheminement de l'eau vers l'aval lors des épisodes pluvieux.

Du point de vue de la densité de drainage on note qui mis à part 3 bassins avec des valeurs inférieures à 2 ce qui est déjà relativement élevé, les bassins ont des valeurs très élevés atteignant plus de 5 pour celui d'Aggbalou (carte2. 9 et tableau 2.4). Ces densités de drainage très élevées sont le fait d'une longueur importante des cours d'eau d'ordre 1 ce qui implique une circulation de l'eau vers l'exutoire par des vallons très denses. Ce type de réseau hydrographique est très favorable à un temps de concentration rapide.

Carte 2. 9 : Ordre des cours d'eau du bassins versants de "dir" de Béni-Méllal.

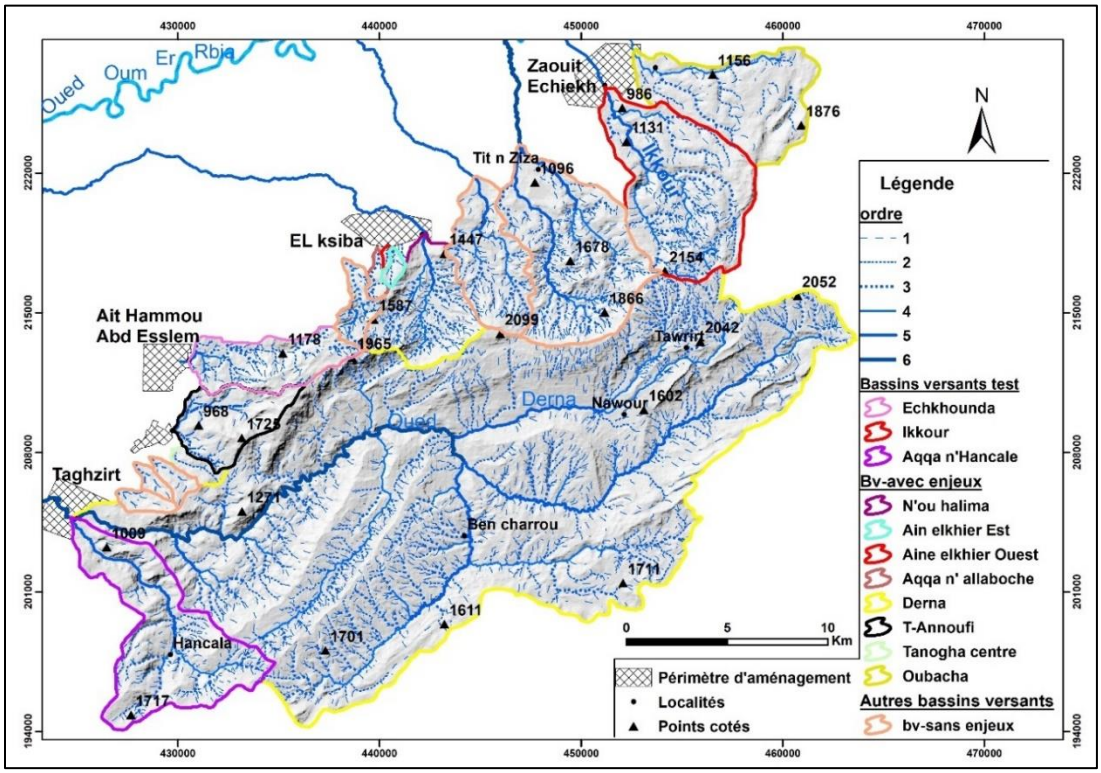


Tableau 2. 4 Caractéristiques du réseau hydrographique des bassin versant du "dir" de Béni-Méllal.

	Bv-Derna		Chaabat Tanogha centre		Chaabat Annofi		Bv- Oubacha		Bv-Aggbalou n'ou,Hlima	
Ordre	Nb	L. km	Nb	L. km	Nb	L. km	Nb	L. km	Nb	L. km
1	2115	797	6	1,5	36	0,1	82	31,9	288	66,2
2	503	291	1	3,0	11	0,1	17	14,1	75	26,3
3	116	133			33	0,3	5	4,7	21	15,1
4	24	77					1	8,6	5	7,5
5	6	56							5	3,0
6	1	28								
Longueur du cours d'eau principal	56,32		3,29		3,29		9,70		2,99	
Surface BV	443,0		3,6		15,9		32,9		22,8	
Densité de drainage	3,12		1,25		0,04		1,81		5,19	

	Chaabat Aqq Noulabouch		Chaabat Ain Elkheir Ouest		Chaabat Ain El kheir Est		Bv-Ikkour		Bv-Echkounda		Bv-Aqqa n'Hançle	
Ordre	Nb	L. km	Nb	L. km	Nb	L. km	Nb	L. km	Nb	L. km	Nb	L. km
1	13	2,2	5	0,8	11	2,6	348	92,0	142	33,8	178	68,2
2	4	0,1	1	0,9	5	1,4	78	34,0	38	17,5	43	23,2
3	1	2,4			1	1,1	23	19,0	12	7,1	12	10,9
4							11	22,5	6	5,7	2	6,0
5							2	7,0	2	1,6	1	10,2
6												
Longueur du cours d'eau principal	2,90		1,02		2,11		17,80		8,07		16,41	
Surface BV	1,7		0,4		1,3		47,6		18,0		43,9	
Densité de drainage	2,91		4,37		4,02		3,66		3,67		2,70	

4. Le couvert végétal : un facteur favorisant les crues rapides dans le "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal :

Avec les caractéristiques lithologiques et de perméabilité, la couverture végétale joue un rôle dans la répartition des précipitations et est donc déterminante dans la nature de la réponse hydrologique des bassins versants à un évènement pluvial. Afin de comprendre l'action du couvert végétal sur la réponse hydrologique d'un bassin versant, *Taous (2005)* a proposé la comparaison suivante :

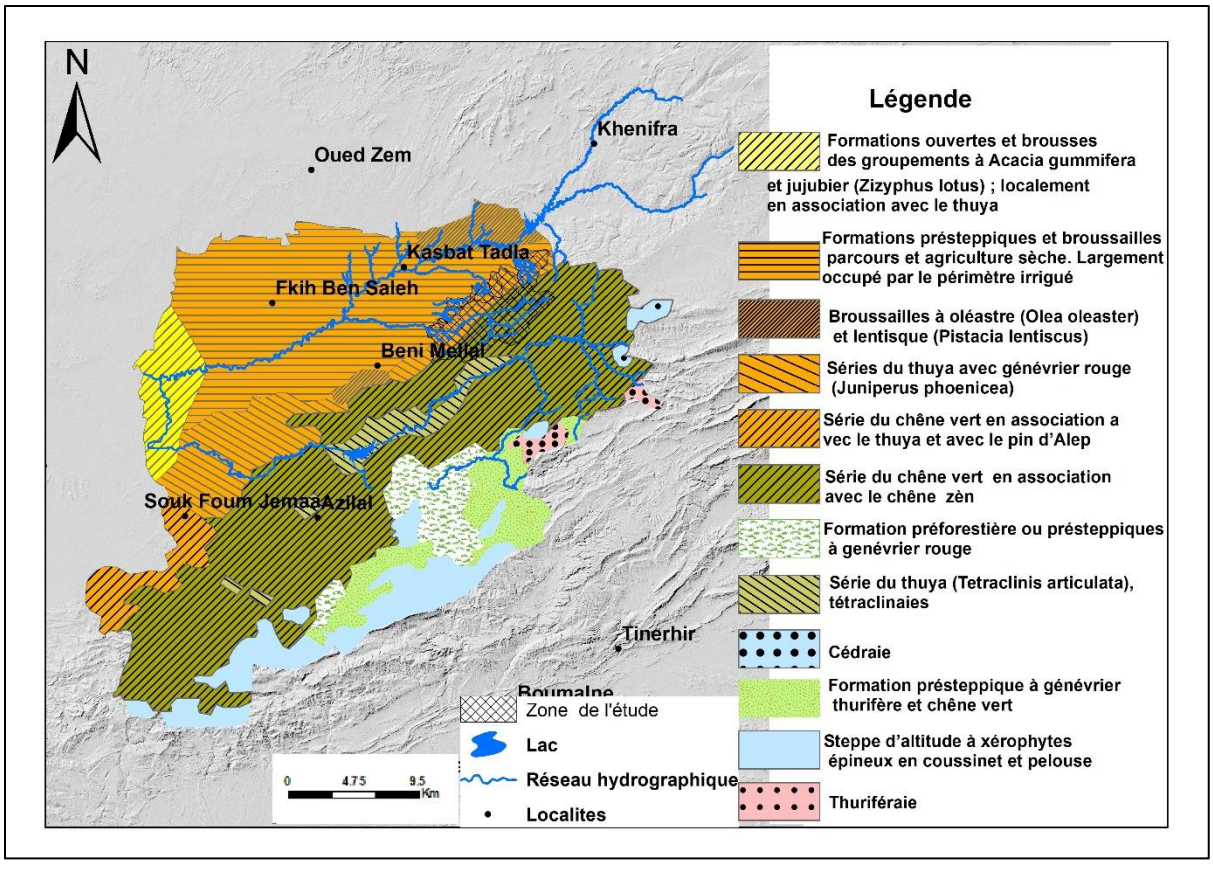
Dans un bassin versant où la végétation est très rare ou absente, la circulation de l'eau dépend principalement de la lithologie et de la pédologie. Dans le cas de bassin imperméable, les crues sont souvent brutales ;

Dans un bassin couvert de végétation, la présence de plantes tend à retenir l'eau et contribue à augmenter la capacité de rétention des sols qui sont souvent bien développés dans ces cas. La concentration des écoulements s'y trouve donc plus ou moins amortie, selon la nature et l'importance de la couverture végétale.

Le terrain étudié appartient en majorité à l'étages bioclimatique subhumide (SAUVAGE, 1963). Il connait une nette dominance du chêne vert, chêne zen et des matorrals à thuya, avec du cèdre en altitude (carte 2.10).

La forêt apparaît néanmoins comme dégradée ce qui favorise des phénomènes naturels telles que l'érosion hydrique et les crues.

Carte 2. 10 Le domaine de l'étude dans le contexte de la couverture végétal.



Source : Taïbi et al., 2015

4-1 La dynamique du couvert végétal dans le "dir" de Béni-Méllal:

4.1.1 Méthodologie et données utilisées:

La dynamique des modifications du couvert végétal est appréciée entre 1987 date de la première image d'observation de la terre que nous avons pu acquérir et 2014. Pour 1987 il s'agit d'une image Landsat TM datant du 07.05.1987. L'image de 2014 est acquise par le capteur OLI le 01/05/2014. Ces images d'une résolution spatiale de 30m compatible avec l'objet d'étude, la végétation, ont fait l'objet d'un traitement sur le logiciel ERDAS Imagine.

Pour dériver des classes thématiques du degré de végétalisation du sol à partir des images Landsat nous avons suivi la démarche méthodologique dont les grandes étapes sont les suivantes :

- La recherche documentaire a permis de dresser les grands thèmes de l'occupation du sol ainsi que les facteurs de dégradation du sol,
- L'analyse des cartes topographiques au 1/50000 ont permis d'appréhender et de délimiter les grands ensembles du milieu physique et d'acquérir les connaissances de base sur l'état du couvert végétal,
- Classification thématique des images à partir d'une méthode supervisée (indice, échantillonnage sur le terrain)
- Validation des résultats à partir de matrices de confusion et de confirmation sur le terrain.

4.1.2 Données et documents utilises:

Le choix des scènes est dicté par les critères suivants :

- .Le plus grand écart temporel entre les images retenues ;
- Dates similaires
- Emprise de l'image couvrant l'ensemble du domaine de l'étude
- La couverture nuageuse minimale.
- Sur cette base nous avons téléchargé 2 images Landsat distantes de 36 années à partir du site http://glovis.usgs.gov.edu/ et « http://glcf.umiacs.umd.edu/ ».

Tableau 2. 5 : Caractéristiques techniques des données satellitaires utilisées :

	Satellite	Date d'acquisition	Mode spectrale	Résolution	nuages
Scène 1	Landsat-5 (TM)	07.05.1987	Multispectral	30 m pour les canaux 1, 2, 3 4, 5, et 7	0%
Scène 2	Landsat OLI	01. 05.2014			

Comme documents complémentaires les images dans Google-Ozi ont été utilisées pour la validation de la carte de végétation produite pour 1987 et pour la mise à jour des données antérieures aux cartes topographiques, photographies aériennes et autres et les cartes topographiques ont servi de support à l'information thématique dérivée.

Nous avons également arpenté le terrain pour d'une part prendre des zones d'échantillonnage qui servent à la classification et sa validation. Le deuxième objectif a été la réalisation d'une enquête à destination de la population et des forestiers visant à comprendre le phénomène de dégradation du couvert végétal.

Sur la base de l'ensemble de ces documents la méthodologie aboutissant à la cartographie diachronique de la végétation sur le "dir" de Béni-Mélla1 comprend les étapes suivantes (fig 2.5) :

1- Extraction de la portion de la scène satellitaire correspondant à la zone d'étude ;
2- Calcul d'indices de végétation : IVN = (Pir – R) / (Pir + R)
3- Les valeurs d'indices ont ensuite été "seuillées" de manière à obtenir les 3 classes correspondant à matorral dense, matorral dégradé et sol nu.
4- La validation des résultats, par comparaison avec la vérité du terrain et calcul des matrices de confusions ;

L'évaluation de la performance de la classification supervisée sur les deux images "Landsat OLI" et "Landsat TM " a été effectuée en calculant « la matrice de confusion » entre les résultats obtenus et la réalité du terrain. Elle permet de vérifier si les « pixels tests » ont été affectés à la bonne classe de sortie. Pour cela on a choisi aléatoirement 104 points de vérification pour l'image "Landsat OLI" pour lesquels nous nous sommes rendus sur le terrain. Pour l'image "Landsat TM » 116 points ont été comparés avec l'occupation du sol vu dans l'image Google Earth. La précision de la classification est comparable et acceptable pour les deux images avec 83.1% de pixels correctement classés pour 2014 et 82.6% pour 1987.

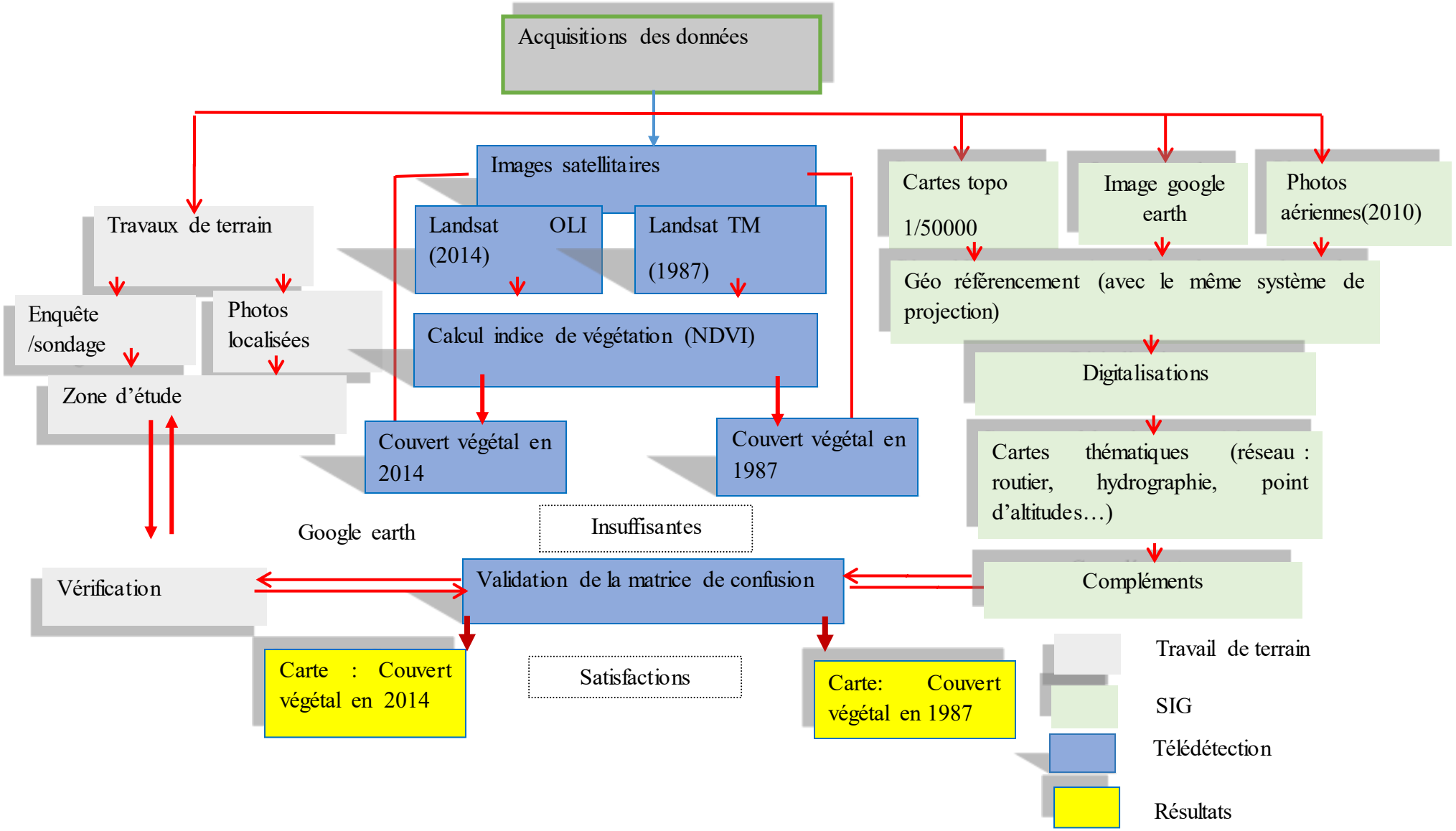


Figure 2. 7 : Méthodologie et organigramme des étapes et des opérations suivies dans l'étude diachronique.

4-2 Résultats et discussions:

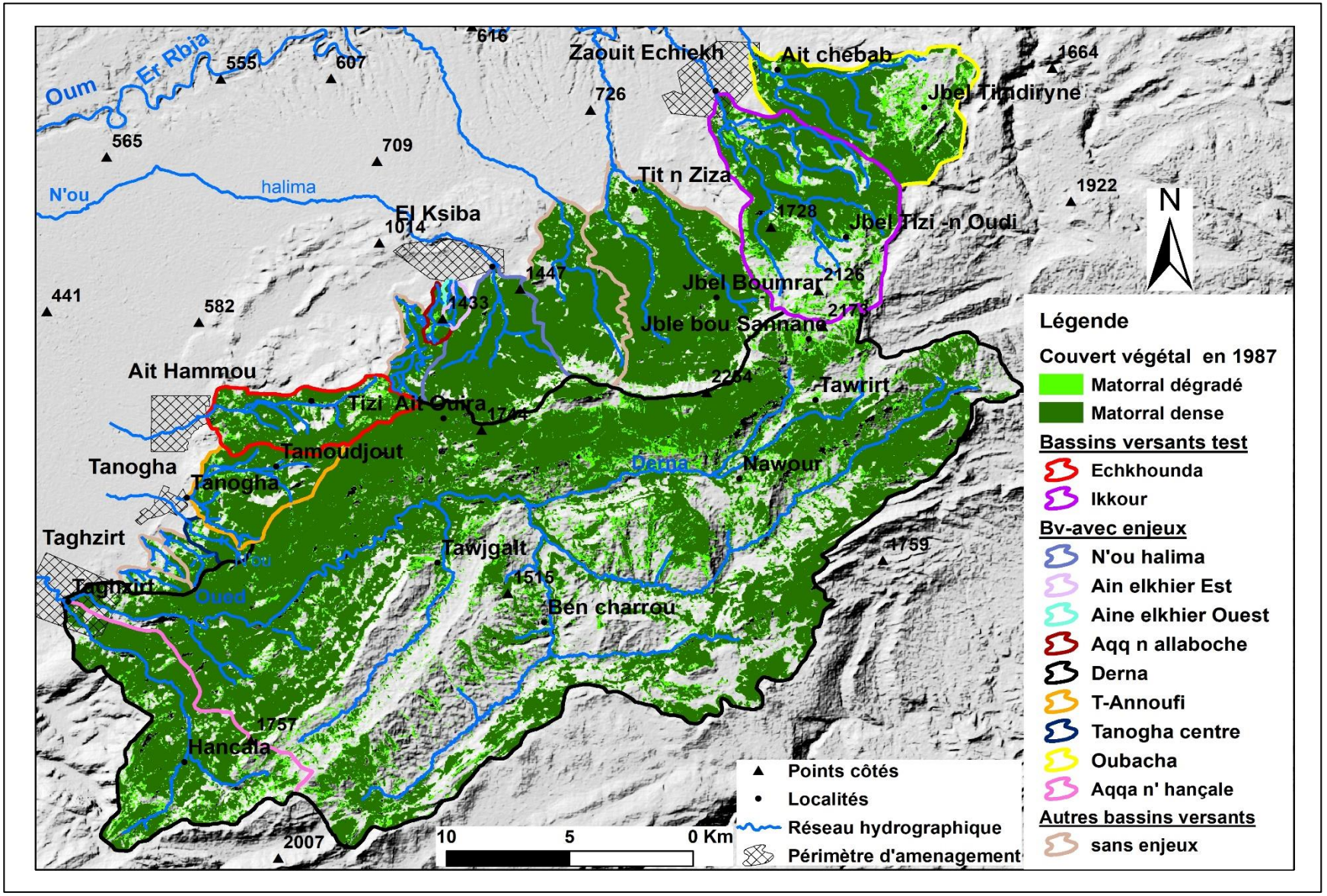
Sur les 626.5 km² de la surface cartographiée195 km² (31%) sont couvert par de la végétation avec respectivement 16% de matorral dense et 15% de matorral dégradé (carte 2.11 et tableau 2.6).

La densité du couvert végétal dans les bassins versants du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal varie d'un bassin à l'autre, et dans le même bassin de l'amont vers l'aval. D'une manière générale absente dans la partie amont elle fait son apparition progressivement et va en se densifiant vers l'aval. Dans la moitié sud du domaine les bassins versants ont le taux de couvert végétal le plus faible, environ 25%. Dans la partie centrale le taux de recouvrement est le plus fort, de l'ordre de 70%. Dans la partie nord le taux de recouvrement est de 45%.

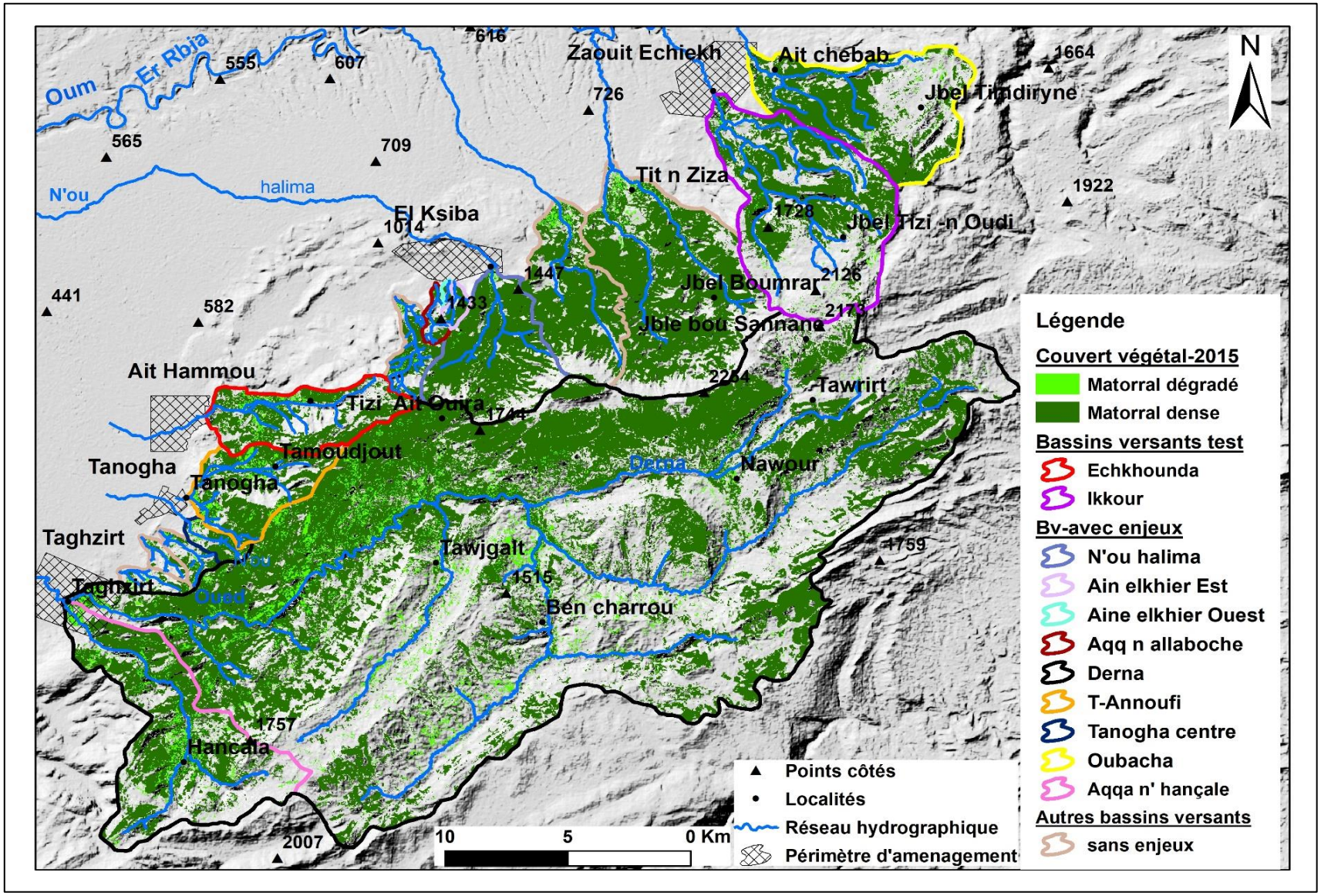
En 2014 le taux de recouvrement par la végétation du domaine d'étude n'est plus que de 14%. Au regard des 31 % en 1987 années auparavant il apparaît que l'érosion du couvert sur les 30 dernières, très importantes, touche l'ensemble des bassins versant du domaine y compris ceux qui était fortement végétalisés comme l'atteste le cas du bassin de l'Oued d'Aghbalou n'ou Halima qui a vu son taux de recouvrement par la végétation passer de 80% à 40%. A l'échelle du domaine d'étude le taux de recouvrement à chuter de 16.5 %.

Globalement, la végétation du "piémont" de l'Atlas de Béni-Méllal, se caractérise par une répartition variable, d'un bassin à l'autre, et entre l'amont et l'aval des bassins. Ces derniers, se distinguent également par une végétation dense et importante (Matorral dense), en comparaison avec la végétation de faible densité (Matorral dégradé). En outre, la proportion de 14.7%, représentée par la végétation du piémont de l'Atlas de Béni-Méllal, reste très faible (carte 2.12 et tableau 2.6).

Carte 2. 12 : carte du couvert végétal du piémont de l'Atlas de Béni-Méllal en 1987.



Carte 2. 13 : carte du couvert végétal du piémont de l'Atlas de Béni-Méllal en 2014.



La dynamique du couvert végétal dans les bassins versants du "dir" de Béni-Mélla1 entre 1987-2014 est appréciée en comparant les taux de recouvrement de chaque classe pour les deux années et à partir du TEC entre les deux années avec :

$$TEC = \frac{(\mathbf{Scannée1} - \mathbf{Scannée2})/\mathbf{Na}}{(\mathbf{Scannée1} - \mathbf{Scannée2})/\mathbf{2}} \times \mathbf{100}$$

TEC : Taux d'évolution du couvert végétale (%) ;

Sc année1 : Superficie du couvert végétal, dansla dernière année (2014) ;

Sc année2 : Superficie du couvert végétal, dans la 1ére année (1978) ;

Sur le "dir" de l'Atlas de Béni-Mélla1 entre 1987 et 2014 on enregistre une baisse de la couverture végétale de 103 km² soit une baisse de 16%.

On peut noter que tous les bassins ont connu une diminution significative de la couverture végétale. Cette baisse peut être marquée, 35% pour le bassin d'Arhbalou n'ou 40% pour celui d'Halima ou plus limitée, de l'ordre de 12% pour les bassins d'Ain Elkheir et d'Aqqa n'Hançale (tab 2.6).

Planche photos 2. 1 : vues sur les niveaux de dégradation du couvert végétal dans le « dir» de Béni- Mellal :



L'action de l'homme et la dégradation du couvert végétal dans les versants.



Exemple sur le degré de dégradation du couvert végétal dans les versants NW du «dir» de Béni-Mellal :

Tableau 2. 6 : L'évolution du couvert végétal du piémont de l'Atlas de Béni-Méllal entre 1987 et 2014 :

		1987				2014				Evolution	
BV	Sup en km²	Matorral dense	Matorral dégradé	SOMME km²	TEC	Matorral dense	Matorral dégradé	SOMME km²	TEC	évolution en km²	TEC
Oued Derna	443.49	56.7	62.56	119.26	26.89	41.84	18.28	60.12	13.56	-59.14	-13.34
Oued Echkounda	17.95	0.82	2.44	3.26	18.16	1.01	0.88	1.89	10.53	-1.37	-7.63
Tanogha centre	3.59	0.54	1.1	1.64	45.68	0.15	0.51	0.66	18.38	-0.98	-27.30
Châabat Annofi	15.87	0.46	4.01	4.47	28.17	1.7	1.45	3.15	19.85	-1.32	-8.32
L'oued Aghbalou n'ou Halima	17.95	8.4	6.03	14.43	80.39	6.13	1.2	7.33	40.84	-7.1	-39.55
Châabat Aqqa Noulabouch	1.65	0.46	0.14	0.6	36.36	0.05	0.006	0.056	3.39	-0.544	-32.97
Ain Elkheir Ouest	0.39	0.07	0.08	0.15	38.46	0.09	0.01	0.1	25.64	-0.05	-12.82
Ain Elkheir Est	1.25	0.7	0.15	0.85	68.00	0.39	0.002	0.392	31.36	-0.458	-36.64
Oued Ikkour	47.64	16.25	5.75	22	46.18	4.89	0.56	5.45	11.44	-16.55	-34.74
Oued Oubacha	32.85	11.69	3.44	15.13	46.06	4.89	0.54	5.43	16.53	-9.7	-29.53
Sous bassin Aqqa n'Hnçale	43.85	3.9	9.41	13.31	30.35	4.7	2.69	7.39	16.85	-5.92	-13.50
SOMME	626.48	99.99	95.11	195.1	Moyenne 42.25%	65.84	26.128	91.968	Moyenne 18.94%	-103.132 km²	
	TEC 1987= 31.14					TEC 2014 = 14.68				TEC = -16.46	

Donc, à l'exception du bassin de Châabat Annofi, qui a connu une dynamique positive de sa couverture végétale (Matorral dense) de 1.2% la végétation a enregistré une diminution dans tous bassins versants. A l'échelle de la zone la baisse annuelle est de 0.16% soit 2.8 km^2.

Le phénomène de dégradation marquée du couvert végétal sur les presque 4 dernières décennies, constaté par notre analyse diachronique, sont les conséquences de facteurs naturels et humains. Les "facteurs naturels" sont essentiellement la sécheresse marquée qu'a connue le Maroc entre les années 1980 et 1990 du siècle dernier.

Les "facteurs humains" peuvent être résumés, dans l'exploitation irrationnelle des ressources forestières afin d'utilisation des produits forestiers et plus particulièrement dans la production clandestine de "charbon de bois". Le déboisement et le défrichement de la forêt sont également liés à l'expansion des terres agricoles et des zones de construction non autorisés. Cet état de fait est lié à des facteurs juridiques comme l'incapacité des "Lois sur la Forêt" à protéger l'environnement et le couvert forestier du domaine public, ainsi que le fait qu'un nombre important de zones boisées, appartiennent aux "ayants-droit". A cet égard on peut noter que 18% de la couverture forestière, dans la province de Béni-Méllal, n'est pas encore intégrée dans le domaine public forestier. Ceci, couplé à la faiblesse du nombre de cadres forestiers, rend difficile le suivi des irrégularités (injonctions, infractions), puisqu'il est enregistré chaque année, environ 1400 infractions qui concernent, soit le labourage en forêt, la carbonisation, le pâturage, ou le déboisement (Délégation Régionale des Eaux et Forêts, 2018). Enfin nous pouvons également évoquer comme origine de la dégradation du couvert végétal l'impact des incendies de forêts.

Cette dégradation de la végétation a un impact sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants et plus particulièrement sur la genèse des crues.

4-3 L'impact de la dégradation du couvert végétal, sur le milieu physique et sur les activités humaines :

a) L'impact sur le fonctionnement des bassins versants et la genèse des crues :

Le couvert végétal, joue un rôle important dans la régulation de l'écoulement des cours d'eau, d'une part, et affecte le fonctionnement des bassins versants et leur temps de réponse, d'autre part. La dégradation de la végétation, en plus des fortes pentes, les petites superficies des bassins versants, les précipitations concentrées est un facteur à la genèse de débits torrentiels. Ce dernier a influencé la dynamique fluviale et causé des inondations torrentielles qui ont touché la population, l'infrastructure, l'environnement… etc, surtout au niveau de l'aval des bassins versants, avec une fréquence très importante des crues. Ces crues constituent un aléa très dangereux comme l'illustre par exemple la crue torrentielle inondable, qui a causé 8 morts et l'effondrement de plusieurs maisons, ponts et infrastructures.

Planche photos 2. 3 : vues sur l'impact de la dégradation du couvert végétal, sur le fonctionnement des bassins versants et ses influences sur l'espace et l'homme :



L'influence de la dégradation du couvert végétal sur le débit (débits torrentiels) :



La dégradation du couvert végétal un des facteurs qui génèrent les inondations torrentielles qui touchent le «dir» de Béni-Méllal

b) L'érosion hydrique et ses influences :

La dégradation du couvert végétal, a causé une forte érosion hydrique, affectant la qualité des sols, et la superficie des terrains agricoles, ce qui a influencé le rendement des activités agricoles. Cette situation a poussé la population locale, à changer ses activités ou à immigrer pour chercher d'autres alternatives. L'érosion a eu aussi, des impacts sur les agglomérations et sur les infrastructures (l'envasement des canaux d'assainissement et les réseaux routiers).

Planche photos 2. 4 : : les deux photos illustrent les cas de l'érosion, comme résultats de la dégradation.



Vue sur l'influence de la dégradation du couvert végétal, sur la dynamique de l'érosion et ses influences sur les versants et les sols



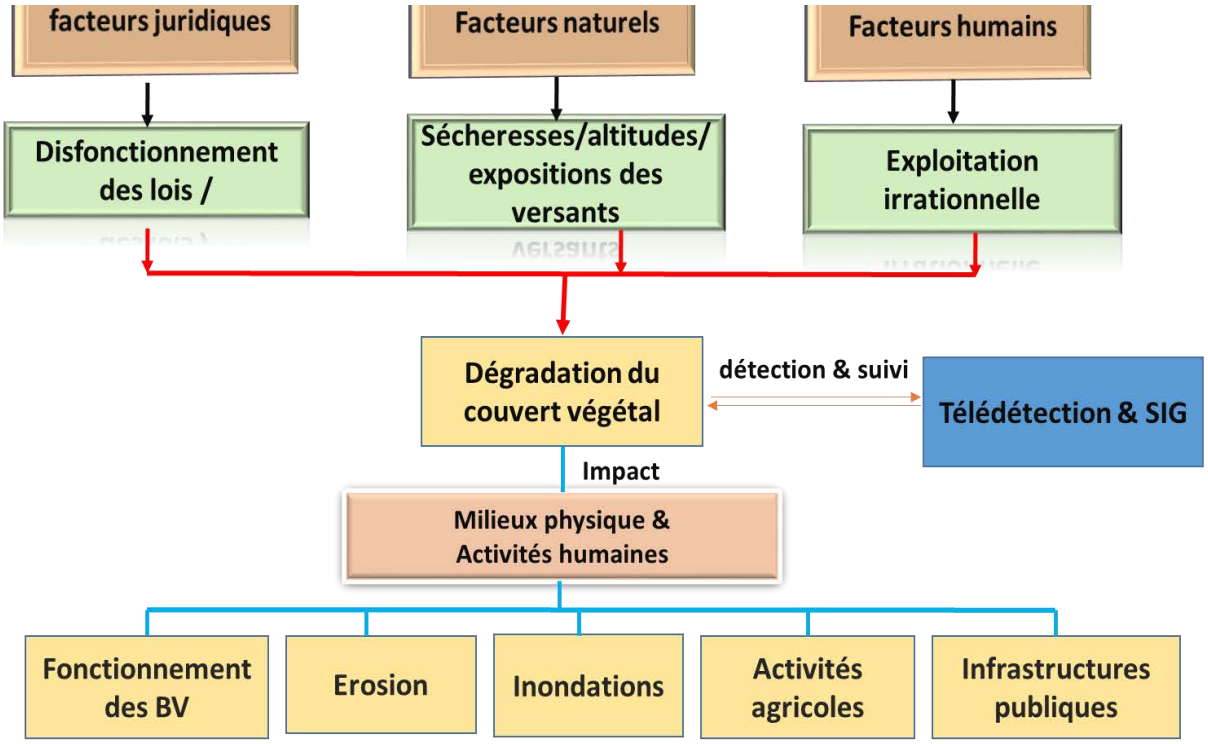
L'impact de l'érosion sur les infrastructures publiques

Cette brève revue, montre la place que peut prendre la télédétection dans ce domaine. En effet, la télédétection peut être utilisée, comme outil d'aide à la décision, appliqué à la gestion des milieux forestiers.

L'étude diachronique du couvert végétal, montre qu'entre 1987 et 2014, cette couverture végétale a évolué de manière négative**.** Le travail de terrain a montré aussi, que la dégradation de ce couvert, avait des conséquences sur la biodiversité végétale, sur le fonctionnement des

bassins-versants, sur la circulation des eaux, sur la stabilité des sols, et sur les productions agricoles. En effet, la diminution du potentiel végétal est liée à la coupe sauvage des espèces végétales, à l'exploitation extensive des surfaces cultivables, au surpâturage et aux feux de forêt. L'érosion hydrique entraîne aussi, un appauvrissement de l'espace dans tous les domaines : biodiversité, sols, productions agricoles et localisation des populations. Le schéma suivant, résume les processus de la dégradation du couvert végétal et ses impacts sur le «dir» de Béni-Mellal.

Figure 2. 8 : Processus de l'impact de la dégradation du couvert végétal sur le milieu physique.



Ce qui demande, des interventions pour la gestion et la conservation de ce patrimoine naturel, à travers les différentes techniques mises en œuvre. Dans ce cadre, nous proposons les suggestions suivantes :

- Une gestion participative et intégrée des ressources forestières ;
- La sensibilisation à la préservation du couvet forestier ;
- L'amélioration des techniques mécaniques de lutte anti-érosive ;
- L'intégration de la population locale, dans la protection et la gestion des forêts ;
- Le renforcement des services forestiers ;
- L'implication de tous les intervenants, dans la programmation et l'activation de la recherche scientifique forestière ;
- L'encouragement de l'écotourisme local ;
- L'aménagement des bassins-versants ;
- La création d'un comité de coordination, pour l'orientation de la recherche forestière ;
- La création d'un comité scientifique et technique, ayant pour but, de suivre et d'évaluer l'état d'avancement des recherches.

Conclusion :

L'analyse des caractéristiques physiographiques met en évidence que les bassins versants du "dir" de Béni-Mélla1 sont très favorables au développement de crues rapides. On retiendra à cet égard que la zone est marquée par une forte irrégularité topographique et un caractère accidenté. Ces bassins ont donc un caractère intramontagnard marqué, de formes plutôt compactes, drainés par un réseau hydrographique dense mais désarticulé. Le couvert végétal occupe une faible surface du fait de sa dégradation importante ces dernières décennies ce qui est un facteur favorisant des crues surtout dans un contexte de bassins exposés aux masses d'air humide venant de l'atlantique.

Notons également que les bassins versants instrumentés présentent des caractéristiques physiographiques semblables aux autres bassins ce qui les rend représentatifs du fonctionnement hydrologique du "dir" de Béni-Mélla1.

Chapitre 3 : Données pluviométriques : contrastes spatiotemporels des précipitations:

Sommaire :

Introduction:

I) Contexte climatique général:

II) Le réseau de mesure pluviométrique :

1. Présentation des stations:

2. Critique des données et comblement des lacunes:

3. Choix de la station représentative et périodes retenues:

III) Analyses de la variabilité temporelle:

1. Les précipitations annuelles:

2. Les précipitations mensuelles:

3. Les précipitations journalières:

IV) Implantation d'un pluviomètre au sein d'un bassin représentatif et valeurs :

V) Les types de temps à l'origine des précipitations sur le "dir" de Béni-Méllal:

VI) Spatialisation des précipitations : choix de la méthode et application:

1. choix de la méthode:

2. resultats:

Conclusion :

Introduction :

Les caractéristiques d'une crue sont le résultat de processus atmosphériques à l'origine de l'eau alimentant le bassin versant, des processus qui génèrent le ruissellement ainsi que la propagation de la crue dans le système fluvial (Merz et al., 2014). Donc, comme facteur principal à l'origine des crues les caractéristiques pluviométriques sont analysées dans ce chapitre.

Les valeurs relevées aux stations constituent la base essentielle pour l'étude de la variabilité et le contraste spatio-temporel des précipitations (Willmoutt 1994). Or, la collecte des données, étape décisive dans la réalisation de toute étude scientifique rigoureuse, relève du défi pour les chercheurs au Maroc pour plusieurs raisons. La première tient à la faible densité de postes implantés et donc au faible nombre de séries de valeurs disponibles. Deuxièmement lorsqu'elles existent ces séries collectées et bancarisées par les services de l'état ne sont pas forcément rendues disponibles. Troisièmement ses séries sont entachées de lacunes plus ou moins importantes. Enfin une difficulté supplémentaire relative à notre objet d'étude, les crues éclairs, qui nécessitent des valeurs de précipitations sur des temps courts (heure, minute) alors que le réseau de mesure est constitué en grande majorité de pluviomètres totalisateurs relevés sur 24 heures.

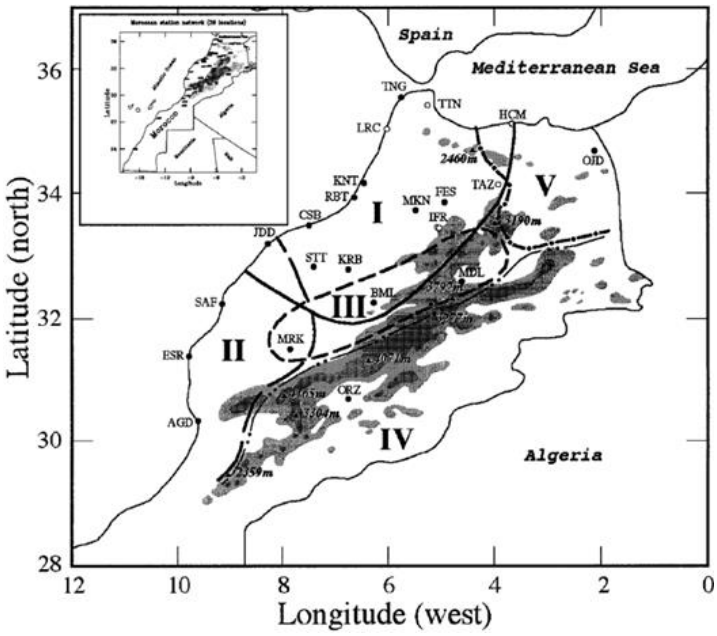
C'est la raison pour laquelle ce chapitre inhérent à la caractérisation des précipitations aux différents pas de temps débutera par la critique des données collectées.

I) Contexte climatique général:

Le Maroc appartient pour sa moitié Nord au bassin méditerranéen et bénéficie donc d'un climat de type méditerranéen dont les caractéristiques sont un été chaud et sec et un hiver doux et humide. D'après Bolle (in Driouech, 2010) l'explication est que cette région se trouve sous l'influence de la branche descendante de la circulation de Hadley en été et des flux d'ouest de l'océan Atlantique en hiver ; Ces derniers induisent 70% à 80% des pluies entre octobre et mars et 40% entre décembre et février (Harding et al., 2009). Une autre caractéristique des précipitations du secteur et leur forte variabilité interannuelle exprimée par un écart type compris entre 30 et 40% (Driouech, 2010). A cet égard de nombreuses études ont montré que le montant des précipitations est négativement corrélé à l'Oscillation Nord Atlantique.

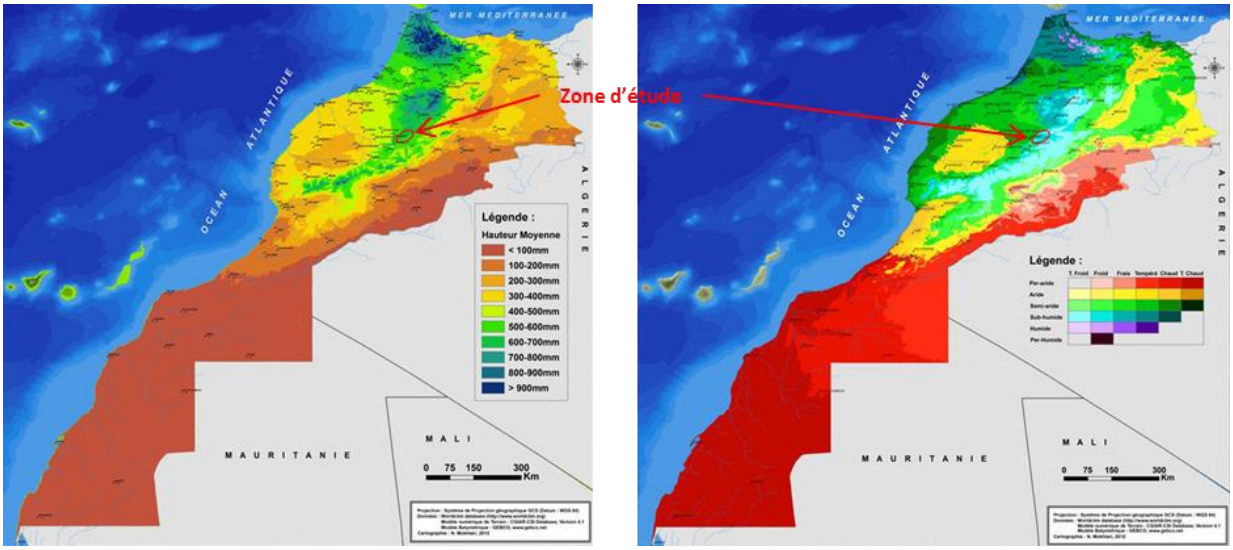
A partir des données pluviométriques de 22 stations marocaines El Hamly (2004) a régionalisé les précipitations hivernales (octobre/avril) sur la période 1935-95. Le secteur du "dir" de Béni-Méllal appartient à la région 1 et 3 (fig 3.1) ce qui correspond à la région 2, nommée "Atlantic" de la régionalisation de Knippertz (2003). Dans cette région qui couvre la zone à l'ouest des montagnes de l'Atlas ouverte sur l'Atlantique Driouech (2010) à noté « la pluviométrie hivernale, influencée, en plus de l'ONA, par le déplacement vers le sud de la trajectoire des perturbations des moyennes latitudes, les dépressions locales et les advections d'ouest ramenant de l'air humide ». On peut noter que pour la région 3 l'effet orographique renforce la pluviométrie d'hiver et les pluies d'orages l'été.

Figure 3. 1 : Régionalisation des précipitations d'octobre/avril de 1932-95 (El Hamly, 2004).



Au final, la région du "dir" de Béni-Mellal se situe à la limite entre deux étages bioclimatiques (fig 3.2). En effet les parties basses où sont installées les villes appartiennent à l'étage semi-aride froid mais elles sont adossées au contrefort du Moyen-Atlas s'inscrivant dans l'étage sub-humide tempéré qui coure vers le nord jusqu'à Immouzzer Kandar. Les précipitations y atteignent 700 mm (Mokhtari et al., 2014).

Figure 3. 2 : Précipitations annuelles et étages bioclimatiques du Maroc (Mokhtari et al., 2014).



Afin de scruter finement les caractéristiques spatio-temporelles des précipitations du "dir" de Béni-Mellal nous avons recueilli Les données des stations pluviométriques de la région.

II) Le réseau de mesures pluviométriques

1. Présentation des stations:

La majorité des séries de données collectées proviennent de l'ABHOER et une série a été

fournie par l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tadla (ORMVAT). Au total, nous disposons de séries de données pluviométriques enregistrées à treize postes pluviométriques (tab 3.1 et carte 3.1).

Comme commande de la réponse hydrologique les séries pluviométriques doivent faire l'objet d'une critique attentive afin de ne pas introduire de biais dans l'analyse pluie/débit sur le domaine d'étude.

On note d'emblée une faible densité des stations pluviométriques de l'ordre de 1 pour 400 km². De plus elles sont mal réparties, excentrées vers le sud, organisées le long du cours de l'Oum Er Rbia pour la moitié d'entre elles et seules trois s'inscrivent dans la montagne. Cette répartition préfigure les difficultés dans l'utilisation de méthodes de spatialisation pour proposer des valeurs au sein du domaine d'étude.

Aussi pour pallier l'absence de station au sein du domaine nous avons installé un pluviomètre dans le bassin de l'oued Ikkour.

Tableau 3. 1 : Localisation des stations.

Stations/ Postes	N°-Poste	Lambert Y (m)	Lambert Y (m)	Altitudes (m)	Gestionnaires
Moulay Bouzekri	5536	401000	207350	431	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Old Ganaou	137	398676	187372	450	Office de Mise en Valeur Agricole de Tadla
Mechra Eddahk	6472	394980	204800	406	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Chacha n'a Mellah	2558	467800	243300	685	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Ait Ouchéne	812	434200	185000	1080	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Taghzoute	7444	461400	235500	690	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Tagzirt	7488	423900	205600	565	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Taghat	4875	476400	267500	1036	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Tillouguite	8298	422670	158500	1100	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Tizi n' Isly	8500	467800	201400	1330	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Béni-Méllal	1776	409165	193045	537	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Ahmed Elhanasli	3096	452550	231600	595	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa
Kasba Tadla	4744	418980	219740	511	Agence du Bassin de l'Oum er-rbiaa

Carte 3. 1 : Répartition spatiale des stations et postes pluviométriques étudiés.

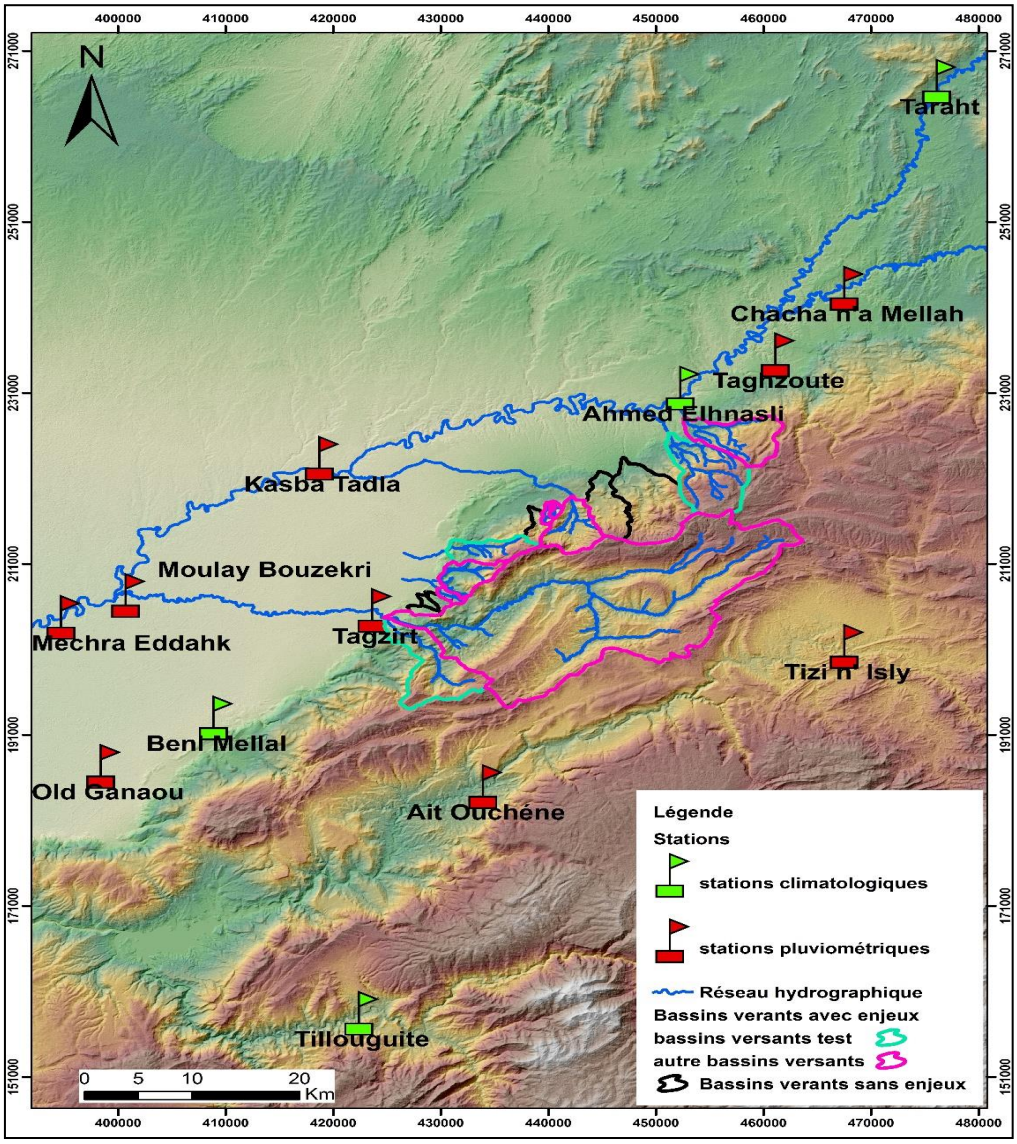
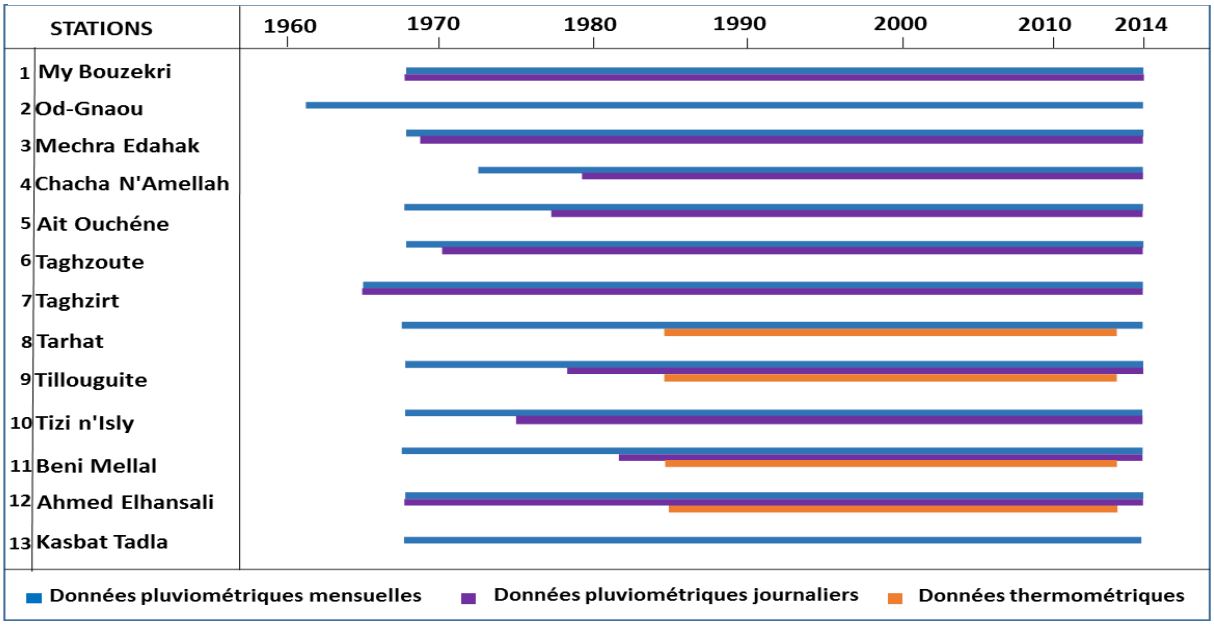


Figure 3. 3 : Chronogramme des stations pluviométriques et climatologiques utilisées.



Globalement à l'échelle mensuelle nous disposons de séries de 1967 à 2014. Cependant pour certaines stations quelques valeurs mensuelles manquent. Dans le cadre de la critique de l'ensemble de ces données nous mettrons en œuvre les méthodes pour les combler

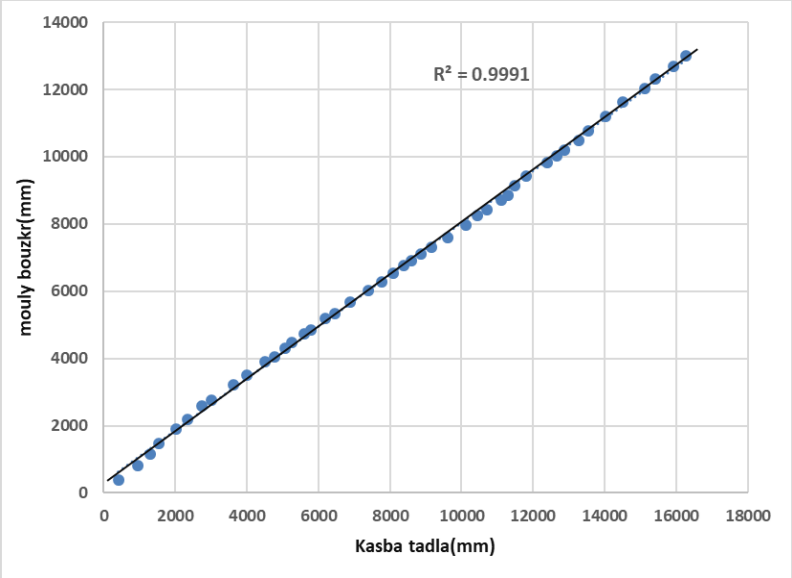
2. Critique des données et comblement des lacunes:

2-1 Critique des données :

La critique primaire des données brutes a pour objectif de s'affranchir de biais dans la mesure. Les méthodes de critique vérifient la cohérence des séries de données d'une station par rapport aux autres environnantes.

L'analyse préalable des 13 séries de données par les méthodes du simple et du double cumul n'a mis en évidence que de faibles modifications pour les stations de Tizi n'Isly, Ait Ouchene et Moulay Bouzekri (fig 3.4).

Figure 3. 4 : Double cumul de Tadla et Moulay Bouzekri.



Dans une approche plus globale la méthode du Vecteur Régionale est utilisée pour évaluer la qualité des données, pour étudier l'homogénéité spatiale des précipitations sur le domaine d'étude et pour combler les lacunes ponctuelles dans les séries.

La méthode du Vecteur Régional est un modèle simple de type A=B+E où A est la matrice des observations, B la matrice des données et E la matrice des erreurs. Le Vecteur Régional représente donc la tendance pluviométrique la plus probable de la région considérée (Hiez, 1977). La comparaison des valeurs aux stations avec le vecteur régional permet de représenter les informations pluviométriques d'une région par une séquence d'indices journaliers, mensuels et annuels (Hiez, 2002). Cette méthode fournit aux utilisateurs les fonctionnalités suivantes :

- Caractérisation des informations que contient la base de données caractéristiques, inventaire, matrice des données…).
- Définition des régions, rendant possible la division des espaces
- Critiques des observations par comparaison d'une station avec le vecteur considéré.
- Gestion des corrections avec possibilité d'actualisation et d'émission.
- Extraction des résultats, à savoir : vecteur, corrections proposées, observations déjà

corrigées.

- Création du vecteur régional de la région étudiée avec une visualisation et enregistrement éventuel du résultat.

Cette méthode a été mise en œuvre sous le logiciel « Hydracess » avec les données mensuelles des 13 stations sur la période de 1967 à 2014.

Le Vecteur Régional juge la qualité des données par un indice compris entre 0 et 10, et l'homogénéité des séries par un indice compris entre 0 et 1. Il apparaît que les séries pluviométriques des13 stations sont homogènes et de bonne qualité (tab 3.2).

Tableau 3. 2 : Les indices de qualité et d'homogénéité des stations étudiées.

Station	Id Station	Homogénéité	Qualité (/10)
Moulay Bouzekri	111_P_MPRE_(mm)	0.566	6.9
Od Ganaou	12_P_MPRE_(mm)	0.882	6.1
Mechra Eddahk	132_P_MPRE_(mm)	0.529	7.7
Chacha n'a Mellah	142_P_MPRE_(mm)	0.837	5.1
Ait Ouchéne	16_P_MPRE_(mm)	0.583	7.5
TAGHZOUTE	160_P_MPRE_(mm)	1	7.6
Tagzirt	162_P_MPRE_(mm)	0.786	7.4
TARHAT	165_P_MPRE_(mm)	1	5.3
Tillouguite	169_P_MPRE_(mm)	0.879	6.4
Tizi n' Isly	172_P_MPRE_(mm)	0.56	8.1
Béni-Méllal	40_P_MPRE_(mm)	0.782	8
Ahmed Elhanasli	65_P_MPRE_(mm)	0.771	5.8
Kasba Tadla	96_P_MPRE_(mm)	1	8.5

Les coefficients de corrélation des séries des 13 stations avec le vecteur régional supérieur à 0.72 indique que le secteur du "dir" considérée s'inscrit dans une région pluviométrique homogène (tableau 3.3).

Tableau 3. 3 : Coefficients de corrélation entre les séries de données et le vecteur régional.

Satation	Id Station	Corrélation /Vecteur	Satation	Id Station	Corrélation /Vecteur
Moulay Bouzekri	111_P_MPRE_(mm)	0.876	TARHAT	165_P_MPRE_(mm)	0.723
Old Ganaou	12_P_MPRE_(mm)	0.832	Tillouguite	169_P_MPRE_(mm)	0.751
Mechra Eddahk	132_P_MPRE_(mm)	0.929	Tizin' Isly	172_P_MPRE_(mm)	0.862
Chacha n'a Mellah	142_P_MPRE_(mm)	0.946	Béni-Méllal	40_P_MPRE_(mm)	0.896

Il en découle que nous pouvons aborder l'analyse de la pluviométrie du secteur à partir d'une de ces 13 stations que l'on peut qualifier de représentative.

2-2 Comblement des lacunes :

Les stations peuvent présenter des nombreuses lacunes sur plusieurs jours ou mois ce qui nécessite leur comblement pour disposer de séries complètes. Pour la compensation des données manquantes il existe plusieurs méthodes telles que celles basées sur la corrélation poste par poste (King. 1961 ; Bader, Broel et Delfieu 1990). Dans un contexte pluviométrique homogène nous garantissant a minima la significativité de telles corrélations, pour le comblement des séries nous avons utilisé le « Modèle de régression linéaire multiple PLS » disponible dans le logiciel "Tanagra 1.4". Le modèle de régression linéaire de cette méthode s'exprime comme suit (Chesneau, 2017) :

$\mathbf{Y}=X_1T_1+X_2T_2\ldots\ldots..X_mT_{m+}$ Résidu

Y= donnée manquante

X : donné mesurée à la même période d'une autre station

T : Coefficients de régression non normalisés par une variable cible (stations mesurées X) généré par l'algorithme PLS.

La matrice des résidus.

L'utilisation de la méthode est illustrée par l'exemple des précipitations du mois de mars de l'année hydrologique 1969/70 à la station d'Aït Ouchène (tab 3.4) :

Y=17.40*0.21323+36.20*0.3555+37.30*0.363379+21.30*0.17165+0.632265 = 34.4

Tableau 3. 4 : Exemple de la méthode de comblement adoptée.

	Ahmed El Hansli (Mars)	Ait Ouchène (Mars)	Machra Edahk (Mars)	My Bouzkri (Mars)	Tagzirt (Mars)
1969/70	17.40	34.42	36.20	37.30	21.30
1970/71	95.30	74.41	57.10	62.20	61.50
1971/72	76.50	47.34	30.10	34.70	41.30
1972/73	12.80	8.69	3.80	6.40	9.60

-	Variables cible
Input	Ait Ouchan
Ahmed Elhansli	**0.21323**
Machra Edahk	**0.3555**
My Bouzkri	**0.363379**
Tagzirt	**0.17165**
constant	**0.632265**

3. Choix de la station représentative et périodes retenues:

Pour l'étude de la répartition temporelle des précipitations, facteur prépondérant dans la genèse des crues, notre choix s'est porté sur les valeurs observées à la station de Taghzirt pour les raisons suivantes :

.la série est homogène (0.78) et de bonne qualité (7.4) et la plus longue (48 années, de 1967-1968 / 2014-2015).

.la série a le plus faible nombre de lacunes, 9 lacunes

.la station reflète le contexte topographique particulier du "dir" à 565m d'altitude entre la zone de plateau à 400m et de montagne à plus de 1000m.

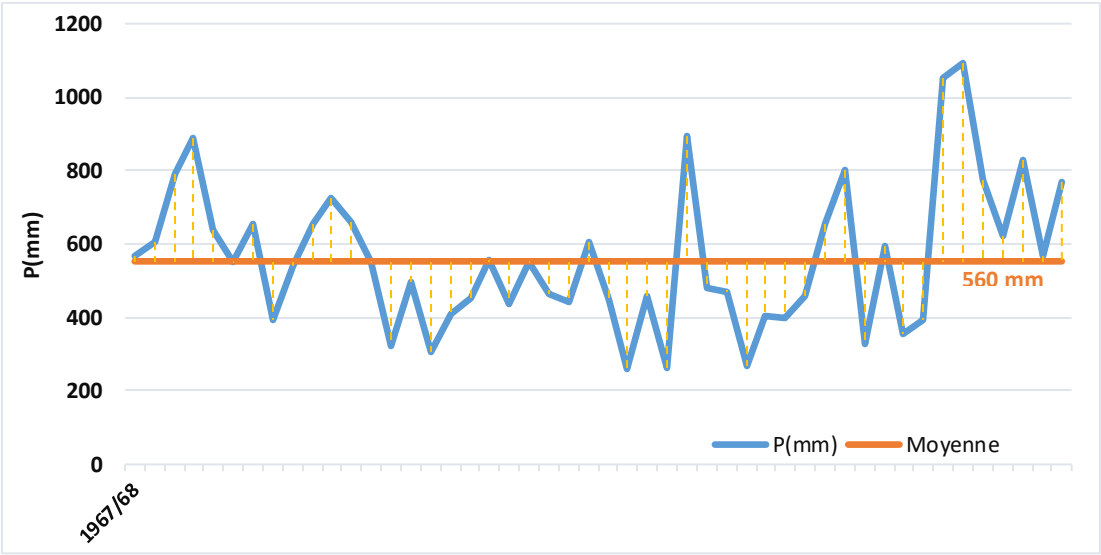
III) Analyses de la variabilité temporelle:

Situé en contexte semi-aride le "dir" de Béni-Mellal est soumis à des précipitations de fortes irrégularités spatiotemporelles.

1. Les précipitations annuelles:

De 1967/68 à 2014/2015 la valeur moyenne des précipitations annuelles est de 560mm avec un écart type de 210mm et un fort coefficient de variation de 38% traduisant l'amplitude importante entre 261mm en 1995/96 et 1093mm en 2009/2010 (fig 3.5). Cette valeur est conforme à ce que l'on trouve dans les régions du sud de la méditerranée.

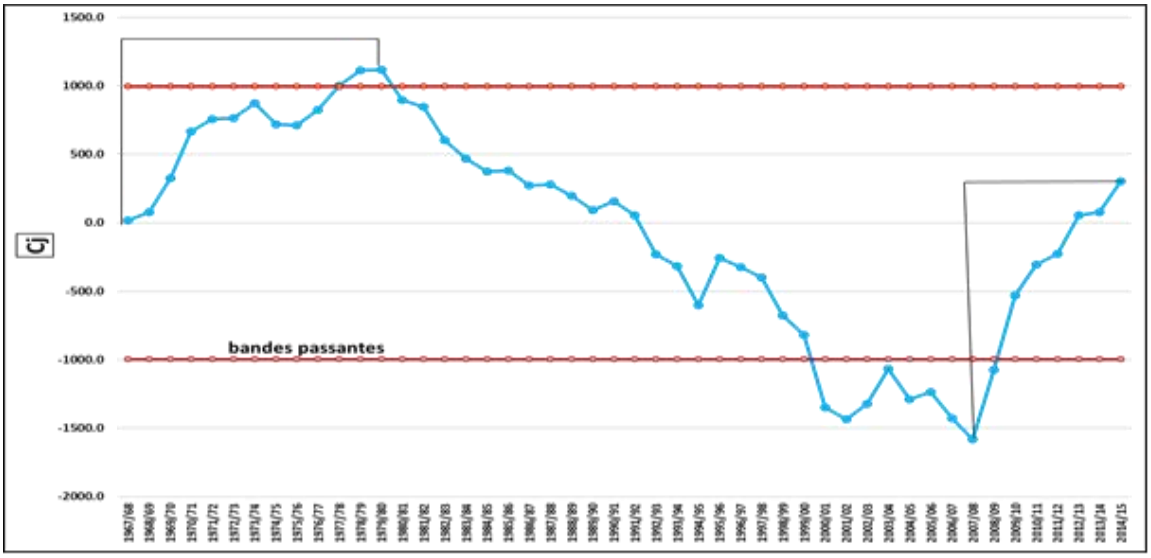
Figure 3. 5 : Précipitations annuelles à la station de Taghzirt entre 1967/68 et 2014/15.



De telles disparités dans les précipitations annuelles ont déjà été mises en évidences plus au nord dans le Moyen-Atlas septentrional. Nejjari (2001) et Qadem (2015) ont montré qu'elles s'inscrivaient dans des séries plus ou moins humides mises en évidence par des tests statistiques sur l'homogénéité des séries. Ces mêmes méthodes, CUSUM et "segmentation de Hubert" (Hubert et al.1989), ont été utilisées sur les 47 valeurs de la station de Taghzirt.

La méthode du CUSUM qui compare le cumul des valeurs à la valeur moyenne (fig 3.6) et le calcul de la bande passante à 95% mettent également en évidence pour la station de Taghzirt une série hétérogène composée de trois séries de tendance contrastée.

Figure 3. 6 : CUSUM de la série des précipitations observée à la station de Taghzirt.



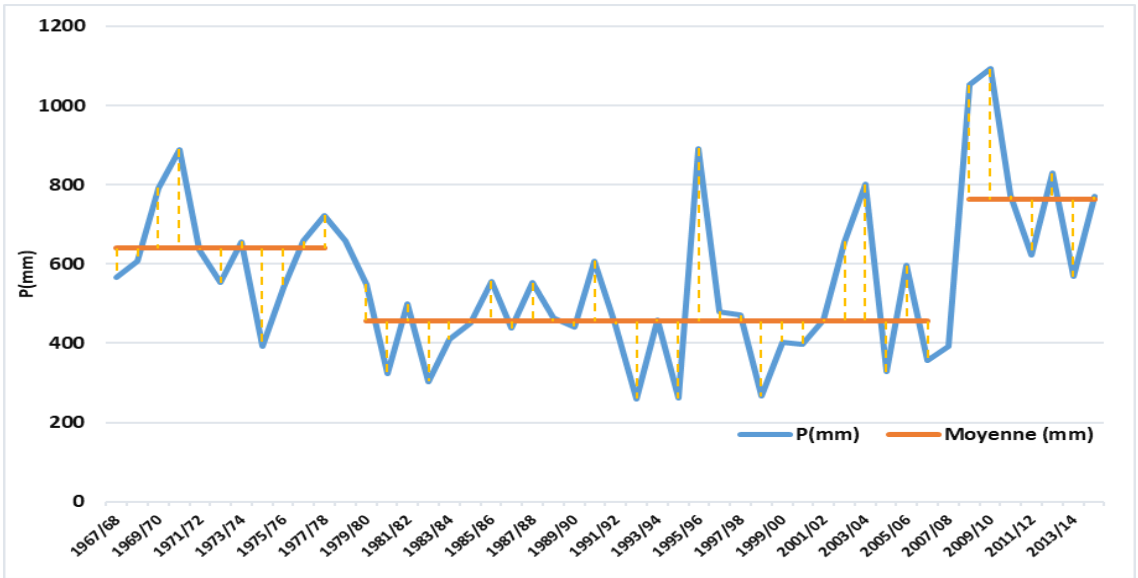
Cette hétérogénéité de la série ainsi que les périodes sèches et humides sont confirmées par la méthode de segmentation des séries chronologiques de Hubert (tab 3.5).

Tableau 3.5 : Résultat du découpage des données de pluies annuelles de la station de Tagzirt par la méthode de segmentation de Hubert.

Période	Moyennes (mm)	Ecart- types (mm)	Nombre d'années	Diagnostic
1967-68 / 2014-15	553	210	47	Série hétérogène
1967-68 /1978-79	639	127	11	Série homogène
1979-80 / 2006-07	455	172	27	Série homogène
2007-08 /2014-015	762	236	8	Série homogène

Donc la série totale montre 3 tendances (fig 3.7), deux humides de 1967 à 1979 (moyenne de 639mm) et de 2007 à 2014 (762mm) et une sèche de 1980 à 2006 (455mm).

Figure 3. 7 : résultat du découpage de la série étudiée par CUSUM.



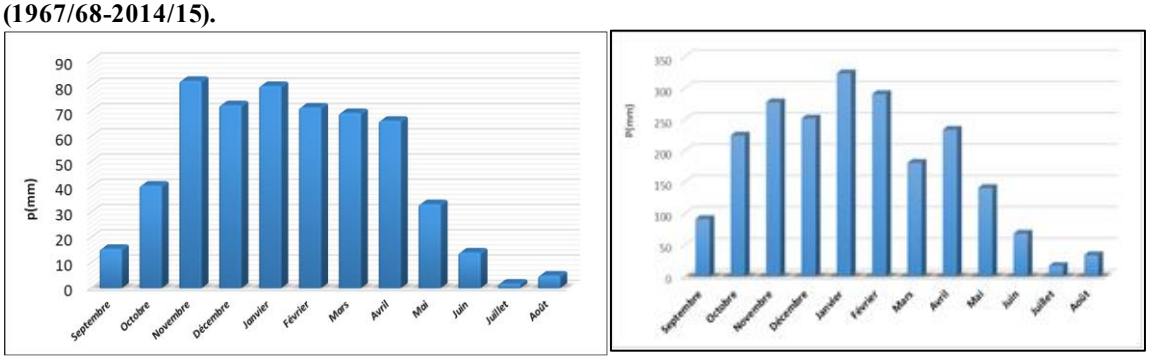
Ces résultats caractéristiques du "dir" de Béni-Méllal, extension sud du Moyen-Atlas sont comparables à ceux obtenus sur sa partie nord par Qadem (2015) et sur tout le nord du Maroc (Driouech, 2010). Signalons également que ce travail de recherche sur les crues-éclair a débuté dans la période la plus humide des presque 50 dernières années.

2. Les précipitations mensuelles:

Dans la problématique des crues l'état antécédent des sols, plus ou moins humides, à un évènement pluvieux est un facteur important dans la genèse de la crue. Le montant des précipitations moyennes et maximales ainsi que le nombre de jours de pluies par mois peuvent rendre compte dans une certaine mesure de "l'effet accumulation" dans le bassin versant.

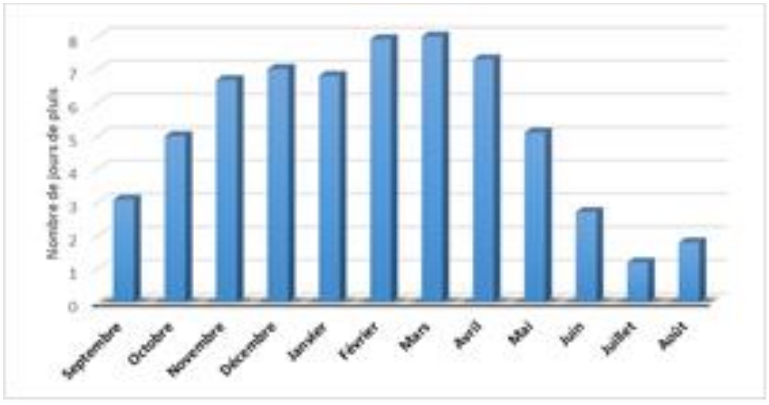
Du point de vue des moyennes mensuelles la période de novembre à avril se distingue très nettement avec des montants de l'ordre de 70mm et atteignant 80mm pour novembre et janvier (fig 3.8). La période de juin à septembre présente des montants moyens inférieurs à 15mm qui deviennent insignifiants en juillet et août (inférieur à 5mm). Octobre et mai ont des valeurs de l'ordre de 35mm.

Figure 3. 8 : Montant des précipitations moyennes et maximales par mois observés à la station de Taghzirt (1967/68-2014/15).



Les montants mensuels maximum présentent une répartition sur l'année mois tranchée. On note une période d'octobre à avril dont les valeurs sont supérieures à 150mm avec comme valeur maximale plus de 300mm en janvier. La période de juin à septembre présente des valeurs inférieures à 100m alors que le mois de mai avec 140mm a une valeur intermédiaire entre les deux périodes.

Figure 3. 9 : Nombre de jours de pluie moyen par mois observés à la station de Taghzirt (1967/68-2014/15).



Le nombre de jours de pluies par mois suit la même tendance que celle des précipitations maximums. De novembre à avril il est compris entre 6.5 et 8 pour février et mars. Il est de 5 pour octobre et mai et devient inférieur à 3 de juin à septembre.

De cette analyse des précipitations mensuelles il apparaît finalement que la période de juin à septembre, combinant de faibles montants de précipitation répartis sur peu de jours présente un faible risque de crue.

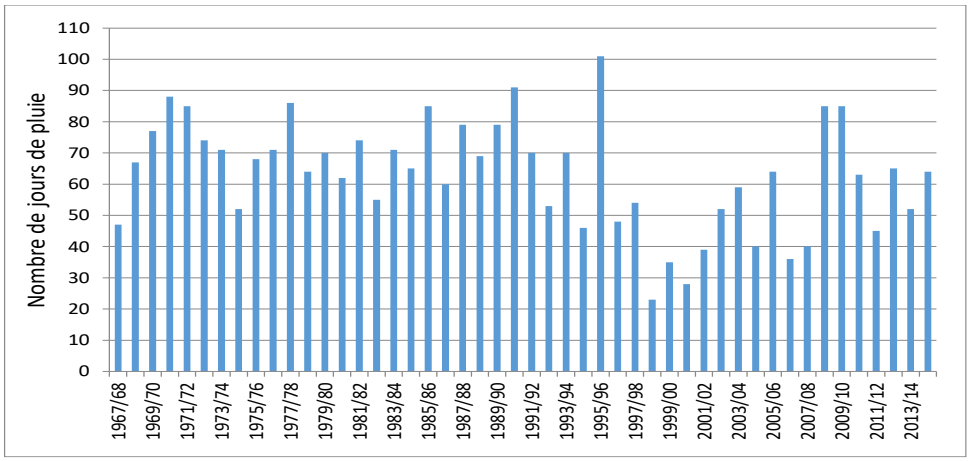
3. Les précipitations journalières:

L'analyse précédente sur le changement des montants des précipitations à l'échelle annuelle ou mensuel est informatif sur quelques aspects mais elle ne permet pas de répondre à la question relative aux évènements extrêmes que sont les crues-éclair.

Comme nous l'avons dit plus haut, compte tenu des caractéristiques des appareils de mesure pluviométrique, les précipitations totalisées sur 24h sont les plus fines temporellement disponibles. Ces observations bien que pas totalement adaptées à notre objet de recherche constituent le point focal de l'étude de la genèse des crues sur le "dir" de Béni-Méllal.

De 1969/70 à 2013/2014 le nombre annuel de jours de pluie connait une forte irrégularité avec 201 jours en 1998 et 23 jours en 2000 (fig 3.10). On constate nettement que 2000 est une année charnière entre deux périodes. En effet la période 1969/70 a un nombre de jours de pluie moyen de X (environ 65) alors que pour la seconde période, de 2000/01 à 2013/14 il est de Y (environ 50). Sur la 1ère période 9 années soit 1 année sur 3 présente un nombre de jour de pluie proche ou dépassant les 80 avec la valeur max de 101jours. Sur la 2nde période seule 1 année sur 10 atteint les 80 jours.

Figure 3. 10 : Nombre de jours de pluies à la station de Taghzirt (1967-2014).



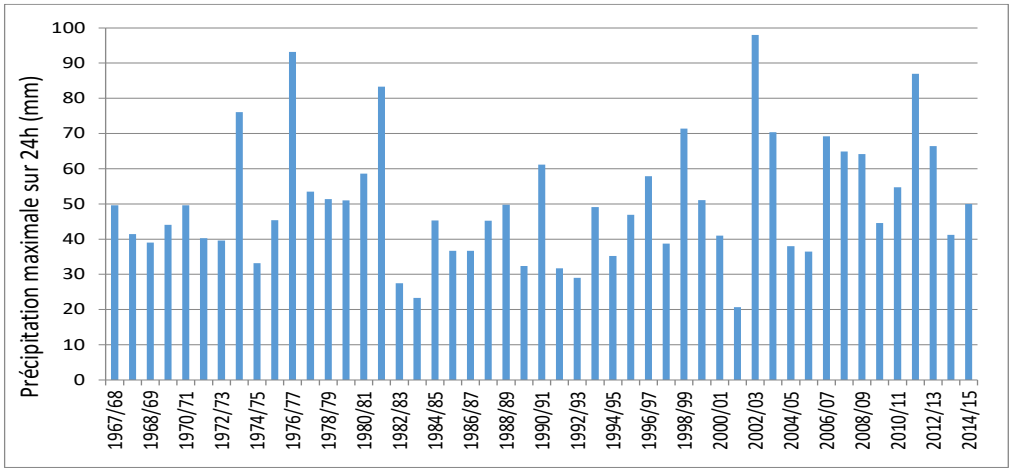
Notons qu'il n'y a pas de correspondance entre les tendances sèches et humides mises en évidence à partir des valeurs annuelles et le nombre de jours de pluies.

Mais bien plus que le nombre de jours de pluie c'est l'intensité sur 24h qui est le facteur prépondérant dans l'intensité de la crue et donc des dégâts qu'elle peut occasionner. Elles sont comprises entre 20mm/24h en 2001/2002 et 98mm/24h en 2002/03. De la même façon que l'on a pu mettre en évidence une année charnière pour le nombre de jour de pluie il est possible de retenir l'année 2001/02 comme point pivot de 2 périodes vis-à-vis des intensités sur 24h (fig

3.11). Jusqu'à 2001/2002 seules 3 années sur 36, soit 1 sur 10, ont enregistrée des précipitations sur 24h supérieures à 60mm alors qu'ensuite 7 années sur 13, soit 1 sur 2 l'ont été. De plus la valeur moyenne des précipitations maximales sur ces deux périodes varie considérablement passant de 46mm jusqu'en 2001/2002 à 60mm depuis soit une différence de 25% environ.

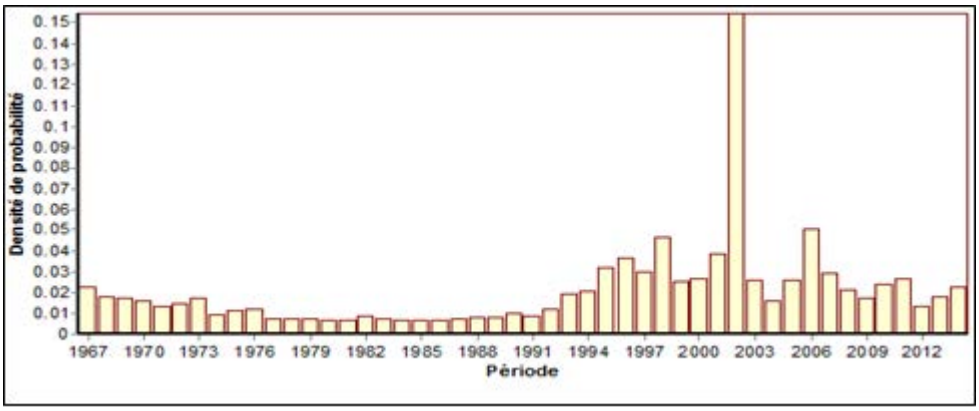
Afin de mettre en évidence de façon plus formelle cette rupture dans la série des précipitations maximales sur 24h nous avons utilisé la méthode de Lee et Heghinian (1977).

Figure 3. 11 : Précipitations maximales sur 24h enregistrées à la station de Taghzirt (1967-20015).



Il en ressort que l'année 2002/2003 marque effectivement un changement dans le régime des précipitations maximales (fig 3.12).

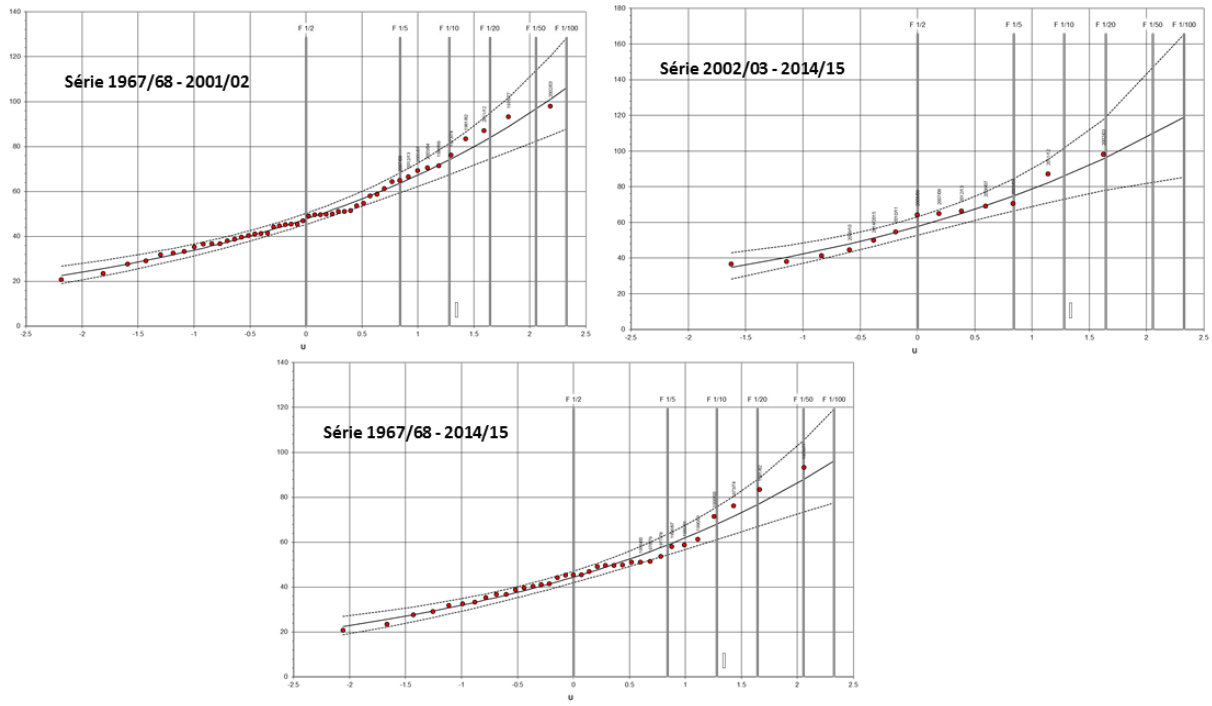
Figure 3. 12 : Densité de probabilité « a posteriori » de la position d'un changement dans la série des précipitation maximales sur 24h enregistrées à la station de Taghzirt sur la période 1967/68-2014/15 d'après la méthode de LEE et HEGHINIAN (Lee et al,1977).



Pour prolonger cette étude sur les précipitations maximums au pas de 24h nous avons ajusté les séries de valeurs à une loi de probabilité pour en calculer les valeurs fréquentielles. Ces valeurs, notamment celle d'une durée de retour de 10 ans serve au calcul de crue de projet et sont donc fondamentale du point de vue opérationnel.

Comme la démonstration la non-stationnarité des précipitations maximales au pas de 24h est faite nous avons calculé les valeurs fréquentielles par un ajustement à une loi de probabilité des deux séries, 1967/68-2001/02 et 2002/03-2014/15. A titre de comparaison nous avons également calculé ces valeurs fréquentielles sur toute la série 1967/68-2014/15.

Figure 3. 13 : Ajustement des valeurs de précipitations à la loi ln-normale pour trois périodes.



Les trois séries s'ajustent le mieux à la loi ln-normale avec un indice de confiance supérieur à 90% et un résidu à 100% inférieur à 3mm. La valeur pour une durée de retour de 2 ans est de l'ordre de 45mm pour la série totale et la série la plus éloignée dans le temps alors que pour la série la plus récente cette valeur est de l'ordre de 60mm. La valeur décennale est respectivement de l'ordre de 70mm et 86mm alors qu'en centennale elles sont de 100mm et 120mm. Quelle que soit la période de retour il y a environ 20% d'écart entre les valeurs fréquentielles des séries (tab 3.6).

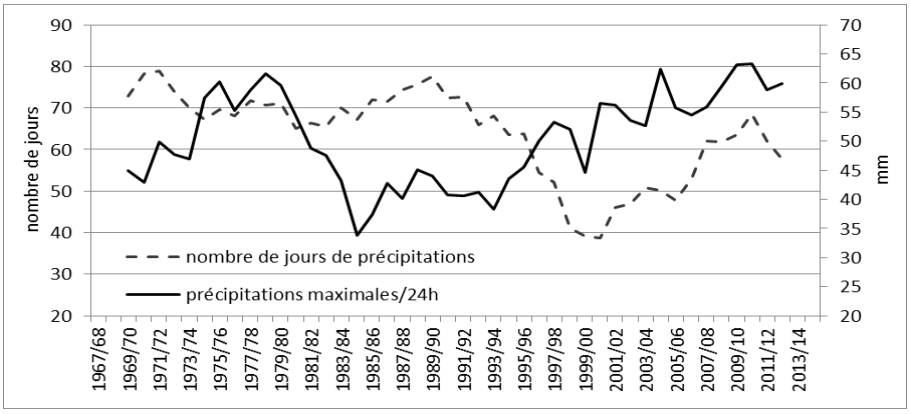
Tableau 3. 6 : Durée de retour des valeurs de précipitations sur 24h à la station de Taghzirt pour trois périodes.

Durée de retour	1967-2015	1967-2002	2003-2015
2	47.7	44.4	57.8
5	63.7	58.8	75.0
10	74.1	68.0	86.0
20	84.0	76.7	96.2
50	96.7	87.9	109.2
100	106.2	96.2	118.9
indice de confiance	98%	98%	92%

Les tendances du nombre de jours de pluie et la valeur des précipitations maximales/24h sur les presque 45 dernières années montrent qu'en 2001/2002 nous sommes entrés dans une période de plus en plus favorable à des crues graves. En effet le nombre de jours de pluie croissant induit une humectation plus fréquente des sols est donc une probabilité supérieure qu'une pluie de forte intensité tombe sur un sol déjà saturé. Dans le même tant la valeur de précipitation maximale/24h est également croissante (fig 3.13).

Figure 3. 14 : Moyenne glissante du nombre de jours de pluies et du montant des précipitations

maximales/24h à la station de Taghzirt.



Les dernières années de cette période, depuis 2009/2010 peuvent être comparées à la période 1975/76-1979/80 pour lesquels les 2 valeurs sont très proches au contraire de celle de la fin du siècle dernier, moins de 40 jours de pluies avec des intensité/24h de l'ordre de 60mm.

La forte variabilité des caractéristiques des précipitations démontre finalement la vigilance dont on doit faire preuve dans l'utilisation des valeurs collectées sur une période pour une extrapolation sur une période différente.

IV) Implantation d'un pluviomètre au sein d'un bassin représentatif et valeurs observées:

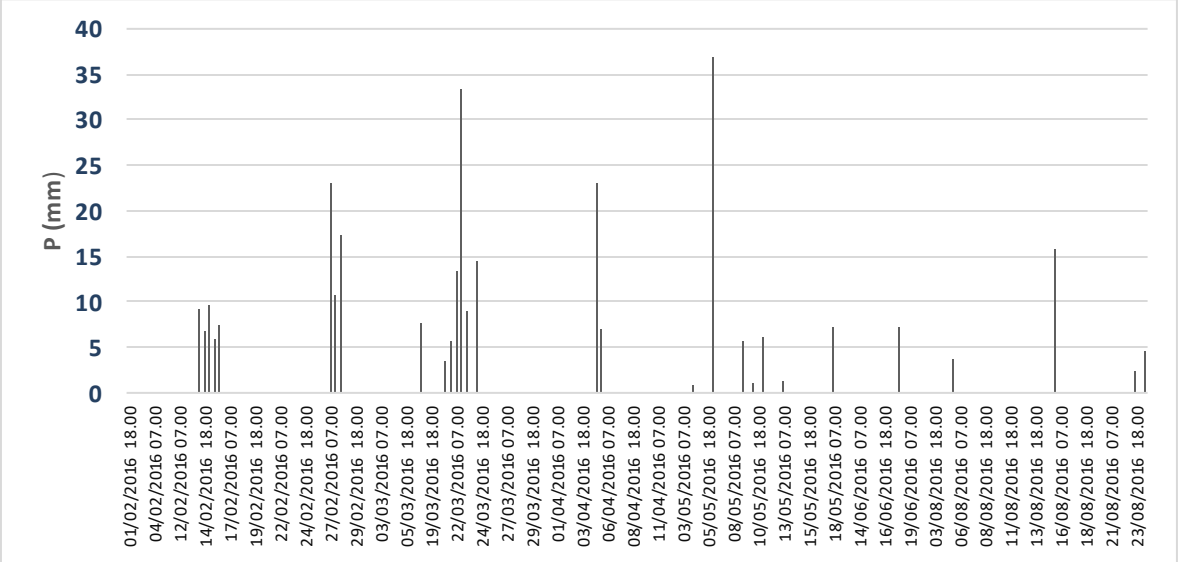
Dans l'idée d'observer des précipitations représentatives d'un bassin versant test nous nous sommes fait prêter un pluviomètre totalisateur par l'Agence du Bassin Hydraulique pour équiper le bassin de l'Oued Ikkour pour la période allant du 18 -01-2016 au 21-08-2016. Cette durée est celle qui a été autorisée par l'ABHOR. L'implantation du pluviomètre s'est faite conformément aux recommandations des services de météorologie, c'est-à-dire à bonne distance d'infrastructure (planche photo x). Les relevés du pluviomètre deux fois par jour, à 6h00 et 19h00, ont été assurés par un observateur sur place.

Planche photos 3. 1 : Travaux d'équipement de l'oued Ikkour et l'installation du pluviomètre.



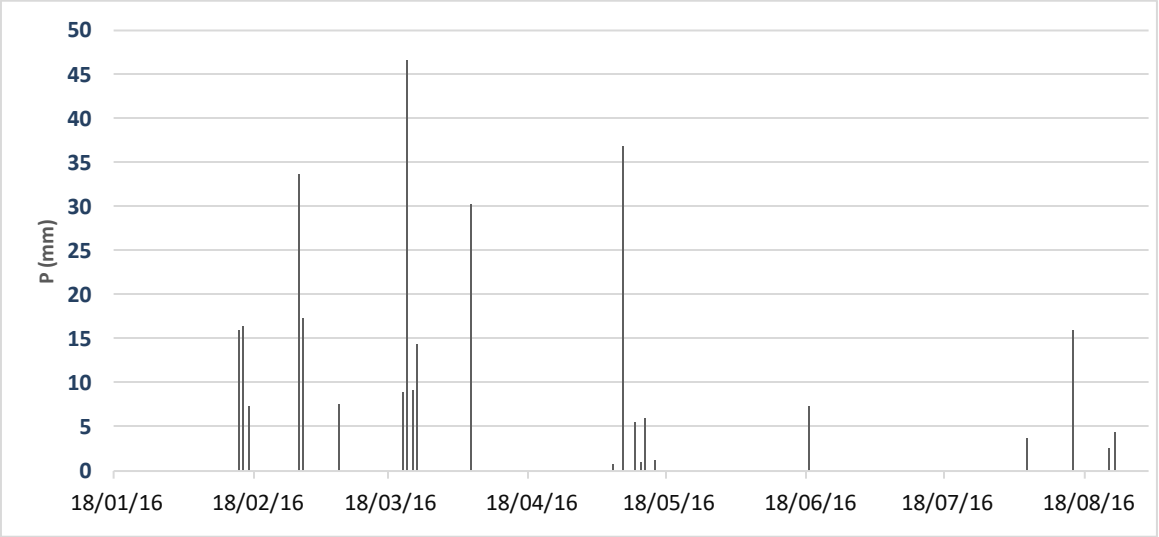
Sur les 227 jours qu'ont duré les observations il y a eu 21 jours de pluie avec des valeurs comprises entre 0,8 et 46,7 mm/12h (fig 3.14).

Figure 3. 15 : Précipitations/12h enregistrées par le pluviomètre.



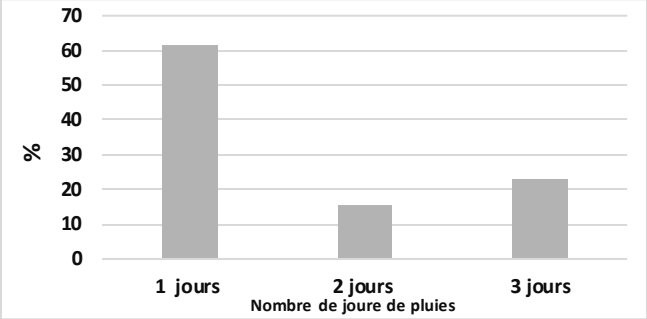
Si l'on considère les précipitations au pas de 24h (fig 3.15), pas de temps pour lequel nous disposons de valeurs à la station de Taghzirt pour une longue série, la valeur maximale de 47 mm correspond à une durée de retour de 2 années.

Figure 3. 16 : Précipitations/24h enregistrées par le pluviomètre.



Notons également que les épisodes pluvieux se caractérisent par leur concentration journalière (fig 3.16). Ainsi 62% d'entre eux se sont déroulés sur 24h, 15% sur 48h et 23% sur 72h. Même si la période d'observation est courte il est possible d'affirmer que les épisodes pluvieux caractéristiques du "dir" de Béni-Méllal sont très intenses, concentrés le plus souvent sur une journée voire sur 12h comme le laisse supposer la faible différence entre pluie/24h et pluie/12h.

Figure 3. 17 : Nombre de jours de pluies.

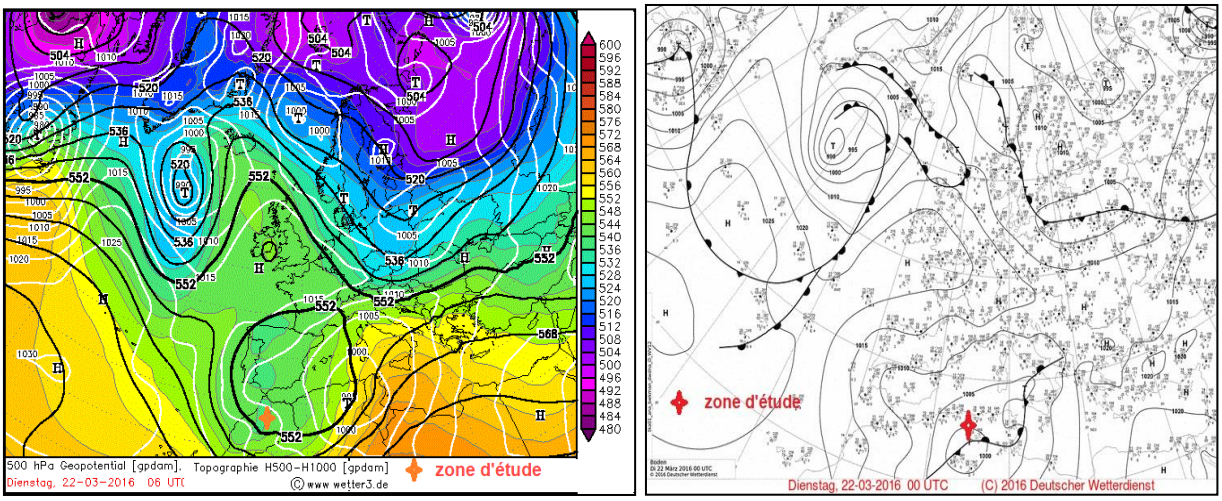


Au final pour affiner l'étude des crues sur le "dir" de Béni-Méllal nous disposons de valeurs de précipitations observées au pas de 12h et 24h représentatives d'un bassin versant lui-même représentatif du fonctionnement hydrologique du "dir" de Béni-Méllal, celui de l'oued Ikkour d'une surface de 47km².

V) Les types de temps à l'origine des précipitations sur le "dir" de Béni-Méllal:

Nous étudions ici les conditions atmosphériques à l'origine des précipitations ayant généré des crues sur le bassin de référence du "dir" de Béni-Méllal, celui de l'oued Derna à la station hydrométrique de Taghzirt. Pour 428 crues identifiées de 1970 à 2011 nous avons analysé les cartes synoptiques correspondantes (fig 3.17).

Figure 3. 18 : exmple d'un type de temps produisant des précipitations dans la zone d'étude.



Le tableau 3.7 montre clairement 7 types de temps produisant des épisodes pluvieux sur le "dir" de Béni-Méllal. Globalement ce sont d'abord les masses d'air provenant du nord qui engendrent des pluies. Ces types de temps représentent la moitié des situations rencontrées sur la zone d'étude. Pour un peu plus d'un tiers des situations rencontrées les masses d'air sont dans un flux d'ouest, proviennent de l'atlantique. Les autres types de temps sont soit orageux pour 9% ou associés à des gouttes d'air froid pour 12%.

Tableau 3. 7 : Types de temps et ces fréquences dans la zone d'étude.

Type de temps	Effectif	%
Le temps chaud et orageux	39	9
Type de temps de l'arrière des fronts froids	22	5
Type de temps de goutte d'air froid	51	12
Les flux d'air polaire de nord	71	17
Les flux de sud-ouest	37	9
Temps relativement frais de nord-est	91	21
Flux perturbé de nord-ouest	117	27
Somme	428	100

C. Calvet et Y le Goff 1989 A. Ouloum 1994, insistent sur l'effet de l'axe de la dorsale qui relie, en altitude, les deux cellules, à savoir l'anticyclonique saharien d'altitude et l'anticyclone des Açores. En effet, cette position peut donner en été, et quand l'axe de la dorsale se décale au nord du Maroc, de nord-est ou d'est, un vent de type Chergui qui est un vent chaud et sec issu des hauts plateaux de l'Atlas (Karrouk ,2005)

Par contre, si l'axe de la dorsale couvre le milieu du pays (30ème parallèle), on a deux régimes (Ouloum,2005), l'un au nord caractérisé par un faible régime de nord-ouest à nord avec un ciel peu nuageux et des températures modérées, tandis que le régime au sud est caractérisé par un régime de nord qui est assez chaud et clair. Mais si la dorsale est au sud du pays, le régime dit de queues de fronts froids peut intéresser nos régions, son air maritime peut adoucir les températures.

A la fin de l'été des types de temps orageux, représentant 9% des situations pluvieuses, peuvent apparaître lorsque le mouvement de l'anticyclone des Açores - qui dépend entre autres du mouvement apparent du soleil est agité vers l'ouest ou bien vers le nord-ouest pour qu'une zone dépressionnaire à faible gradient recouvre alors le Maroc (Karrouk, 2005). Elle se traduit par des orages actifs sur l'Atlas et cette situation explique les hauteurs des précipitations « aberrantes » en plein été. A l'automne ces mêmes types de temps orageux peuvent avoir lieu à l'automne lorsque l'anticyclone des Açores s'éloigne vers le large, laissant la place à des zones dépressionnaires sur le proche atlantique, ce qui provoque un temps orageux qui intéresse souvent la zone d'étude.

L'hiver la provenance des décharges polaires crée globalement 2 types de temps pluvieux. Quand la décharge directe vient de l'Atlantique, et c'est le temps le plus fréquent au Maroc, les précipitations s'étalent sur l'Atlas de Béni-Méllal et le Haut-Atlas et donnent de la neige en montagne ; Ces types de temps sont à l'origine de plus du tiers des situations pluvieuses. Lorsque la décharge vient du nord ou du nord-est l'air froid continental s'est humidifié durant sa traversée de la Méditerranée, il rencontre l'air chaud saharien, ce qui donne également des précipitations. Ces types de temps représentent plus de 40% des situations pluvieuses.

Notons enfin que 12% des épisodes pluvieux sur le "dir" de Béni-Méllal sont associés à des types de temps de goutte d'air froid.

Outre ces facteurs d'échelle synoptique, l'orographie, facteur régional marquant, influence la répartition des champs de précipitations surtout pour les flux de composante ouest. Donc la décharge d'air polaire venant du nord-ouest est fondamentale, car elle entraîne une variation des

pluies dans l'espace à l'échelle du Maroc mais également à l'échelle du "dir" considéré.

C'est cette répartition des champs pluviométriques que nous cherchons à mettre en évidence dans ce qui suit.

VI) Spatialisation des précipitations : choix de la méthode et application:

1. Choix de la méthode:

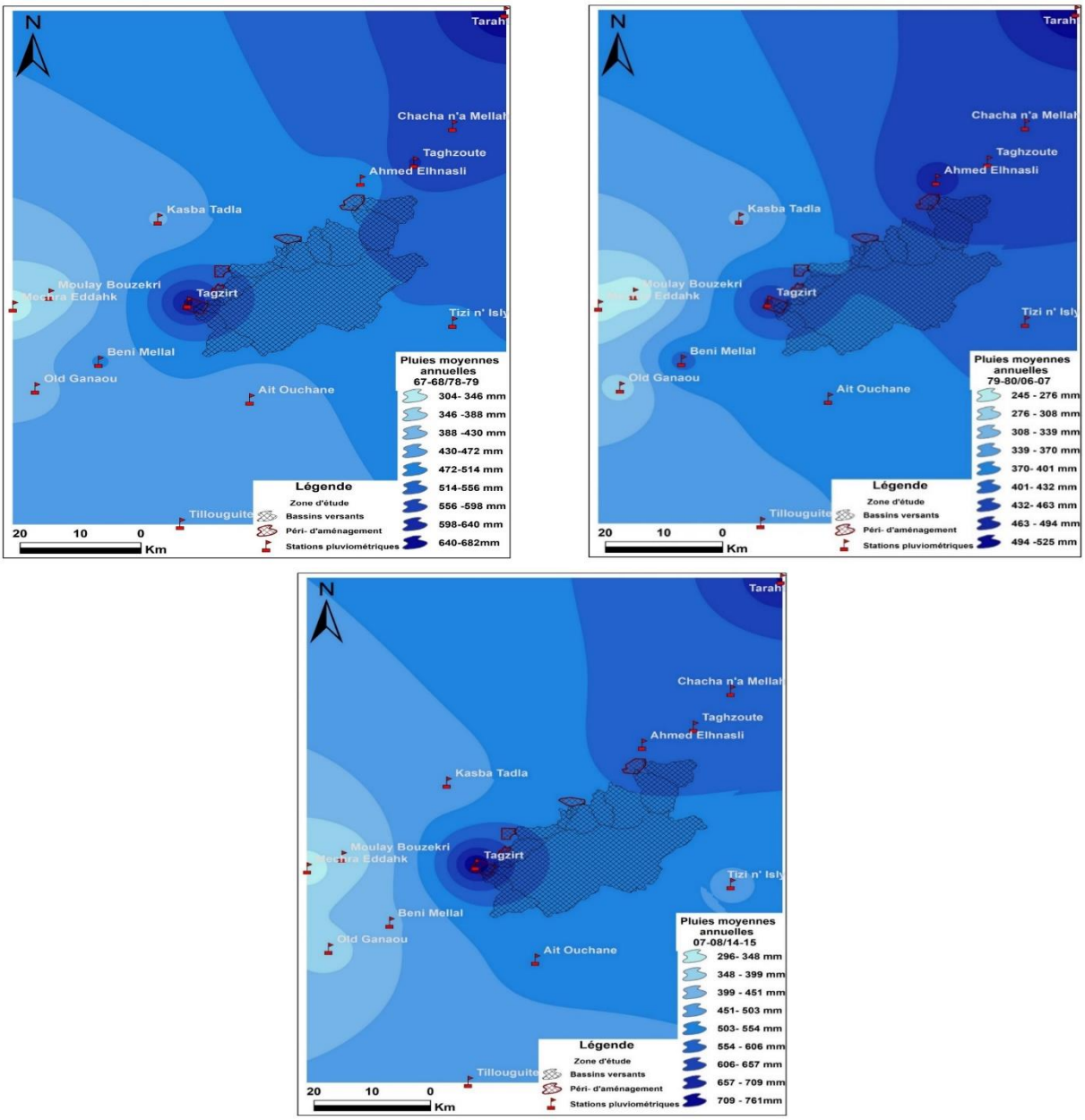
Nous avons montré que le domaine d'étude s'inscrit dans une région pluviométriques homogènes subissant préférentiellement des types de temps de flux d'ouest ou de nord. Nous avons cherché à savoir comment les pluies générées s'organisent au sein du "dir" étiré sur plus de 70 km selon un axe nord-nord-est/sud-sud-ouest.

En l'absence de station de mesure pluviométrique au sein du domaine d'étude nous avons appliqué une méthode d'interpolation spatiale. Selon Nejjari (2002), on peut regrouper ces méthodes en trois catégories : les interpolateurs simples, les modèles statistiques et les méthodes géostatistiques multivariées. Mais le choix de la méthode de spatialisation adéquate reste la chose la plus importante pour obtenir une spatialisation plus représentative .A cet égard, nous avons utilisé tout le réseau d'observation pour tester les méthodes d'interpolation spatiale simple les plus couramment utilisées : Inverse Distance (IDW), Kriging, Spline et Thiessen. L'évaluation de la méthode est basée sur la comparaison de la pluie estimée avec la pluie mesurée. Après une analyse statistique des écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs observées (annexe 3), nous avons choisi la méthode Inverse Distance (IDW), pour spatialiser les pluies. L'inverse Distance est une méthode d'interpolation spatiale simple de pondération (Sherprad, 1968). Comme toutes les méthodes simples, cette méthode se base sur les critères de voisinages, et ne faisant intervenir aucune autre variable tel que le relief (Nejjari, 2002). Cette méthode, intégrée dans "ArcGIS", nécessite de caler l'exposant de la distance (Power optional) qui contrôle le poids des points environnants sur la valeur interpolée. Plusieurs essais ont montré que la valeur 1.5 donnait le moindre écart entre les pluies observées et les valeurs calculées (annexe 3.1, annexe 3.2, annexe 3., annexe 3.4 annexe 3.5, annexe 3.6, annexe 3.7, annexe 3.8, annexe 3.9).

2. Résultats:

La méthode a été appliqué aux précipitations moyennes annuelles sur chacune des trois périodes mise en évidence par la méthode du CUSUM : 1967-68 /1978-79, 1979-80 / 2006-07, 2007-08 /2014-015 (fig 3.18).

Figure 3.19 : Spatialisation de la pluviométrie moyenne annuelle sur le "dir" de Béni Mella pour les période 1967-68 /1978-79, 1979-80/2006-07 et 2007-08/2014-15 par la méthode IDW.



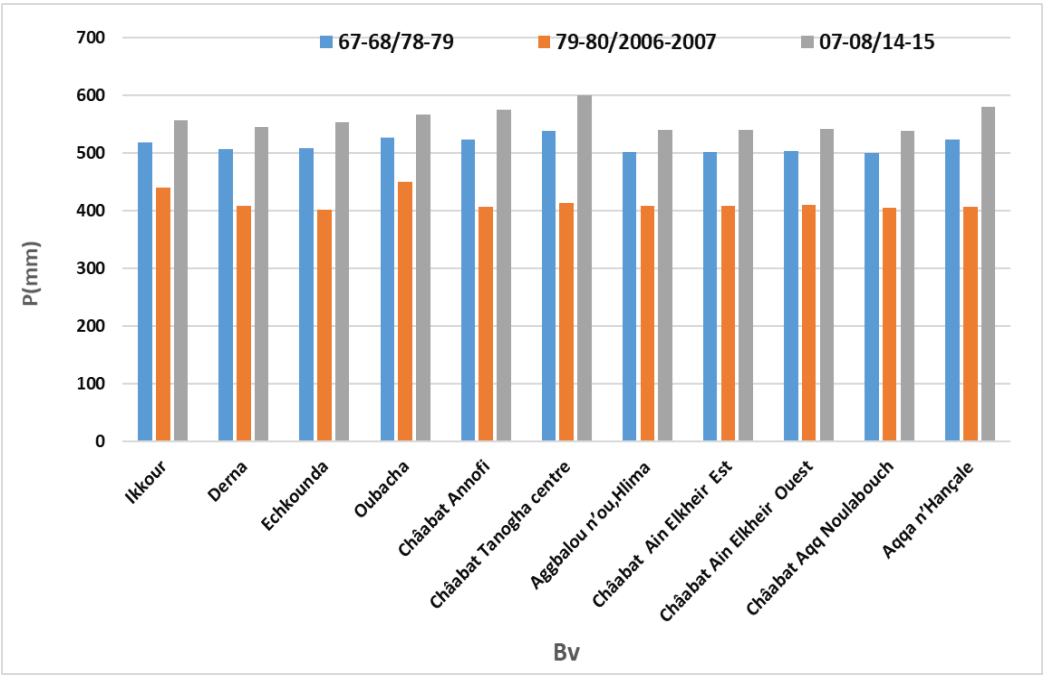
Globalement les champs de précipitations sont organisés de la même façon pour les trois périodes, montrant un gradient de précipitations positif du sud-ouest, de la plaine du Tadla, vers le nord-est, le Moyen-Atlas, ce qui traduit l'effet orographique. Au sein de cette organisation générale on note un dôme pluviométrique, plus au moins marqué selon les périodes, sur la station de Taghzirt.

La première période, de 1968 à 1979, est marquée par une importante quantité de précipitations qui se situent entre 500 et presque 700 mm. Cette quantité est distribuée de façon inégale sur le territoire étudié. La quantité la plus importante, entre 600 et 700 mm, est tombée aux environs de Taghzirt puis de Zaouit Echiekh avec des pluies comprises entre 550 et 600 mm.

Pour la deuxième période, la plus humide, selon la même distribution spatiale, les précipitations perdent 200 mm environ.

Enfin pour la période la plus récente, la plus humide, les précipitations sont environ 70 mm supérieures à la première période, toujours selon la même organisation sur-ouest/nord-est.

Figure 3. 20 : Précipitations moyennes annuelles calculées d'après la méthode Inverse Distance (IDW) (67-68/78-79), (79-80/2006-2007) et (07-08/14-15).



Pour chaque période considérée, la pluviométrie sur les 11 bassins versants du "dir" de Béni-Méllal est du même ordre de grandeur (fig 3.19). Légèrement supérieures à 400 mm pour la période la plus sèche jusqu'à 550 mm pour la période la plus humide.

Conclusion :

Le secteur du "dir" sur lequel nous travaillons s'insère dans un domaine pluviométrique homogène ce qui valide la portée des résultats qui nous tirons de la station de Taghzirt à l'ensemble du "dir" considéré. L'analyse des données de précipitation montre que le "dir" de Béni-Méllal est marqué par une grande irrégularité temporelle quelque soit le pas envisagé, de la journée à l'année jusqu'à l'alternance de période sèche et humide se déroulant sur plusieurs décennies. Les montants de précipitations sur 24h présentent des valeurs élevées y compris pour des temps de retour faible. Ces fortes précipitations peuvent avoir lieu quasiment tous les mois de l'année. Ceci démontre que le "dir" de Béni-Méllal est particulièrement propice à la genèse de crues de fort volume sur des temps courts. Si on note une variabilité spatiale dans les montants annuels des précipitations dans le dir, causé par l'orographie, elle ne se traduit pas dans le montant sur les bassins dans la mesure où ils sont orientés de la même manière vis-à-vis des flux à l'origine des précipitations.

Conclusion de la première partie :

Après l'identification de la problématique et la méthodologie de travail, l'étude des diverses composantes des bassins versant nous a permis de tirer plusieurs conclusions :

D'abord, les bassins versants du "dir" de Béni-Méllal sont très favorables au développement de crues rapides. On retiendra à cet égard que la zone est marquée par une forte irrégularité topographique et un caractère accidenté. Ces bassins ont donc un caractère intramontagnard marqué, de formes plutôt compactes, drainés par un réseau hydrographique dense mais désarticulé.

-Le couvert végétal occupe une faible surface du fait de sa dégradation importante ces dernières décennies ce qui est un facteur favorisant les crues surtout dans un contexte de bassins exposés aux masses d'air humide venant de l'atlantique.

Notons également que les bassins versants instrumentés présentent des caractéristiques physiographiques semblables aux autres bassins ce qui les rend représentatifs du fonctionnement hydrologique du "dir" de Béni-Méllal

Par ailleurs les précipitations sont organisées de la même façon pour les trois périodes, montrant un gradient de précipitations positif du Sud-Ouest, de la plaine du Tadla, vers le Nord-Est, le Moyen-Atlas, ce qui traduit l'effet orographique. Au sein de cette organisation générale on note un pic pluviométrique, plus au moins marqué selon les périodes, sur la station de Taghzirt.

Enfin, on constat, que la période, de 1968 à 1979, est marquée par une importante quantité de précipitations qui se situent entre 500 et presque 700 mm. Cette quantité est distribuée de façon inégale sur le territoire étudié. La quantité la plus importante, entre 600 et 700 mm, est tombée aux environs de Taghzirt puis de Zaouit Echiekh avec des pluies comprises entre 550 et 600 mm.

Deuxième Partie : Hydrologie analytique des bassins versants tests : Etude hydrologique de l'aléa menaçant les agglomérations de "dir" de Béni-Méllal :

- **Chapitre 4 : Aperçu historique des crues torrentielles : cas de l'étude de "dir" de Béni-Méllal:**
- **Chapitre 5 : Les bassins test : la production des données hydrométriques:**
- **Chapitre 6 : Caractérisation des crues torrentielles dans les bassins versants test:**
- **Chapitre 7 :L'apport de la modélisation hydraulique à la gestion du risque inondation:**

Introduction de la deuxième partie :

Après avoir analysé les caractéristiques physiographiques et climatiques des bassins versants du domaine du "dir" de Béni-Méllal, dans la première partie, cette deuxième partie est consacrée à l'étude du risque d'inondation menaçant les agglomérations de "dir" de Béni-Méllal, en se basant sur l'analyse de l'aléa hydrologique.

La présente partie a pour ambition d'étudier l'aléa d'inondation dans le "dir" de Béni-Méllal. Pour cela, nous allons nous baser, dans un premier temps, sur les données existantes enregistrees a la station de Taghzirt, pour l'analyse du contexte historique des crues éclaire qui ont affecté le "dir" de Béni-Méllal,

Dans un autre volet, nous allons proposer une méthodologie pour la production des données hygrométriques relatives à la caractérisation des crues éclairs et les inondations affectant la zone d'étude.

Finalement, la modélisation des crues et la production des cartes de danger certes présentent le principal objectif de cette partie.

Chapitre 4 : Aperçu historique des crues torrentielles dans le "dir" de Béni-Méllal:

Sommaire :

Introduction:

I) Disponibilité des données et contexte hydrologique:

II) L'analyse des épisodes de crue :

III) Le régime mensuel des débits:

IV) Les données journalières et à pas de temps variables:

V) L'analyse des épisodes de crue:

1) la période 1970 à 2011:

2) la période 2000 à 2011:

Conclusion:

Introduction:

L'aléa est un des deux facteurs prépondérants de l'équation du risque. Dans le cas du risque inondation la crue qui constitue l'aléa doit donc faire l'objet d'une étude attentive. Cette étude doit aboutir à la caractérisation de l'aléa en termes d'amplitude et de récurrence dont les variables sont à visée opérationnelle. Pour les quantifier, il en découle la nécessité de disposer d'une série temporelle de débits caractéristiques du secteur. Nous analysons dans ce chapitre les crues extraites des hydrogrammes de la station de Taghzirt qui couvrent 41 années. Les résultats tirés de cette étude fournissent une référence pour le "dir" de Béni-Méllal.

I) Disponibilité des données et contexte hydrologique:

Sur le domaine d'étude seule la station de Taghzirt dispose d'une longue chronique nous permettant d'approcher la variabilité temporelle du fonctionnement hydrologique sur le temps long. Cette station, gérée par l'Agence de l'Hydraulique de Bassin de l'Oum Rbia (AHBOR), verrouille un bassin versant de 443,5 km² (tableau 4.1 et photo 4.1). Nous disposons des données depuis 1970, à pas de temps variable (QtVar) jusqu'en 2011, et en débits journaliers (Qmj) jusqu'en 2015.

Photo 4. 1 : Station de Taghzirt.

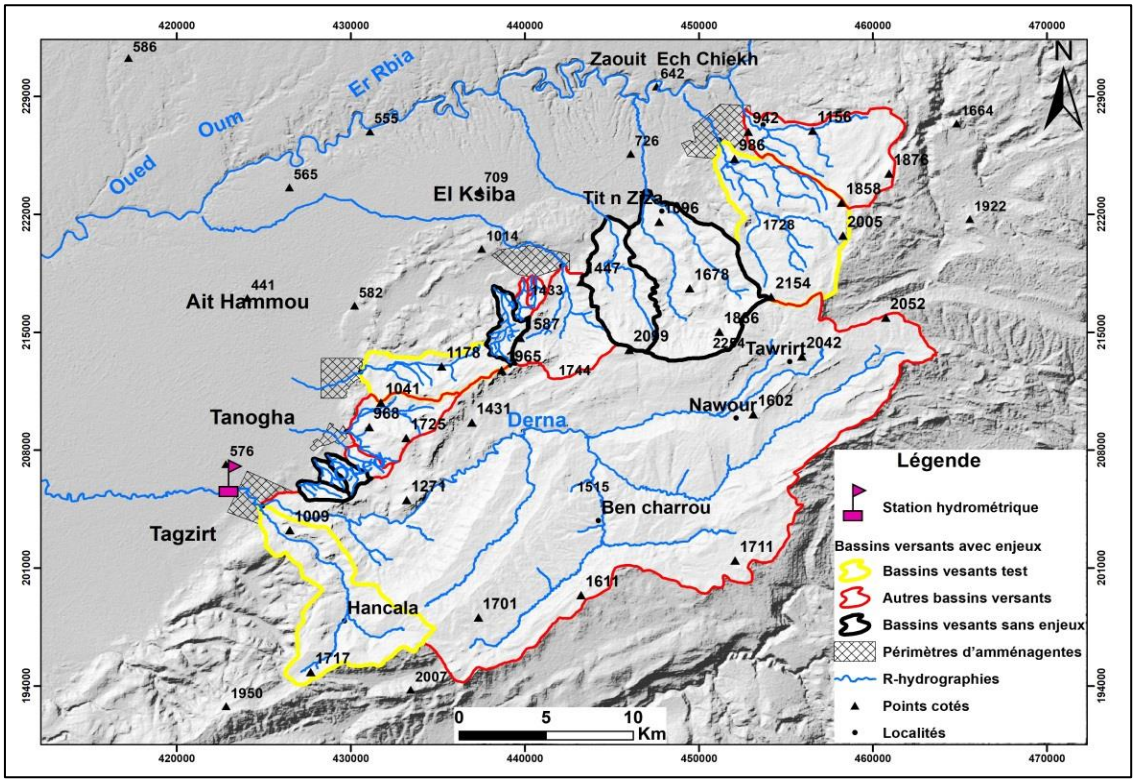


Tableau 4. 1 : Caractéristique de la station de Taghzirt.

Station	cours d'eau	Date de	Surface	Altitude	coordonnées	
		mise en service	du BV		X Lambert	Y Lambert
Taghzirt	Derna	1967	443,5	565	423.900	205.600

Par sa taille, d'un ordre de 10 plus grand que les autres bassins du dir, le bassin de l'oued Derna n'est pas tout à fait représentatif du fonctionnement hydrologique du "dir" (carte 4.1). En effet eu égard à sa taille l'inertie du bassin donc le temps de réponse et le temps de base notamment des crues seront plus long. Néanmoins les autres paramètres physiographiques sont comparables si bien que les conclusions que nous pouvons tirer de l'analyse de ce bassin sont dans une certaine mesure transposables à tous les bassins du dir.

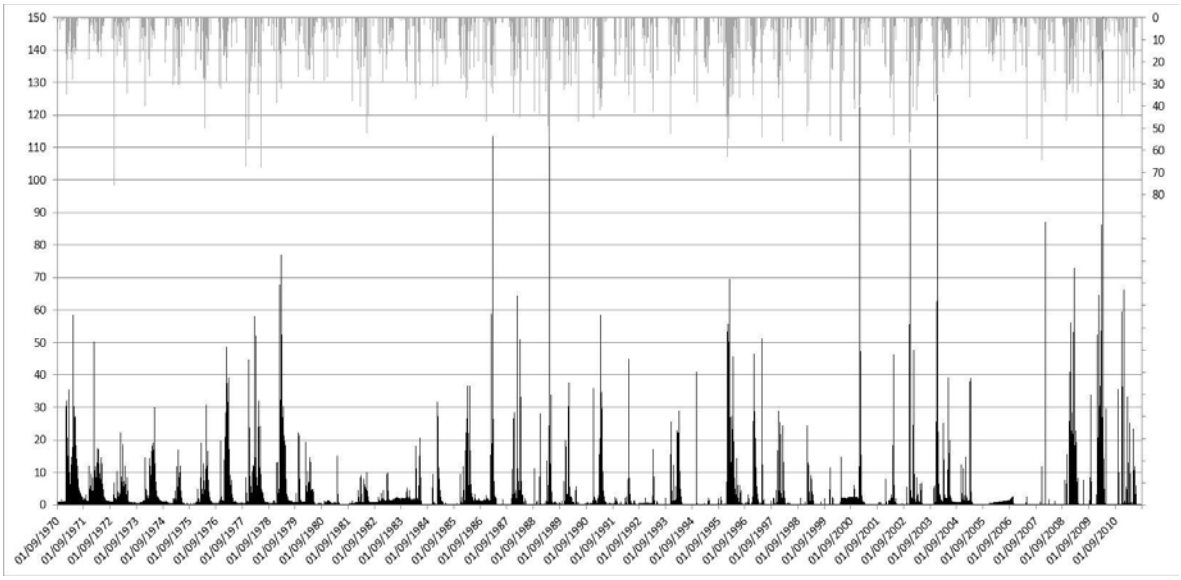
Carte 4. 1 : Localisation du bassin versant de l'oued Derna.



II) Analyse statistique et tendance des débits à différents pas de temps :

L'oued Derna est un cours d'eau très réactif dans lequel les très forts débits de crue se déroulent sur une journée (fig. 4.1). Le rôle des nappes dans les débits est très faible. On note également qu'à des périodes propices aux fortes crues, comme 2007/2011, alternent des périodes moins favorables comme la période 1979/1985. Afin de replacer les épisodes de crues dans un contexte hydro-climatique nous analysons le fonctionnement de l'oued sur des temporalités différentes : pluriannuel et annuel, mensuel puis journalière et enfin instantanée.

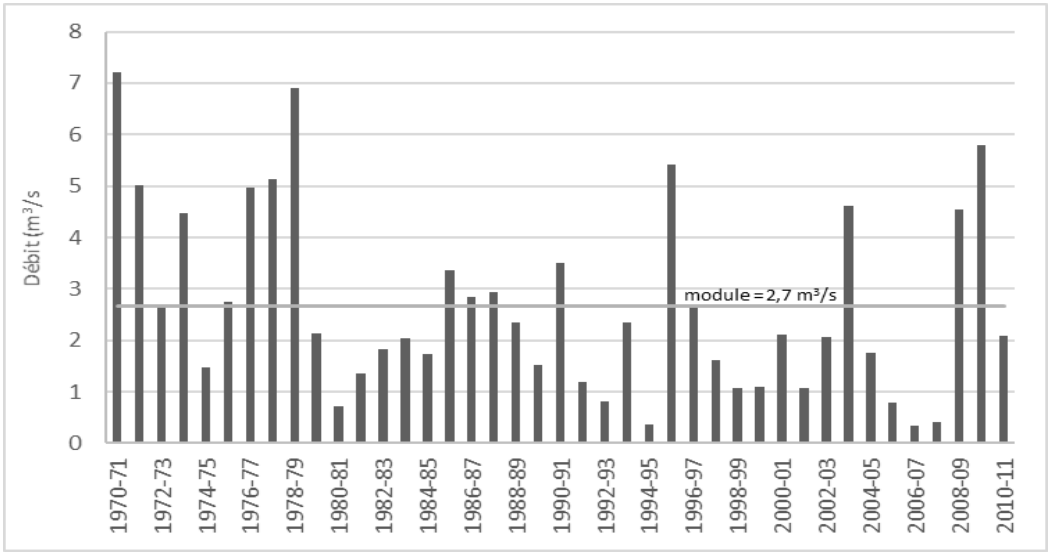
Figure 4. 1 : Débits moyens journaliers (m3/s) et hyétogramme (mm) de la station de Taghzirt au pas de temps journalier sur la période 1970-2011.



L'analyse des débits se fait sur la base de l'année hydrologique. Nous avons observé que les précipitations devenait importantes en moyenne dès le mois de septembre après des mois d'été peu pluvieux. Nous faisons donc débuter l'année hydrologique au mois de septembre ; En conséquence toutes les valeurs caractéristiques seront prélevées sur des séquences de septembre à août.

Sur les 41 années d'observation le module à la station de Taghzirt est de 2.65 m^3/s soit un débit spécifique de 6 l/s/km² (fig. 4.2). Ce module, compris entre 0.34 et 7.2 m^3/s, est néanmoins très variable comme l'illustre un coefficient de variation de 70%. Comme pour la pluviométrie on peut noter une succession de périodes plus ou moins humides dont nous testons la signification d'un point de vue statistique avec la "méthode de segmentation de Hubert".

Figure 4. 2 : Modules annuels et interannuel à la station de Taghzirt (1970-2011).



Les résultats de la segmentation montrent que la série totale est hétérogène et peut se subdiviser en 3 sous-séries homogènes de moyenne et d'écart type différent (tab. 4.2). Elles se superposent aux séries pluviométriques identifiées.

Tableau 4. 2 : Séries sèches et humides à la station hydrométrique de Taghzirt.

	Moyenne	Ecartype	nombre d'années	Diagnostic
1970-71 / 2010-11	2,65	1,80	41	Série hétérogène
1970-71 /1978-79	4,50	1,91	9	Série homogène
1979-80 / 2006-07	1,98	1,20	28	Série homogène
2007-08/2010-11	3,20	2,41	4	Série homogène

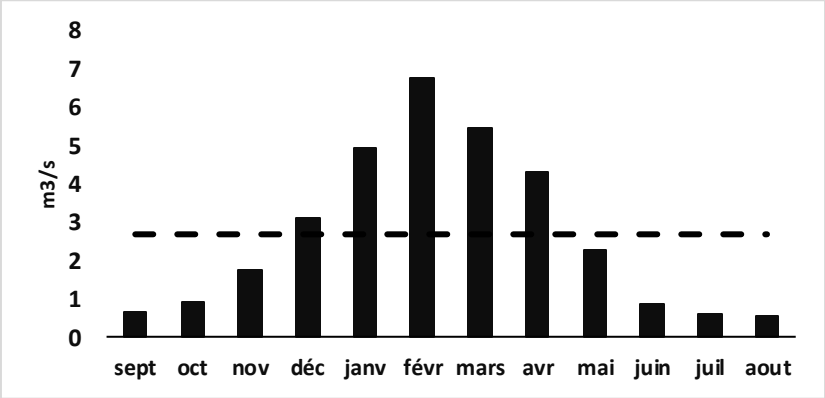
Le module varie du simple au double entre la série sèche et la série humide.

III) Le régime mensuel des débits:

Le régime hydrologique de l'oued Derna (fig. 4.3) est un régime excessif avec un coefficient d'immodération de 12,6. Néanmoins le débit relativement soutenu d'août avec 0.537 m3/s soit 1.1 l/s/km², alors que les précipitations efficaces ont cessé depuis 4 mois, démontre la présence de nappe d'eau souterraine. Les hautes centrées sur le mois de février avec 6.8 m3/s durent 5

mois. Elles sont dues aux fortes précipitations efficaces qui sont relayées au début du printemps par la fonte des neiges. Les basses eaux durent 7 mois, de mai à novembre.

Figure 4. 3 : Régime mensuels des débits à la station de Taghzirt.

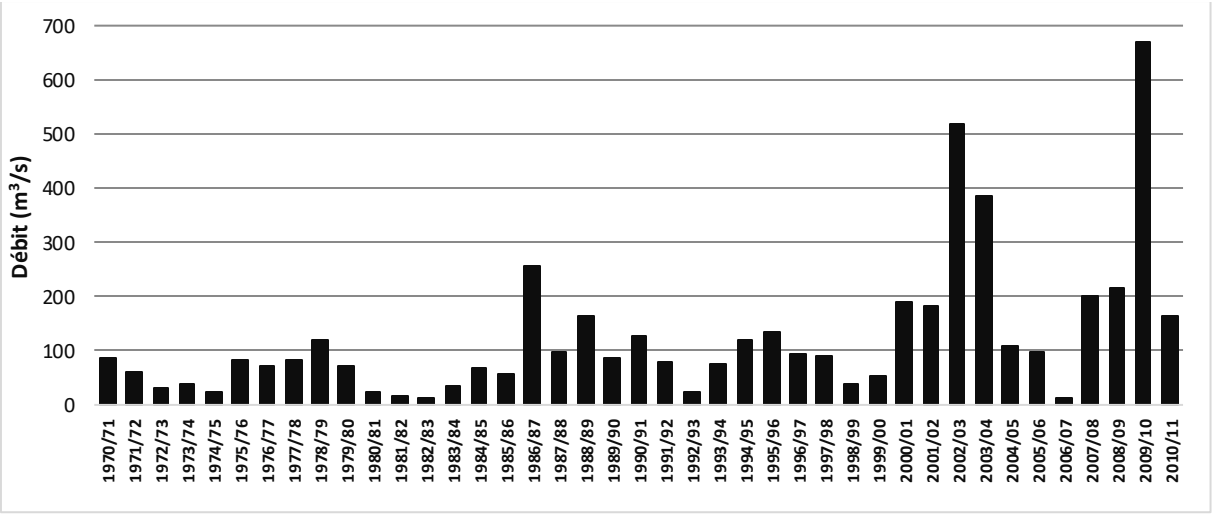


IV) Les données journalières et à pas de temps variables.:

Dans la problématique qui nous intéresse ici les variables hydrométriques les plus intéressantes sont celles enregistrées sur le plus petit pas de temps. Nous analysons plus précisément les données à pas de temps variables (QtVar).

Les débits instantanés maxima annuels sont compris entre 12,4 m^3/s en 2006/2007 et 671.2 m^3/s en 2009/2010. Il est frappant d'observer sur ces 41 années à la fois une cyclicité de périodes de 5 à 6 années de forts débits avoisinant ou dépassant les 100 m^3/s séparées par une ou deux années de débits instantanés faibles inférieurs à 40 m^3/s. D'autre part on observe également une augmentation dans le temps du débit instantané maximal ; Il était de l'ordre de 100 m^3/s dans la décennie 1970, de 200 m^3/s dans la suivante, puis 400 m^3/s et enfin 670 m^3/s au début des années 2010.

Figure 4. 4 : : Débits maxima instantanés annuels à la station de Taghzirt (1970-2011).



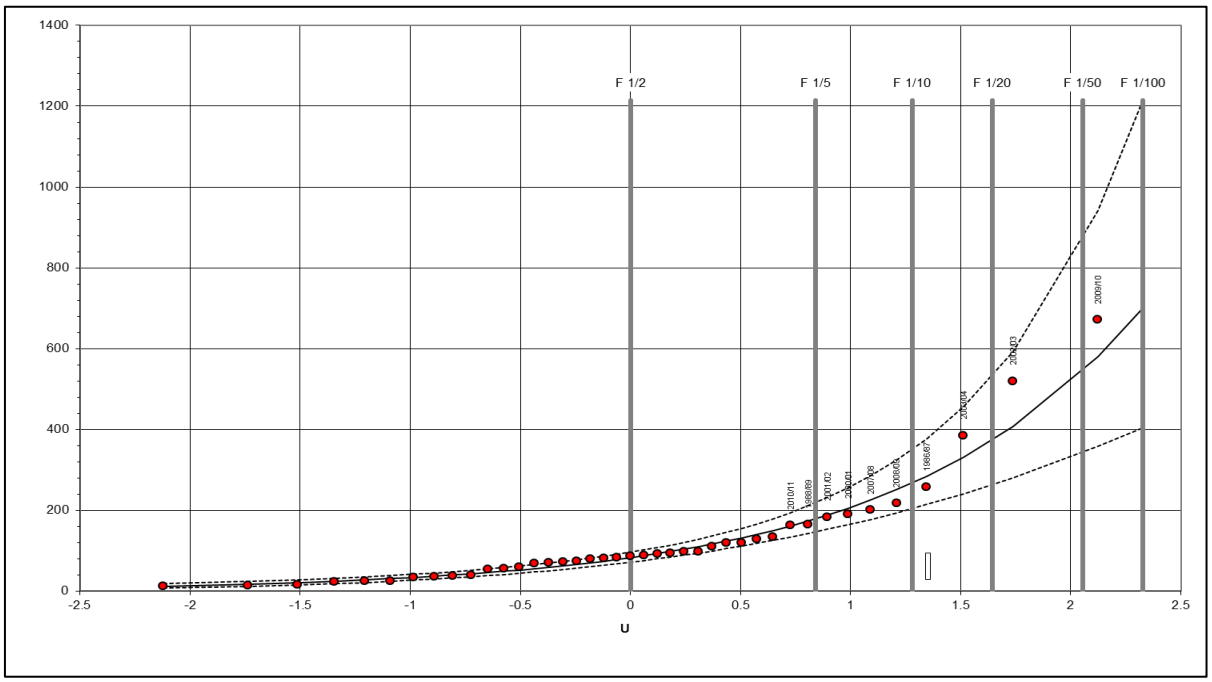
Nous serions tentés d'y voir une tendance mais différents tests de rupture de séries ont été utilisés et tous ont mis en évidence une série hétérogène. Le test de "Lee et Heghinian" donne des densités de probabilité élevées d'un changement aux alentours des années 1985 et 1999.

Cette dernière rupture est à comparer à celle obtenue sur la série des pluies instantanées, par la même méthode, positionnée sur 2002. On peut donc avancer, que pour partie au moins, une des causes probables de l'augmentation des débits de pointe de crue est un changement dans la structure des précipitations.

Comme les précipitations, la non-stationnarité des débits rend difficile l'appréciation du risque et la calibration de moyens structurels à partir d'une crue d'occurrence donnée.

Nous avons néanmoins, dans le souci de fixer des repères pour les crues observées sur les 41 années, tenté d'ajuster la série à une loi de probabilité. Un bon ajustement de la série a été obtenu à la loi Ln-Normale. Nous avons également cherché a ajusté les valeurs de la dernière période, 2000-2011. Pour cette dernière c'est la loi Gumbel qui donne le meilleur résultat (tab.4.4).

Figure 4. 5 : Ajustement des débits maxima instantanés à la station de Taghzirt.



Il apparaît une très grande différence entre les valeurs du débit instantané maximum entre les deux périodes considérées. Par exemple la durée de retour du plus fort débit observé, 671 m^3/s est quasiment centennal pour la période de calcul 1970-2011 alors qu'il devient trentennal pour la dernière période. Les deux autres débits les plus forts, 520 m^3/s et 385 m^3/s, passent respectivement de quarantennal à décennal et de vingtennal à quinquennal. Ceci montre clairement le glissement vers la récurrence de forts débits qui était peu observés jusqu'au début des années 2000. Compte tenu de la taille du dernier échantillon les valeurs sont bien évidemment à prendre avec recul, mais c'est bien la tendance dégagée qui est intéressante à considérer.

Tableau 4. 3 : Fréquence et durée de retour des débits maxima instantanés à la station de Taghzirt.

Durée de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	75 ans	100 ans
1970-2011	82 m^3/s	179 m3/s	268 m3/s	374 m3/s	545 m3/s	633 m3/s	700 m3/s
2000-2011	217 m3/s	391 m3/s	506 m3/s	617 m3/s	760 m3/s	822 m3/s	867 m3/s

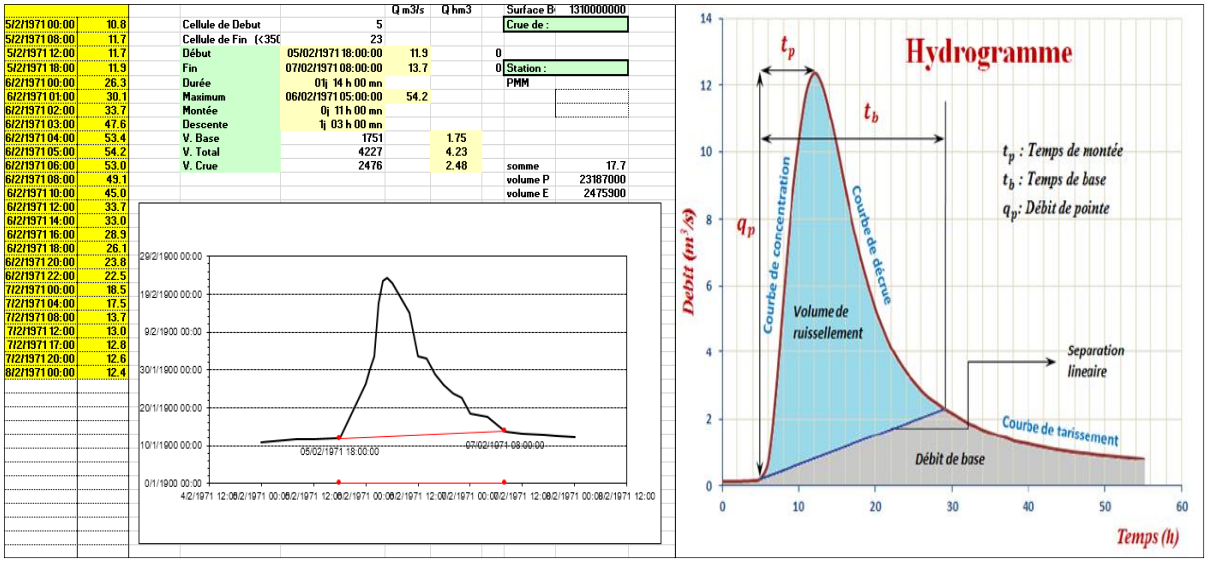
Ces changements importants dans les valeurs des débits extrêmes sont imputables à un changement d'ordre climatique mais sans doute également aux modifications des états de surface dans le bassin telles qu'elles ont été mises en évidence dans le chapitre 2.

V) L'analyse des épisodes de crue:

L'objet de ce travail étant le risque inondation et sa gestion il faut traiter le débit de crue comme aléa pouvant créer un dommage sur une zone vulnérable. Donc, outre la probabilité d'occurrence d'un débit donné il est nécessaire, dans un souci opérationnel, de caractériser la crue, c'est à dire de dériver des hydrogrammes à pas de temps variable (QTvar) les paramètres fondamentaux que sont le temps de base, de montée et de descente de crue ainsi que la pointe et le volume de crue (Bhunya et al., 2011). Ces caractéristiques sont définies de la façon suivante (fig. 4.6) :

- Temps de base : durée totale de la crue comprise entre deux débits non-directement influencés par les précipitations
- Temps de montée : durée séparant la fin de la phase de tarissement et le débit de pointe de crue
- Temps de descente : durée entre la pointe de crue et le début de la phase de tarissement
- Débit de pointe : débit maximal instantané

Figure 4. 6 : Analyse d'une hydrogramme de crue.



Afin d'affiner la connaissance des crues qui se manifeste dans la relation pluie/débit nous calculons également le Coefficient d'Ecoulement Rapide de Crue (CERC); Il est défini comme le rapport entre le volume d'eau contenu dans la crue avec le volume des pluies l'ayant généré.

Ce calcul nécessite donc les données de précipitations, a minimas journalières, sur le bassin. Nous n'avons réussi à collecter celles-ci que pour la période 2000-2011. Cette absence de

données pluviométriques avant les années 2000 est le fait que la décennie 2000-2011 soit considérée homogène et en rupture avec les décennies précédentes du point de vue statistique nous a poussé à faire l'analyse des crues en deux temps. Le premier sera consacré à la caractérisation des phases de crue de 1970 à 2011. Dans un deuxième temps nous pousserons l'analyse pour la période 2000-2011.

1. La période 1970 à 2011

Pour définir la crue nous reprenons à notre compte la définition du "dictionnaire français d'hydrologie" (en ligne) dans son acception la plus large comme étant "l'augmentation plus ou moins brutale du débit".

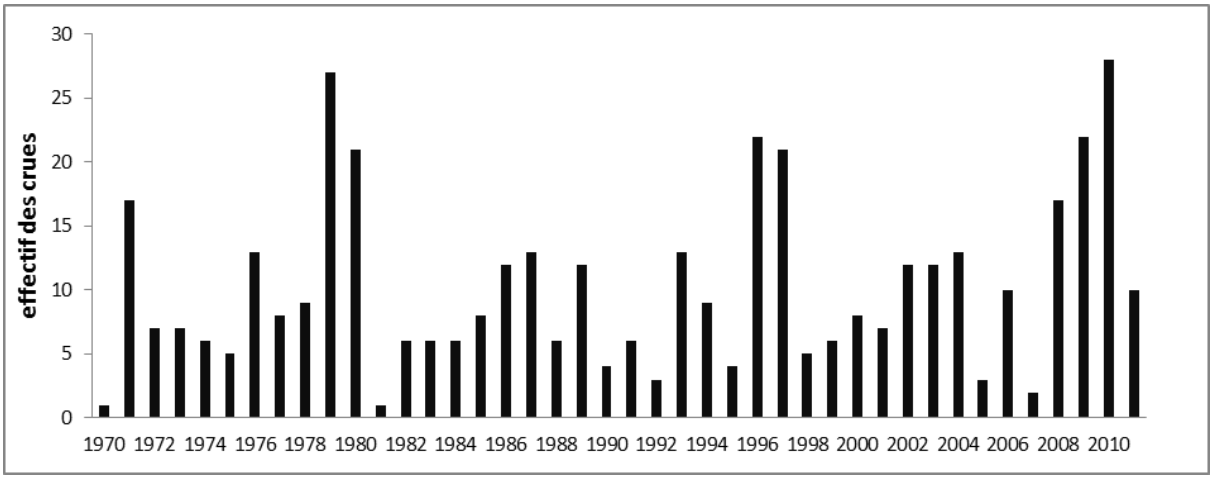
Sur la période 1970/2011, 428 épisodes de crues ont été répertoriés (tab. 4.5). Ils se répartissent en crues simples, avec une seule pointe de crue, et en crues complexes avec plusieurs pointes de crue correspondant à la succession de plusieurs épisodes de pluies.

Tableau 4. 4 : Types de crues à la station de Taghzirt (1970-2011).

Type	Simple	Complexe		
		Nombre de pointes		
Effectif	370	2	3	4
		47	12	1
		58		

Comme pour les autres caractéristiques relatives aux débits, la fréquence des crues est très variable d'une année à l'autre. L'année 1979/80 a connu 27 épisodes de crue alors que 1970/71 n'en a connu que 2.

Figure 4. 7 : Effectifs annuels des crues à la station de Taghzirt (1970-2011).



Le nombre de crues s'organise au sein de l'année autour du mois de janvier pour lequel le plus grand nombre de crues a été observé, avec 77 évènements (fig. 4.8). La période de novembre à avril concentre près de 90% des crues. La période de juin à août est quasi exempte de crues. Les mois de mai et septembre présentent quelques crues mais moins d'une, une année sur 2 pour le premier et moins d'une, une année sur 4 pour le second.

Figure 4. 9 Effectifs des crues à l'échelle l'échelle mensuelle à la station de Taghzirt.

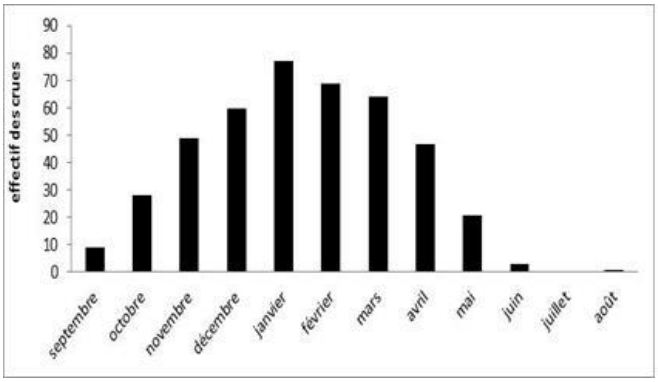
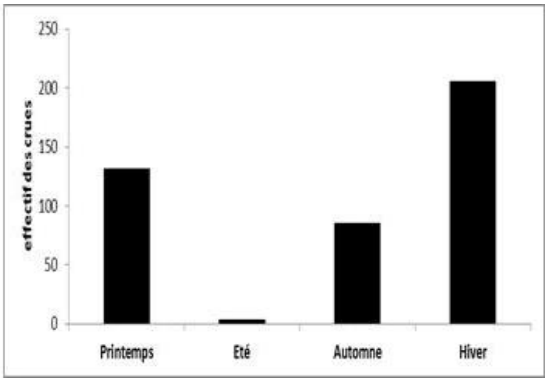


Figure 4. 8 : Effectifs des crues à saisonnière à la station de Taghzirt.

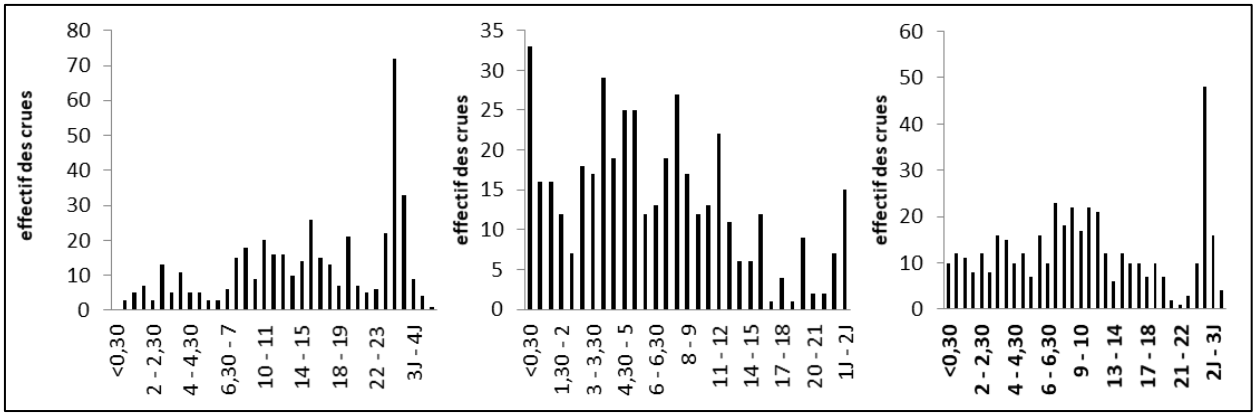


Cette répartition s'illustre au niveau saisonnier par la prédominance des crues d'hiver (fig. 4.9), plus de 200 soit la moitié du nombre d'épisodes, qui s'explique par la fréquence des types de temps pluviogène (chap. 3). Le printemps est également propice aux crues avec 140 occurrences. Durant l'automne également les crues sont probables puisqu'en moyenne elles surviennent 2 fois par an.

Au final seul l'été est préservé d'évènements hydrologiques de type crue.

Sur les 428 crues examinées, environ les trois quarts ont un temps de base inférieur à la journée et une sur 10 inférieures à 6h. Ceci rend compte à la fois de l'intensité de l'évènement pluvieux mais également de la rapidité de concentration des eaux à l'exutoire. Le temps de montée est d'un point de vue opérationnel une donnée très importante puisqu'il renvoie au temps dont dispose les populations pour réagir. Or un dixième des crues ont un temps de montée inférieur à l'heure ce qui est très court ramené à la surface de 443,5 km² du bassin. Toutefois la majorité des crues ont un temps de montée compris entre 3 et 9 heures. Au-delà ce sont des crues complexes avec une atteinte de la pointe de crue en plusieurs temps.

Figure 4. 10 : Temps de base, de montée et de descente des crues à la station de Taghzirt.



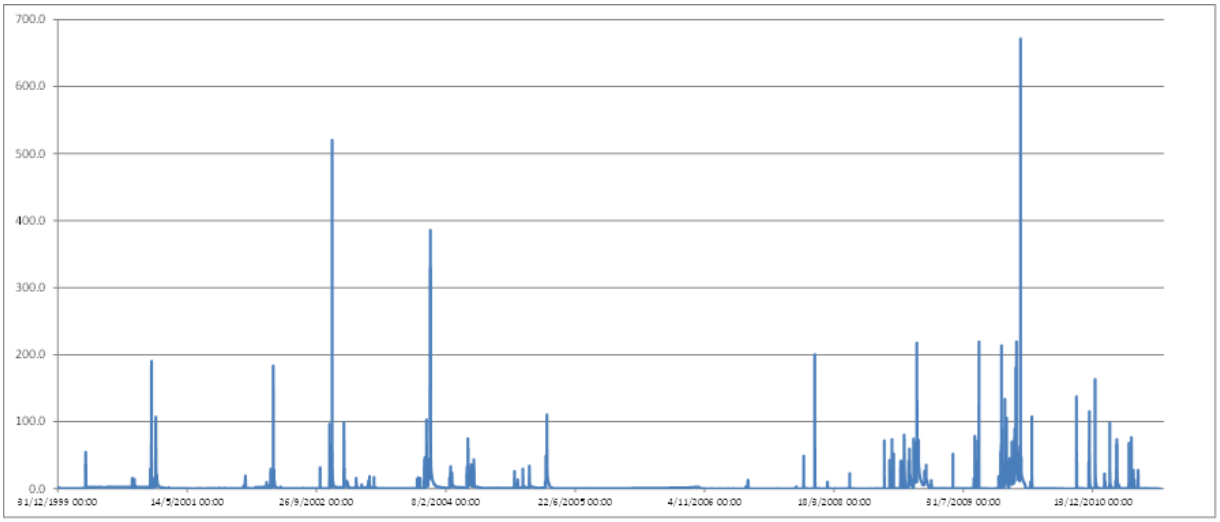
Le temps de descente modale est de 10 heures traduisant une décrue rapide.

2. La période 2000 à 2011

Sur la période 2000/2011 nous avons identifié 101 épisodes de crue sur l'hydrogramme à pas de temps variable produit à la station de Taghzirt (fig.4.10), 40 crues simples (pointe de crue

unique) et 61 crues complexes. Rappelons que c'est sur cette période que sont survenues les 3 crues majeures da la période 1970-2011.

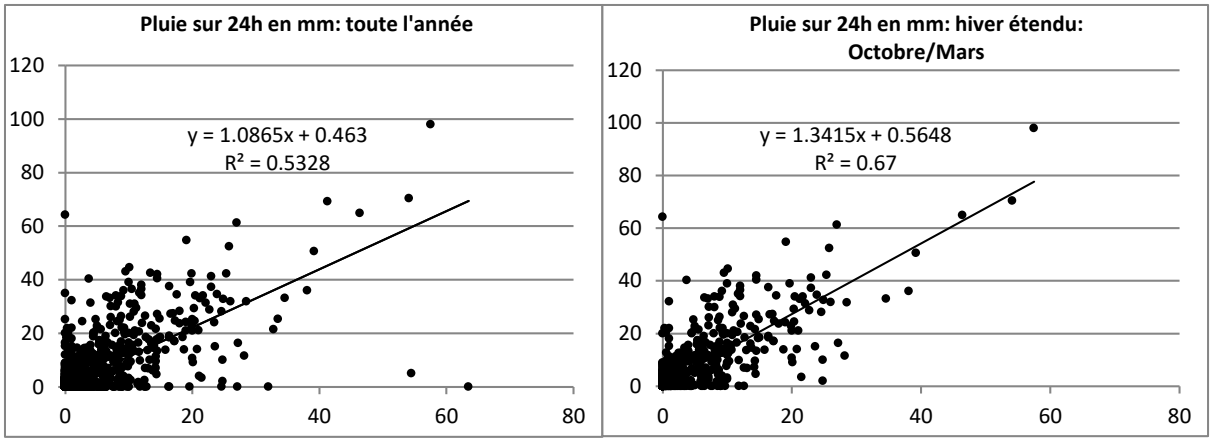
Figure 4. 11 : Hydrogramme des débits à pas de temps variable (m3/s) à la station de Taghzirt, 2000-2011.



Afin de calculer les précipitations moyennes sur le bassin à l'origine des crues nous avons utilisé les précipitations enregistrées au pas de 24h aux stations de Tizy et de Taghzirt de 2000 à 2011. Ces stations sont relativement éloignées, une quarantaine de kilomètres, mais encadrent le bassin de l'oued Derna selon un axe ouest/est donc selon la trajectoire préférentielle des masses d'air venant de l'océan. Ceci est mis en évidence par la relativement bonne relation entre les pluies des deux postes surtout pour la période de l'hiver étendu (fig.4.12). Dans le cadre d'un domaine géographique homogène du point de vue des précipitations (cf. vecteur régional) le calcul des précipitations moyennes sur 24h tombant sur l'oued Derna nous parait donc réaliste. Elles sont calculées en affectant un poids relatif de chaque station selon la méthode de Thiessen soit 1/3 pour la station de Tizy et 2/3 pour la station de Taghzirt.

Les caractéristiques de ces données de précipitations fixent les limites de notre étude sur les crues. Ces deux postes situés aux extrémités du bassin au regard de la taille du bassin versant (443km²) ne nous permettent pas de localiser la pluie précisément sur le bassin et par conséquent de distinguer l'origine géographique des pluies pour les épisodes de crue. Ceci est une limite notamment pour faire un lien entre origine des pluies et temps de montée. Dans la même veine la faible résolution temporelle (pluie/24h) nous interdit de travailler sur le temps de réponse.

Figure 4. 12 : Corrélation entre les précipitations journalières des stations de Tizy et de Taghzirt de 2000 à 2011.



Les crues peuvent se dérouler sur des temps très brefs, de l'ordre de 6h pour des crues simples ou bien durer une quinzaine de jours (tab. 4.6) dans le cas de crues complexes associées à des conditions météorologiques dépressionnaires. L'analyse des crues simples permet davantage d'obtenir des informations sur la réponse du bassin versant à un événement pluvial ce qui nous intéresse au premier chef dans ce travail sur le risque associé aux crues.

Figure 4. 13 : Durées caractéristiques des crues simples de l'oued Derna.

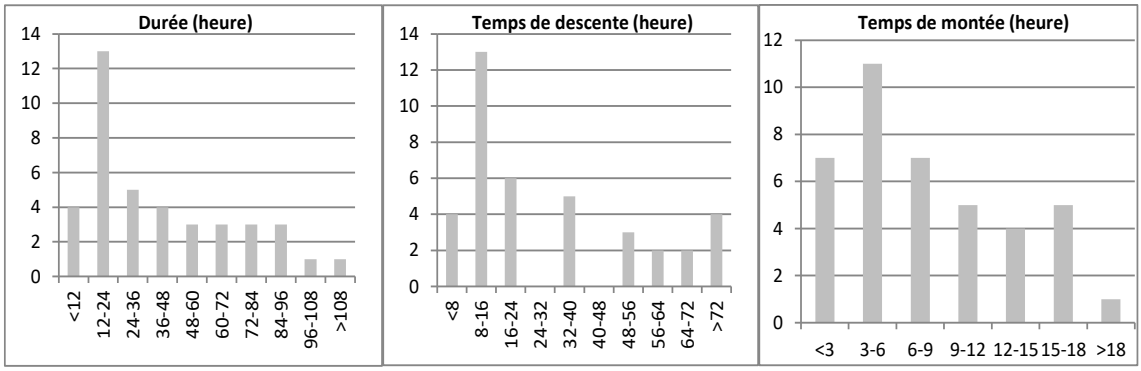


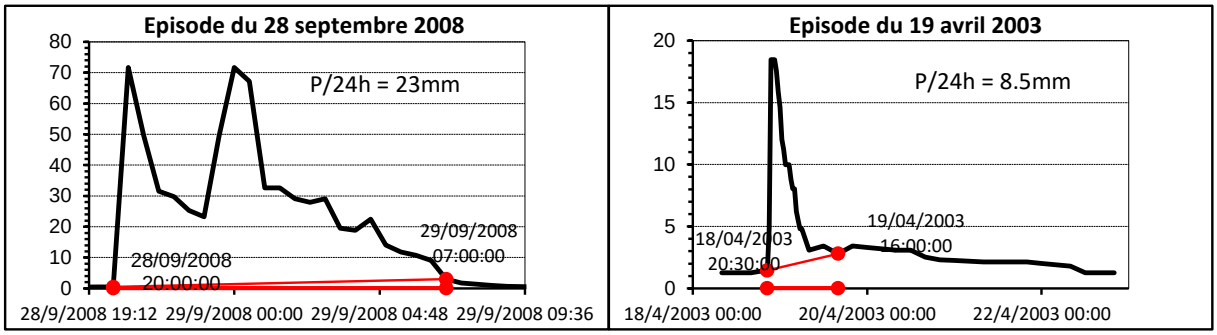
Tableau 4. 5 : Caractéristiques relatives aux crues de l'oued Derna de 2000 à 2011.

		Durée	Temps Montée	Temps descente	Vol. crue	Vol. Pluie	coef ERC	QInst.Max.
					hm^3	hm^3	%	m^3/s
Crues simples	moyenne	01j 16 h 08 mn	00j 07 h 54 mn	01j 08 h 23 mn	1.5	8.2	18	53.0
	minimum	00j 06 h 30 mn	00j 00 h 30 mn	00j 03 h 30 mn	0.01	0.40	0.36	0.97
	maximum	05j 16 h 00 mn	00j 22 h 00 mn	05j 08 h 00 mn	14.9	21.2	80	671.2
Crues multiples	moyenne	05j 16 h 10 mn	01j 09 h 41 mn	04j 06 h 29 mn	6.1	22.4	24	76.8
	minimum	00j 12 h 30 mn	00j 03 h 30 mn	00j 07 h 00 mn	0.2	0.8	1	2.5
	maximum	15j 04 h 00 mn	07j 04 h 00 mn	14j 02 h 30 mn	28.2	59.2	79	520.0

Une crue simple dure en moyenne 1 jour et 16 heures avec une durée modale comprise entre 12 et 24h (fig.4.13). Le temps de montée est de 8h mais peut être très bref avec un minimum observé de 30 minutes. Le temps de descente est de 1 jour et 8 heures mais avec une durée modale inférieure à 16 heures. Donc globalement un épisode de crue de l'oued Derna s'inscrit dans une durée de l'ordre de 24h ce qui souligne la rapidité du phénomène. On ne peut pourtant

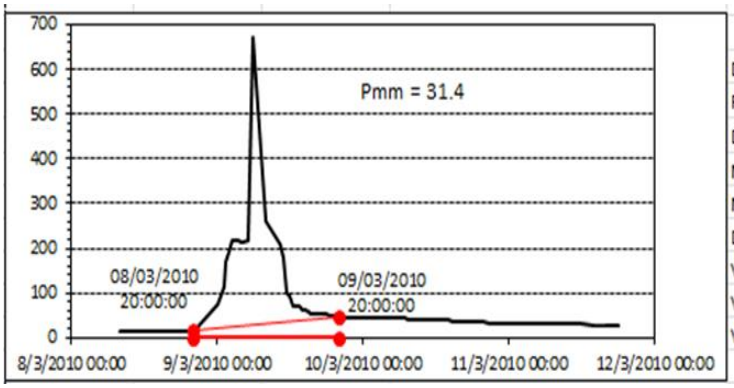
pas a priori parler de crue-éclair sauf dans certain cas où les précipitations sont intenses et localisées à l'aval du bassin comme le laisse supposer l'épisode du 28 septembre 2008 lié à une pluie de 23 mm sur la journée ou celui du 19 avril 2003(fig.14).

Figure 4. 14 : Hydrogramme (m3/s) pour 2 montées de crue rapide.



Mais pour autant ces réactivités les plus importantes observées n'ont pas générées de fortes pointes de crue. Le plus fort débit instantané observé, de 671 m^3/s, sur les 12 années de données est dû à la crue simple du 12 mars 2010 (4.15). Il est suivi par les 520 m^3/s de la crue complexe du 23 novembre au 8 décembre 2002 (4.16).

Figure 4. 15 : Hydrogramme de la plus forte crue enregistrée sur l'oued Derna – 2000/2011.

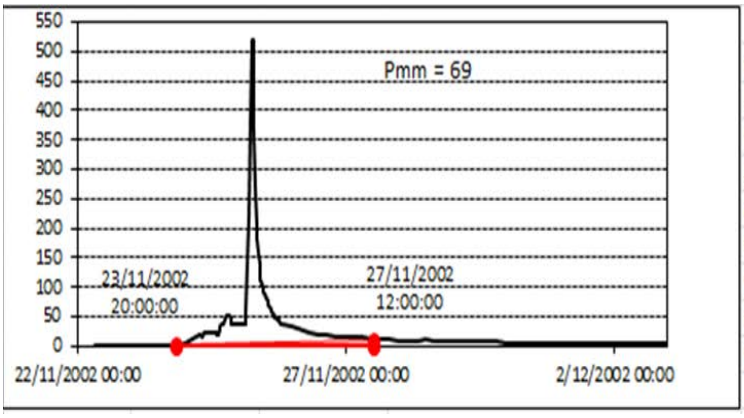


		Q m^3/s	Q hm^3
Début	08/03/2010 20:00:00	14.1	
Fin	09/03/2010 20:00:00	46.5	
Durée	01j 00 h 00 mn		
Maximum	09/03/2010 06:00:00	671.2	
Montée	0j 10 h 00 mn		
Descente	0j 14 h 00 mn		
V. Base	2618.8		2.6
V. Total	13590.2		13.6
V. Crue	10971.5		11.0

La plus forte crue enregistrée s'est déroulée sur 24 heures à la faveur d'une pluie de 31.4 mm a priori d'intensité variable comme le suggère l'allure de l'hydrogramme (palier aux alentours de 220 m^3/s pendant 3h). Lors de cette crue 11 hm^3 se sont écoulés, ce qui comparés aux 14 hm^3 précipités entraine un CERC de l'ordre de 80%.

La 2ème plus forte crue s'est déroulée sur 3 jours et 16 heures pour une pluie cumulée de 69 mm. Le volume généré par la crue est de 12.4 hm^3 pour 30.5 hm^3 de précipitation ce qui donne un CERC de 40%.

Figure 4. 16 : Hydrogramme de la 2ème plus forte crue enregistrée sur l'oued Derna – 2000/2011

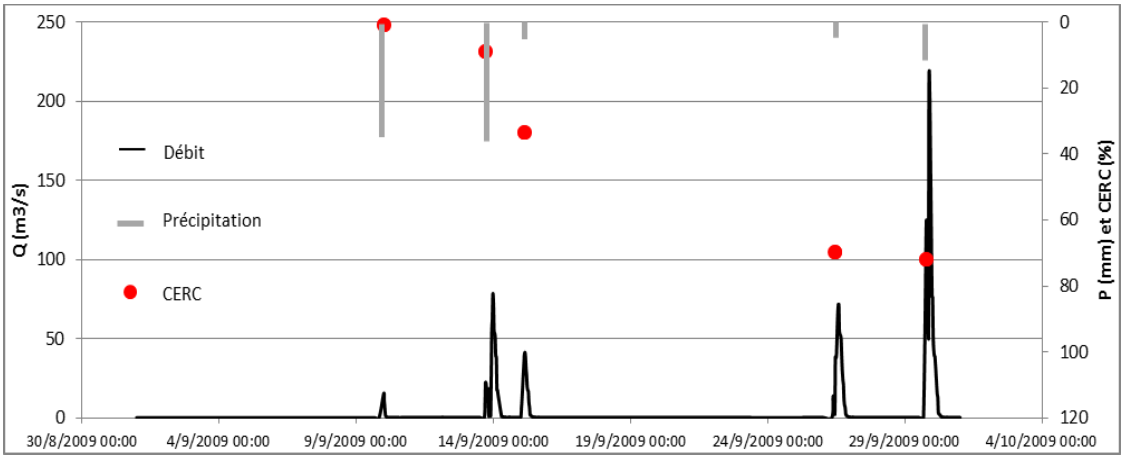


		Q m³/s	Q hm³
Début	23/11/2002 20:00:00	2.1	
Fin	27/11/2002 12:00:00	10.0	
Durée	03j 16 h 00 mn		
Maximum	25/11/2002 06:00:00	520.0	
Montée	1j 10 h 00 mn		
Descente	2j 06 h 00 mn		
V. Base	1919.3		1.9
V. Total	14277.5		14.3
V. Crue	12358.2		12.4

Ces deux crues extrêmes illustrent la difficulté à mettre en évidence un mécanisme ou des propriétés-type de la genèse des crues sur le bassin de l'oued Derna et à l'évidence sur l'ensemble du domaine. Il n'a pas été possible d'établir de relation entre chacune des variables, précipitation, CERC, pointe de crue, volume de crue. Chaque crue apparait donc différente dans sa genèse, dépendant très largement de l'intensité pluviale sur des pas de temps courts non discernables avec nos données sur 24h.

Cependant l'analyse hydrologique du mois de septembre 2009, durant lequel se succèdent 5 épisodes pluvieux d'intensité et de montants variables, permet de pousser un peu plus loin la compréhension de la genèse des crues (fig. 4.17). Les premières pluies de fin d'été (ici le 9 septembre 2009), pourtant élevées (supérieures à 20mm/24h) ne génèrent presque pas d'écoulement (QIMax=15m3/s). Ceci est confirmé par un CERC moyen des premières pluies d'automne, généralement en octobre, de 6%. Cinq jours plus tard, le 13 septembre, une pluie similaire à l'épisode précédent engendre une QIMax 5 fois plus important (75m^3/s) avec un CERC de 9%. Deux jours après, le 15 septembre, une faible pluie (4.1mm) génère un débit de 41m3/s avec un CERC de 33%. Neuf jours plus tard, les deux derniers épisodes pluvieux du mois se succèdent à 5 jours d'intervalle et génèrent des crues de forts débits (plus de 200m^3/s) malgré des pluies faibles inférieures à 10mm/24h ; Ceci est dû au très fort CERC de l'ordre de 70%.

Figure 4. 17 : Hydrogramme, hyétogramme et CERC du bassin de l'oued Derna du mois de septembre 2009.



On retrouve cette même séquence pour avril 2002 où 4 épisodes pluvieux engendre un CERC croissant de 3% à 22%, en novembre 2008 avec 5 épisodes pour des CERC croissant de 1 à 79%, ou encore décembre 2009/janvier 2010 avec 6 épisodes pour des CERC croissant de 4 à 51%. C'est dans cette même configuration qu'adviennent les deux plus fortes crues de novembre 2002 et mars 2010 (fig.4.14, 4.15).

Il apparait donc que l'effet « mémoire » du bassin versant, c'est-à-dire les conditions d'humidité antécédentes à l'épisode pluvieux, est un facteur prépondérant dans l'apparition de fortes crues. C'est en ce sens qu'il faut lire les CERC moyens mensuels sur la période de l'hiver étendu, d'octobre à mars (tab. 4.6) ; C'est dans cette période de l'année, de types de temps similaires, que se produisent les crues majeures, avec une bonne fréquence de phases de crue qui garantit la significativité de la moyenne. Croissant d'octobre à janvier, les CERC intègrent à la fois le fort montant des précipitations/24h (jusqu'à 82mm pour le 14 novembre 2002) et la fréquence des épisodes pluvieux.

Tableau 4. 6 : Coefficients d'écoulement rapide de crue de l'oued Derna pour l'hiver étendu.

	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars
CERC %	8	17	29	31	22	19

Si nous avons mis en évidence un certain fonctionnement hydro-pluviométrique à l'origine des crues majeures d'octobre à mars, qui regroupe plus de 90% des crues significatives de récurrence annuelle ($70m^3/s$) il n'en demeure pas moins que de fortes crues peuvent également survenir du fait uniquement d'une intensité pluviale remarquable comme l'illustre la crue isolée du 20 juin 2009 qui atteint 52 m^3/s pour un temps de base de 12h.

Conclusion:

L'étude des crues de l'oued Derna aboutit à une caractérisation précise de l'aléa à l'origine des inondations dans les localités du "dir" de Béni-Méllal. Cet aléa peut survenir durant 9 mois de l'année avec néanmoins une plus grande probabilité l'hiver et la printemps. Une des conditions à la survenue de très fortes crues est la succession rapprochée d'épisodes pluvieux révélant une diminution progressive de l'infiltration malgré un substratum perméable sur une grande proportion du bassin. Enfin le trait marquant relatif à l'aléa est la mise en évidence d'un glissement depuis 41 ans vers une plus grande occurrence d'évènements de très fortes amplitudes qui n'avaient jamais été observés jusqu'au début du 21ème siècle. Une des causes de ce changement est vraisemblablement une modification dans la structure des pluies.

Chapitre 5 : Les bassins test : la production des données hydrométriques:

Sommaire :

Introduction:

I) La production de données de débits : méthodologie:

II)Mise en œuvre du dispositif de mesure sur les bassins tests:

a) Détermination et équipement des tronçons de mesure et mesure des niveaux d'eau:

b) La mesure topographique:

c) La mesure de débit:

III) La modélisation dans HEC-RAS:

Conclusion:

Introduction:

La production de données hydrométriques continues dans un contexte de piémont, de régime hydraulique torrentiel et d'accessibilité limitée, impose une méthodologie propre, dans laquelle la mesure de débit bien que nécessaire n'est pas la plus disponible. Nous présentons dans ce chapitre la méthodologie déployée sur les sites de mesure pour produire les hydrogrammes aux stations sur la base d'un nombre de points de contrôle limités.

I) La production de données de débits : méthodologie:

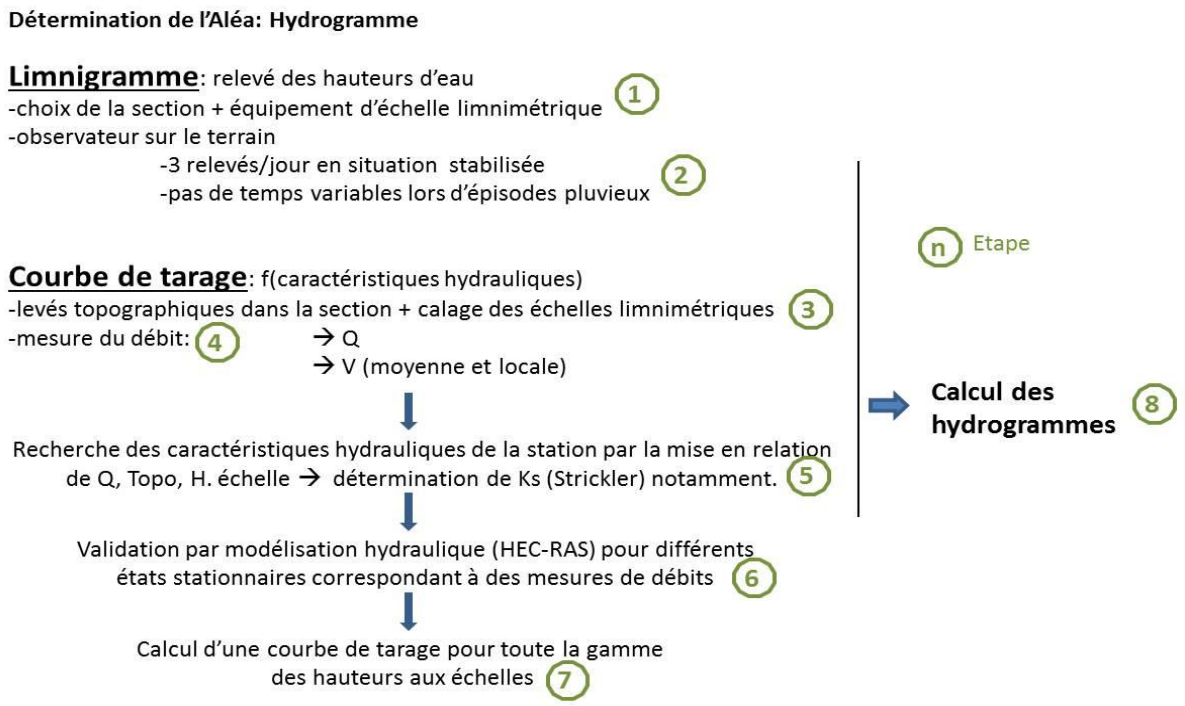
La production de données hydrométriques en continu dans une section d'un cours d'eau repose classiquement sur la mesure de deux variables. La première, la limnimétrie, peut se faire en continu alors que la seconde, du ressort de la débimétrie, ne peut se faire, en milieu naturel que de façon ponctuelle. Le passage d'une hauteur d'eau en continu à un débit implique donc la construction de la relation hauteur/débit (Q=f(h)), d'une courbe de tarage, de la station. Or « la relation qui existe entre le débit d'un cours d'eau dans une section transversale et la hauteur sous laquelle ce débit s'écoule, est une fonction très complexe des caractéristiques géométriques et hydrauliques de la section considérée et du bief qui la contient » (**Jaccon G., 1986**). Sachant d'emblée, compte tenu de la torrentialité des écoulements qu'il ne serait pas possible de mesurer les débits à partir d'une cote faible et donc d'établir une relation empirique entre le niveau d'eau et le débit nous avons opté pour un dispositif impliquant la mesure de l'ensemble des paramètres topographiques et hydrauliques sur un tronçon à l'aval des bassins versants tests.

La production des hydrogrammes repose sur 8 étapes (fig 5.1). La première étape a été la sélection d'une section à l'aval des bassins versants qui garantisse une accessibilité par tout temps, un chenal unique quel que soit le niveau d'eau et nous garantissant de l'univocité de la relation hauteur débit, donc une pente forte car il est impossible dans ce genre de cours d'eau d'avoir une section de contrôle. Sur cette base nous avons équipé/borné chaque tronçon par une échelle limnimétrique sur lesquels un observateur lit et note le niveau d'eau à raison d'au moins une fois par jour lorsqu'il ne pleut pas et à pas de temps variable lors d'évènements pluvieux (étape 2). Les étapes 3 à 7 visent à mettre en relation tous les paramètres topographiques et hydrauliques dans la section. L'étape 3 a consisté à faire le levé topographique des tronçons à partir de plusieurs profils en travers ainsi que le nivellement des échelles. A ce stade l'ensemble du "système" est nivelé en relatif. Dans la 4ème étape nous avons effectué des mesures de débits par la méthode d'exploration du champ des vitesses en mode point par point. Donc pour un débit mesuré nous disposons d'une côte aux échelles amont et aval, d'une pente longitudinale de la ligne d'eau, d'une surface mouillée, et de vitesses moyenne et locale dans la section. En posant l'hypothèse d'un écoulement uniforme et permanent la formule de Manning-Strickler (équation 1) est considérée comme une bonne approximation (**Vasquez J., 2009**), en régime turbulent, pour exprimer un débit (Q) en fonction des paramètres hydrauliques d'une section.

Eq. 1 $$Q = \boldsymbol{K_s}.\boldsymbol{S}.\boldsymbol{R_h^{2/3}}.\boldsymbol{i^{1/2}}$$

Avec K_s = coefficient de rugosité de Strickler, S = section mouillée, R_h = rayon hydraulique, i = pente de la ligne d'eau

Figure 5. 1 : la démarche de production d'hydrogrammes.



L'étape 6 vise à mettre en cohérence au sein du tronçon, à partir d'une modélisation par le logiciel HEC-RAS, l'ensemble des variables pour différente mesure de débit. Cette mise en cohérence est faite en gardant le coefficient Ks constant pour toutes les mesures. L'équation de Manning-Strickler est très sensible au paramètre Ks ce qui implique que celui-ci corresponde vraiment au tronçon de mesure du débit. C'est là tout l'intérêt de le caler à partir de plusieurs débits au sein d'un système physique unifié que représente le dispositif de mesure de débit.

Dans l'étape 7, à partir du profil en travers aux échelles et du paramètre Ks, la relation hauteur/débit est établie pour l'ensemble des hauteurs et l'équation de la courbe de tarage de chaque station est obtenue. A partir de celle-ci les débits sont calculés pour toutes les hauteurs mesurés et l'hydrogramme à pas de temps variables est disponible pour l'analyse hydrologique. (Annexe 5.1, 5.1, annexe 5.2, annexe 5.3, 5.14)

II) Mise en œuvre du dispositif de mesure sur les bassins tests

La mise en œuvre du dispositif de mesure s'est avérée très délicate puisque les cours d'eau qui drainent le "dir" du Moyen-Atlas sont de type torrentiel, présentant peu de tronçons remplissant un minimum de critères nécessaires à la mesure en continu. De tous les critères devant satisfaire à la mise en place d'une station tels que mesure de débit dans toutes les gammes de hauteurs d'eau, la fidélité de la relation hauteur/débit, la sensibilité, l'accessibilité, la possibilité de jaugeage et la facilité de lecture des échelles (Audinet M., 1995) notre choix ne s'est fait que sur la base des trois derniers.

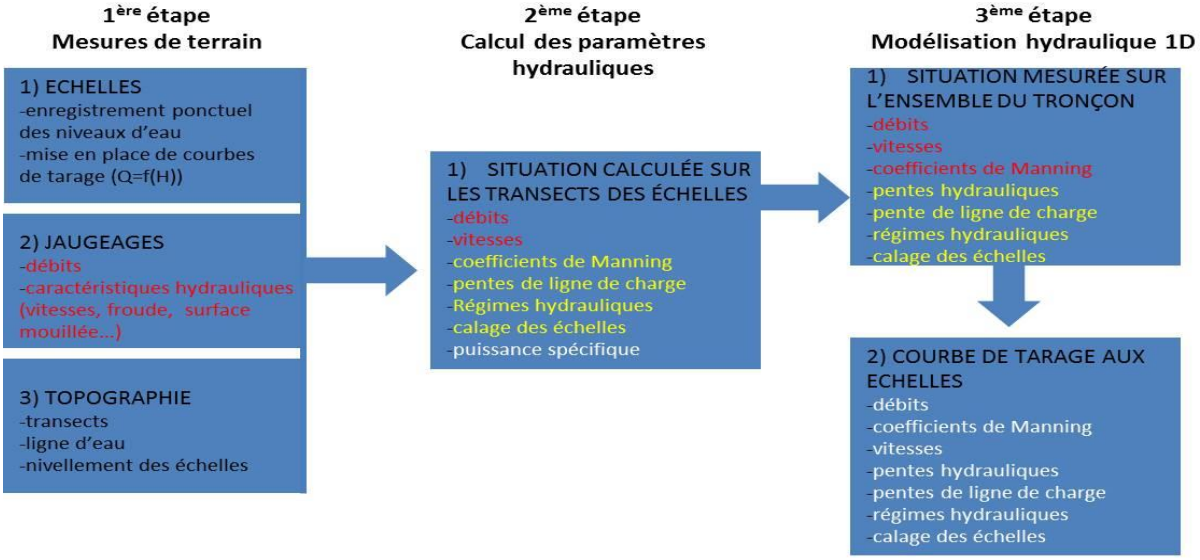
a) Détermination et équipement des tronçons de mesure et mesure des niveaux d'eau:

Les cours d'eau entaillent perpendiculairement le "dir" pour rejoindre l'Oum Er Rbia dont la route principale est parallèle. L'accès à ces cours d'eau se fait à partir de chemins qui peuvent

être largement perchés par rapport au cours d'eau si bien que le nombre de tronçons accessibles par tous temps est très limité.

Le profil longitudinal est très irrégulier présentant une succession de zone peu pentue encadrée par des chutes. Ainsi les tronçons ont été choisis sur des secteurs dont la pente était régulière sur une cinquantaine de mètres au moins. La forte pente ou les chutes à l'aval garantissent dans ce cas l'univocité de la relation hauteur/débit. Les tronçons retenus pour le dispositif de la mesure des débits ont été équipés d'une échelle limnimétrique à l'amont et à l'aval. Ces deux échelles installées au départ nous permettaient le cas échéant d'avoir un double contrôle des hauteurs (fig 5.2).

Figure 5. 2 : Synoptique de la modélisation hydraulique.



Les éléments d'échelle limnimétriques, fournis par l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rabia, ont été soit cimentés sur une des rives du chenal d'écoulement soit vissés sur les berges cimentés pour l'oued Ikkour, ou encore peinte sur une paroi rocheuse pour l'aval du tronçon de l'oued Aqq'a n'Hançale(Hançala).

Planche photos 5. 1 : Echelle amont et aval – l'exemple de l'Oued Echkounda(Sid Chamià.



Une fois les échelles installées, ce sont des observateurs (un par station) habitant sur ou à proximité des stations qui ont relevé les hauteurs aux échelles. La consigne était au moins une fois par jour en régime stabilisé non influencé directement par les précipitations ou à pas de temps variables lors d'épisodes pluvieux (tab 5.1 et photo 5.1).

Tableau 5. 1 : hauteur d'eau a l'échelle aval.

Dates	Hauteur échelle amont (cm)	Hauteur échelle aval (cm)
3/11/14 12:00	0.0	0
3/11/14 13:15	62.0	62
3/11/14 13:20	52.0	52
3/11/14 13:45	41.0	45
3/11/14 14:00	41.0	45
3/11/14 16:00	41.0	45
3/11/14 18:00	41.0	41

Photo 5. 1 : Niveau d'eau à l'échelle aval de l'oued Ikkour.



Niveau d'eau à l'échelle aval de l'oued Ikkour et tableau correspondant le 3/11/2014.

Les relevés aux échelles des trois stations ont été faits du début novembre 2014 à mai 2017 (Annexe 5.1).

b) La mesure topographique:

Les levés topographiques ont été réalisés par plusieurs géomètres avec un tachéomètre (photo 5.2). Entre 6 et 10 profils en travers ont été réalisés pour représenter fidèlement le tronçon de mesure entre les deux échelles limnimétriques.

Planche photos 5. 2 : Levés de profils en travers par tachéomètres.

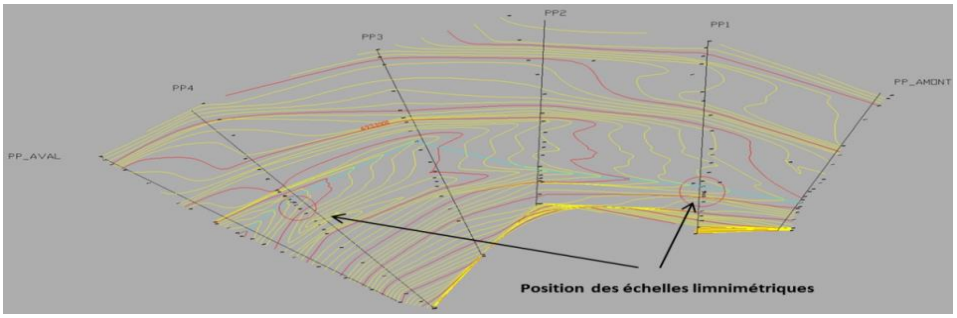






Le post traitement des fichiers DXF ainsi produits a été réalisé par Luc Manceau dans l'environnement AutoCad. A ce stade nous disposons donc d'une représentation 3D des tronçons de mesure dans laquelle les échelles limnimétriques sont calées (fig. 5.3).

Figure 5. 3 : Le tronçon d'Aït Hammou en 3D



c) La mesure de débit:

Les mesures de débits Q ont été faites à gué aux micro-moulinets par la méthode de l'exploration du champ des vitesses en mode point par point (photo 5.3). Compte tenu de l'éloignement des sites, de la réactivité des cours d'eau et de la dangerosité de ceux-ci en période pluvieuse les jaugeages n'ont pu être réalisé que pour des cotes aux échelles faibles donc sur une faible amplitude au regard de ceux observés (annexe 5.5 et annexe 5.6).

Planche photos 5. 3 : Jaugeages au micro-moulinet/



Les mesures de débits ont été faites en suivant les recommandations de la "Charte de l'hydrométrie" (**Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1998**) tant du point de vue du matériel utilisé que du déroulé de la mesure proprement dite. En effet le matériel nous a été prêtés par l'AHOB et nous avons été accompagné lors des sorties par M A. Elkhider, technicien de l'AHOBR. Le dépouillement des jaugeages a été fait sur le logiciel "Lulu" (**Luc Manceau, 2010**). Nous disposons donc comme points de contrôle pour l'élaboration de la courbe de tarage 5 mesures de débits et les cotes aux échelles correspondantes (tab.5.2).

Tableau 5. 2 : Mesures de débits disponibles pour les 3 tronçons.

Aït Hammou		Aqqa N'Hançale		Zaouit Cheikh	
Date	Q en l/s	Date	Q en l/s	Date	Q en l/s
09/12/2014	0,032	13/12/2014	0,149	04/12/2014	1,47
13/12/2014	0,0806	28/12/2014	0,178	28/12/2014	0,136
28/12/2014	0,127	04/04/2015	0,497	04/04/2015	0,278
04/04/2015	0,088	12/05/2015	0,147	12/05/2015	0,014
12/05/2015	0,046				

Ces points de contrôle servent dans l'étape suivante à produire les courbes de tarages à partir du modèle Hec-Ras.

III) La modélisation dans HEC-RAS:

La production de données hydrométriques "honnêtes" permettant de conduire une étude hydrologique sur ces bassins, compte tenu du milieu et des contraintes logistiques, ne permettait pas l'utilisation d'une méthode totalement classique. Sachant d'emblée qu'il ne serait possible de mesurer le débit que sur une gamme très réduite de hauteurs d'eau nous avons axé notre démarche sur un dispositif incluant la mesure de l'ensemble des paramètres hydrauliques pour

quelques gammes de débits afin de caler les paramètres d'une modélisation hydraulique, modélisation qui nous permet d'extrapoler les débits.

Pour la modélisation nous avons retenu le modèle HEC-RAS pour 3 raisons : gratuité, bien adapté pour une simulation des écoulements en régime permanent et surtout nous disposions d'une bonne expertise de ce modèle au sein du laboratoire (annexe 5.9, 5.10, 5.11, …5.15).

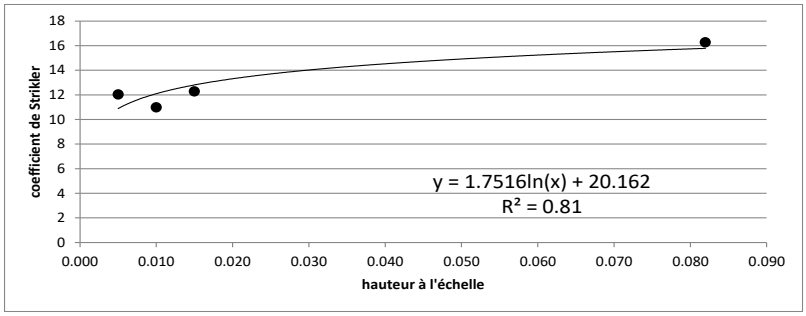
Le modèle HEC-RAS est développé par "the United States Army Corps of engineers Hydrologic Engeneering Centre" (**USACE, 2006**). Le modèle HEC-RAS résout les équations complètes de St Venant en 1D pour les débits en rivière en régime permanent ou non permanent. On trouve les équations notamment dans l'article de **Horritt M.S. et Bates P.D. (2002)**. L'équation de continuité décrit l'équilibre entre les entrées, le stockage et les sorties dans une section de rivière et l'équation des moments rend compte des changements des moments des forces appliqués. Ces équations sont capables de simuler le long du cours d'eau la propagation de l'onde cinématique et diffuse (**Saleh F. et al., 2012**). Toutes les simulations visant la production de débits ont été réalisées en régime permanent.

Les valeurs du modèle à renseigner sont le débit Q de la rivière, la surface à travers laquelle se font les écoulements A (Ac pour le chenal et Af pour la plaine), xc et xf sont les distances le long du chenal et de la plaine, P le périmètre mouillé, R le gradient hydraulique (A/P), *n* le coefficient de rugosité de Manning et S la pente (perte en charge). Pour les valeurs de débits connus nous connaissons également la géométrie dans le tronçon discrétisé par les levés des transects ainsi que la pente de la ligne d'eau à partir des relevés aux deux échelles. La calibration du modèle repose donc sur les valeurs du coefficient *n* de Manning. Il traduit la perte d'énergie liée à la rugosité du fond du lit et des berges qui est fonction de la taille des matériaux constituant le fond du lit ainsi que du type d'obstacle que peut offrir la végétation. Dans la mesure où la perte d'énergie dans un cours d'eau dépend du coefficient de rugosité qui lui-même dépend du niveau d'eau, il a fait l'objet d'un ajustement à une loi pour pouvoir le faire varier sur l'ensemble des gammes de hauteur d'eau modélisé (fig. 5.4)

Les modèles hydrauliques sont très sensibles aux coefficients de rugosité comme l'atteste de nombreuses études théoriques illustrant l'impact de ce coefficient sur l'allure des hydrogrammes de crue (**Wolff C.G., Burges S.J., 1994 ; Ghavasieh et al., 2006**). Compte tenu de cela nous avons fait le choix de la calculer sur la base des débits mesurés correspondant à des données de hauteurs aux échelles. En utilisant la form ule de Manning-Strickler (équ. 1) nous retrouvons ainsi le coefficient de rugosité de Strickler K_s et donc celui de Manning ($n = 1/K_s$).

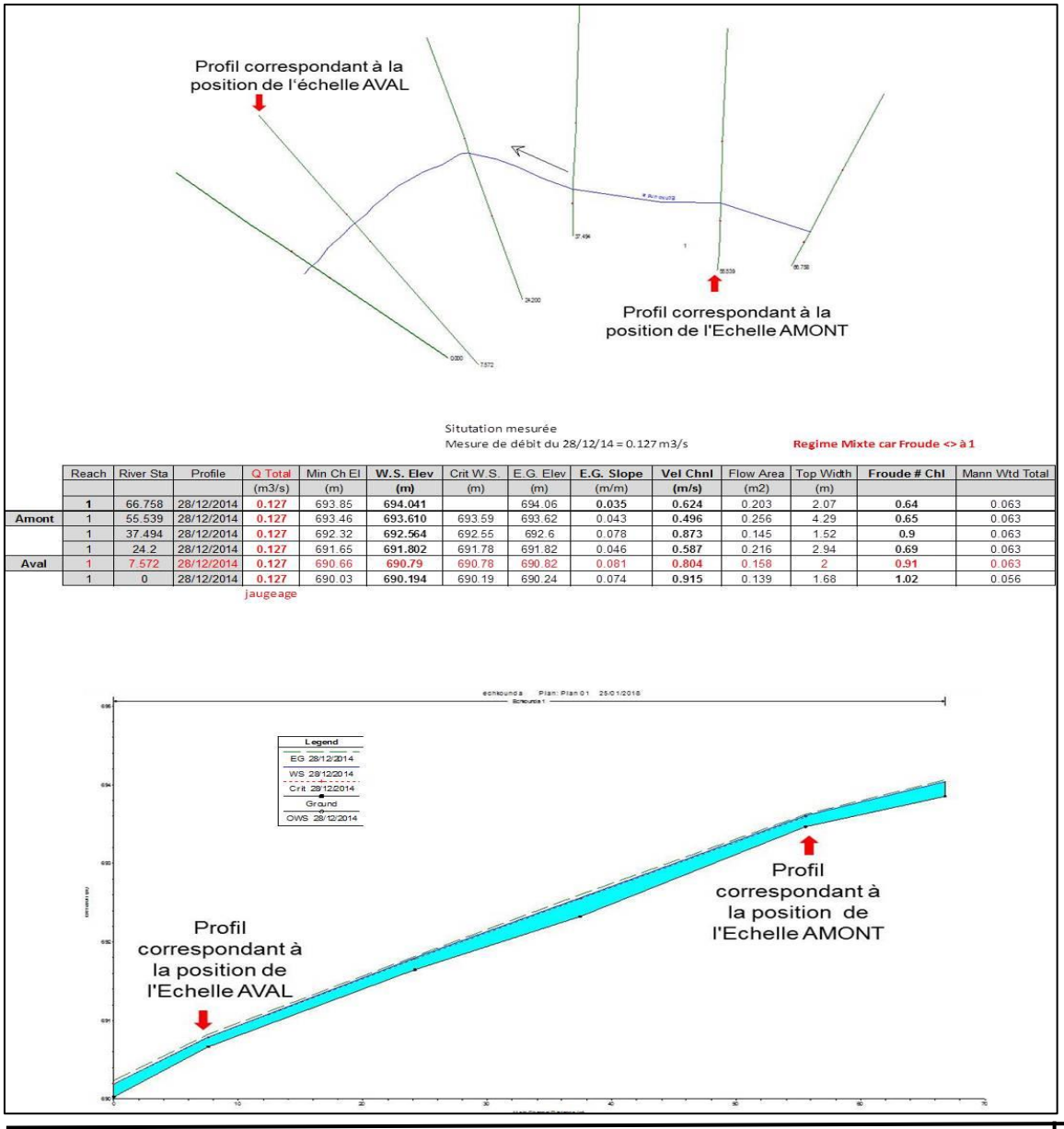
Le point de départ de la modélisation dans Hec-Ras est le calcul des paramètres hydrauliques à partir de plusieurs situations pour lesquelles nous disposons d'un débit mesuré, des cotes correspondantes aux échelles amont et aval et du profil topographique en travers aux échelles. Ainsi pour des situations hydrauliques données et en posant les hypothèses relatives au régime permanent et uniforme de l'écoulement dans le tronçon matérialisant la station de mesure hydrométrique nous pouvons approcher n.

Figure 5. 4 : Les valeurs de Strickler pour les hauteurs mesurées à l'échelle amont de la station de Aït Hammou.



Pour les 3 sites le coefficient de rugosité augmente avec le niveau d'eau selon une tendance logarithmique (fig. x) traduisant une asymptote et donc un plafonnement du coefficient aux alentours de valeurs très faibles comprises entre 0.041 et 0.061 pour le coefficient de Manning (tab 5.3).

Figure 5. 5 : Synthèse des résultats de la modélisation Hec-Ras pour la situation mesurée du 28/12/2014.



	Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Mann Wtd Total
				(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		
	1	66.758	28/12/2014	0.127	693.85	694.041		694.06	0.035	0.624	0.203	2.07	0.64	0.063
Amont	1	55.539	28/12/2014	0.127	693.46	693.610	693.59	693.62	0.043	0.496	0.256	4.29	0.65	0.063
	1	37.494	28/12/2014	0.127	692.32	692.564	692.55	692.6	0.078	0.873	0.145	1.52	0.9	0.063
	1	24.2	28/12/2014	0.127	691.65	691.802	691.78	691.82	0.046	0.587	0.216	2.94	0.69	0.063
Aval	1	7.572	28/12/2014	0.127	690.66	690.79	690.78	690.82	0.081	0.804	0.158	2	0.91	0.063
	1	0	28/12/2014	0.127	690.03	690.194	690.19	690.24	0.074	0.915	0.139	1.68	1.02	0.056

Tableau 5. 3 : Valeurs de Manning et de Strikler pour les 3 sites de mesure (n = 1/Ks).

	Ait Hammou	Zaouit Cheir	Nkankal
Coefficient de Strickler (ks)	11 - 16,25	8,6 - 17	4,2 - 24,5
Coefficient de Manning (n)	0,061 - 0,09	0,058 - 0,11	0,041 - 0,24

Ces coefficients de rugosité très faibles sont en accord avec ce que l'on trouve dans la littérature pour des cours d'eau de montagne sans végétation dans le lit avec des rives escarpées et des arbres et broussailles pour les niveaux élevés. Par exemple ces valeurs correspondent aux plus élevées de celles recensées par l'USGS sur 50 cours d'eau aux USA (**Harry H., Barnes J., 1987**).

En jouant sur les paramètres de calage on cherche à reproduire les conditions de la mesure pour la situation la plus haute mesurée (planche x). Sur la base des paramètres de calage utilisés pour reproduire cette situation les débits d'autres simulations sont faites sur toute la gamme des hauteurs aux échelles enregistrées (tab 5.4).

Tableau 5. 4 : Résultats de la simulation pour diverses cotes à l'échelle aval dans la section de l'oued Aït Hammou.

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Mann Wtd Total	Ht Echelle aval (cm)	Q (m3/s)
1	55.539	PF 1	0.127	693.463	**693.61**	693.59	693.623	0.043	**0.496**	0.256	4.289	**0.65**	0.063	**7.1**	**0.13**
1	55.539	PF 2	0.24	693.463	**693.647**	693.62	693.662	0.038	**0.543**	0.442	5.86	**0.63**	0.063	**10.8**	**0.24**
1	55.539	PF 3	0.535	693.463	**693.696**	693.664	693.723	0.036	**0.722**	0.741	6.258	**0.67**	0.063	**15.7**	**0.54**
1	55.539	PF 4	1.195	693.463	**693.781**	693.745	693.813	0.035	**0.802**	1.495	10.77	**0.68**	0.062	**24.2**	**1.20**
1	55.539	PF 5	2.9	693.463	**693.874**	693.835	693.942	0.038	**1.161**	2.519	11.115	**0.76**	0.062	**33.5**	**2.90**
1	55.539	PF 6	26.5	693.463	**694.406**	694.476	694.863	0.053	**3.045**	8.957	13.08	**1.11**	0.059	**86.7**	**26.50**
1	55.539	PF 7	44	693.463	**694.641**	694.817	695.326	0.057	**3.749**	12.195	14.458	**1.2**	0.057	**110.2**	**44.00**
1	55.539	PF 8	86	693.463	**695.058**	695.426	696.152	0.059	**4.81**	19.056	17.671	**1.29**	0.055	**151.9**	**86.00**
1	55.539	PF 9	112	693.463	**695.303**	695.74	696.517	0.053	**5.105**	23.514	19.101	**1.26**	0.054	**176.4**	**112.00**
1	55.539	PF 10	142	693.463	**695.58**	695.955	696.871	0.049	**5.428**	30.02	25.837	**1.24**	0.05	**204.1**	**142.00**
1	55.539	PF 11	180	693.463	**695.786**	696.212	697.241	0.049	**5.812**	35.446	26.64	**1.27**	0.051	**224.7**	**180.00**

L'exemple de l'oued Echkounda est caractéristique des 3 bassins versants suivis. En position de piedmont ils ont des pentes d'énergie très élevées de l'ordre de 0,05m/m entrainant des vitesses importantes de l'écoulement, au minimum de l'ordre de 0,5 m/s mais pouvant atteindre les 6 m/s pour la cote la plus haute enregistrée. Le régime torrentiel est atteint au environ de 0.8 m de hauteur à l'échelle pour une vitesse de l'ordre de 3m/s. Ces conditions hydrauliques couplées aux difficultés d'accès au cours d'eau témoignent de la difficulté à effectuer des mesures hydrologiques dans ces oueds (tab 5.5).

Tableau 5. 5 : Caractéristiques hydrauliques pour la cote la plus élevée enregistrée sur les 3 stations hydrométriques (2014-2016).

		Aït Hammou (Sid chami)	Zaouit Echiekh	Aqq'n Hancale
Largeur section	m	25.8	13.3	18.42
pente d'énergie	$m.m^{-1}$	0.049	0.009	0.0036
débit	$m^3.s^{-1}$	142.0	38.4	75.5
puissance spécifique	$W.m^{-2}$	2641	255	144

Les valeurs de puissance spécifique supérieure à 144 $W.m^{-2}$ pour ces cours d'eau de quelques dizaines de km^2 témoigne de la concentration des écoulements rendent compte des possibilités

de charriages des cours d'eau et de leur dangerosité en période de crue indépendamment des volumes d'eau.

Figure 5. 6 : Profils longitudinaux du niveau d'eau pour diverses cotes à l'échelle aval dans la section de l'oued Echkounda.

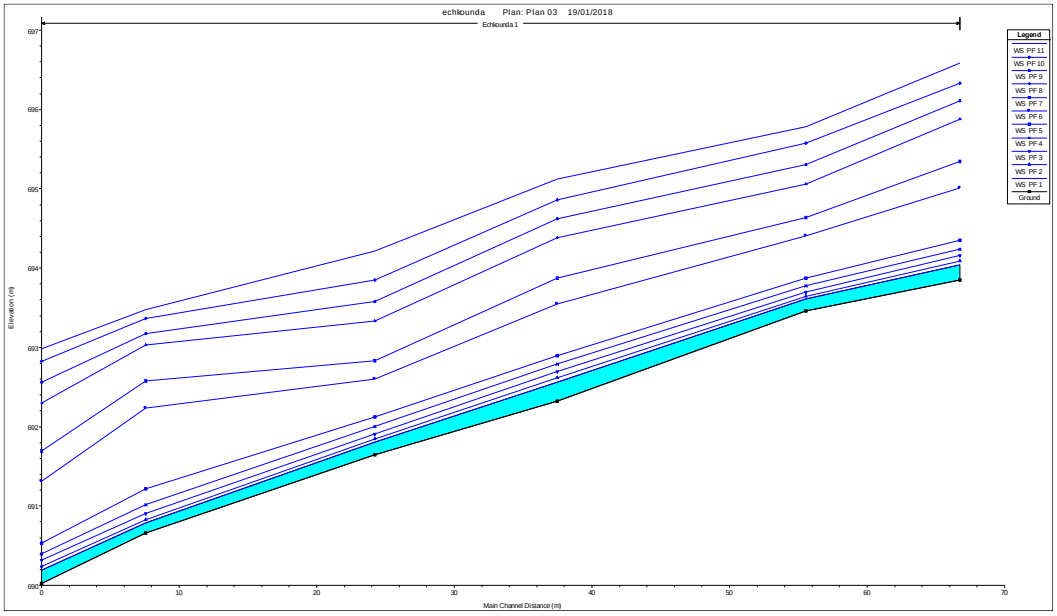
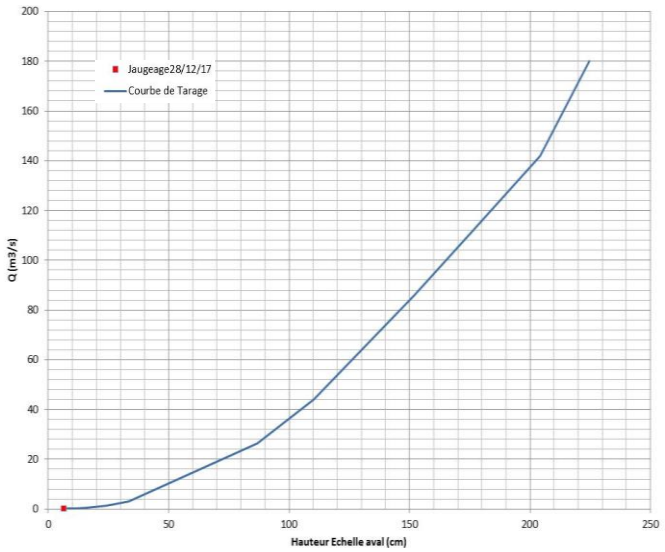
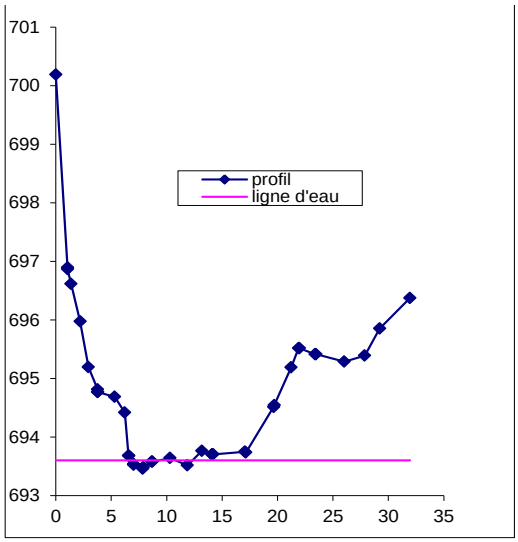


Figure 5. 7 : Courbe de tarage et profil en travers à l'échelle aval dans la section de l'oued Echkounda.

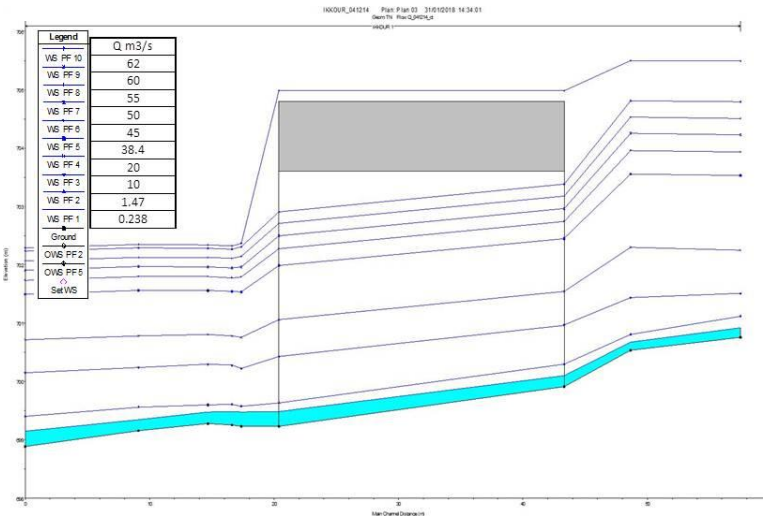




La courbe de tarage présente une allure générale classique avec cependant des ruptures de pente assez marquées correspondant aux échancrures dans le profil en travers (fig. 5.7). Il est à noter que les valeurs ayant servies au calage du modèle sont très faibles au regard des cotes enregistrées ce qui fixe les limites des valeurs calculées.

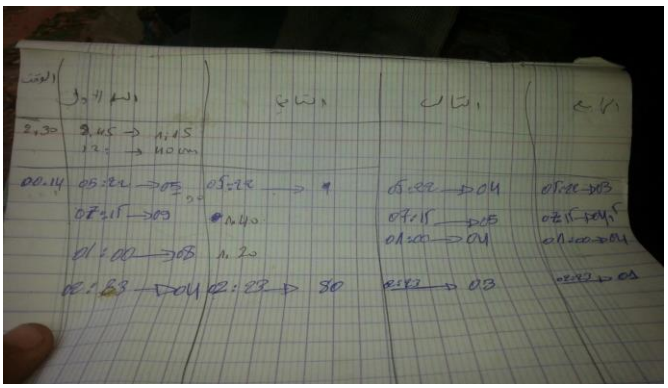
Le site de mesure de l'oued Ikkour situé dans le bourg de Zaouit Echiekh est un cas particulier puisqu'il se situe à l'aval d'un pont sur la route de Béni-Méllal à Khenifra. Pour la plus haute cote enregistrée (220.3 cm) le pont n'entre pas en charge par contre à partir de la cote 292 cm le pont entre en charge (fig 5.8).

Figure 5. 8 : Les simulations pour l'oued Ikkour.



Pour le relevé des côtes du niveau d'eau aux échelles en fonction du temps nous avons opté pour l'utilisation d'observateurs plutôt qu'un limnigraphe. Ce choix est motivé par plusieurs facteurs. Le premier d'entre eux est la difficulté d'ancrer un appareil dans le cours qui pourrait supporter les conditions de pression lors des débits de crue (vulnérabilité à l'arrachement). Le deuxième, lié au premier, est l'éloignement des sites de mesures par rapport à Béni-Méllal ainsi que les conditions d'accès, qui aurait limité les possibilités de réparation des appareils en cas de panne. Donc de novembre 2014 à juin 2017 un observateur par site a fait des relevés de hauteurs aux échelles à des pas de temps variables en fonction de la situation hydrologique. J'ai quelques fois remplacé ces observateurs. Les relevés, reportés dans des cahiers (photo5.2), ont été saisis pour constituer le limnigramme (fig 5.9), puis convertis-en hydrogrammes (débits à pas de temps variables) à partir des courbes de tarage (fig. 5.7).

Photo 5. 2 : exemple de relevé aux échelles.



Le fait que les cotes soient relevées par des observateurs détermine des limites sur les limnigrammes. La première limite est l'absence d'un pas temporel constant dans le relevé comme cela aurait pu être le cas par l'utilisation d'un limnigraphe moderne (encodeur numérique, sonde pression…). Dans le même registre, compte tenu de la soudaineté des phases de crue il est possible que l'observateur n'ait pas été sur le site au moment le plus favorable; Il s'ensuit une incertitude sur les points d'inflexion du limnigramme : démarrage, pointe et fin de la crue. A l'incertitude temporelle s'ajoute celle relative à la lecture de la cote du fait de la

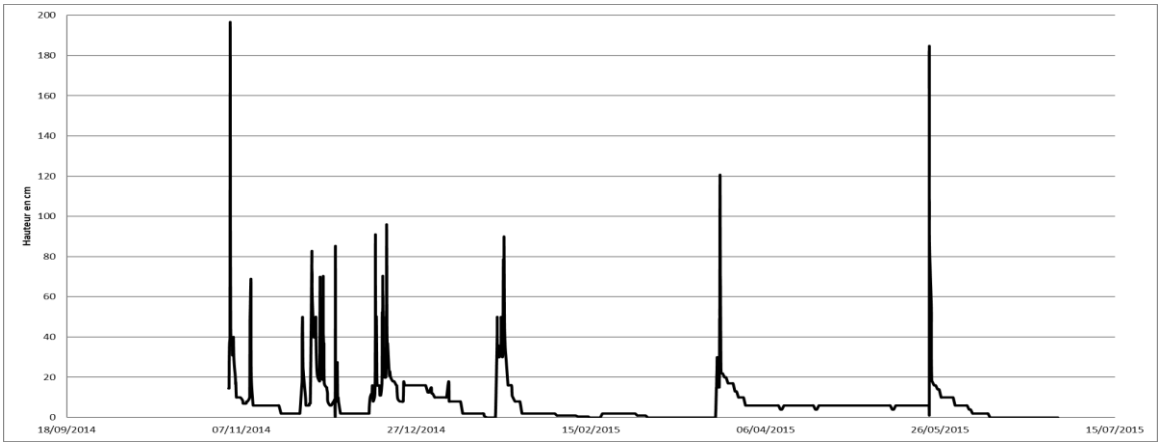
torrentialité du régime de l'écoulement. Le batillage peut occasionner une incertitude au-delà du centimètre et sur certains épisodes la végétation flottante accrochée à l'échelle a pu engendrer des difficultés de lecture des cotes à l'échelle (photo 5.3).

Photo 5. 3 : Ecoulement pour une cote de l'ordre de 30cm sur le site de mesure de Hançala.



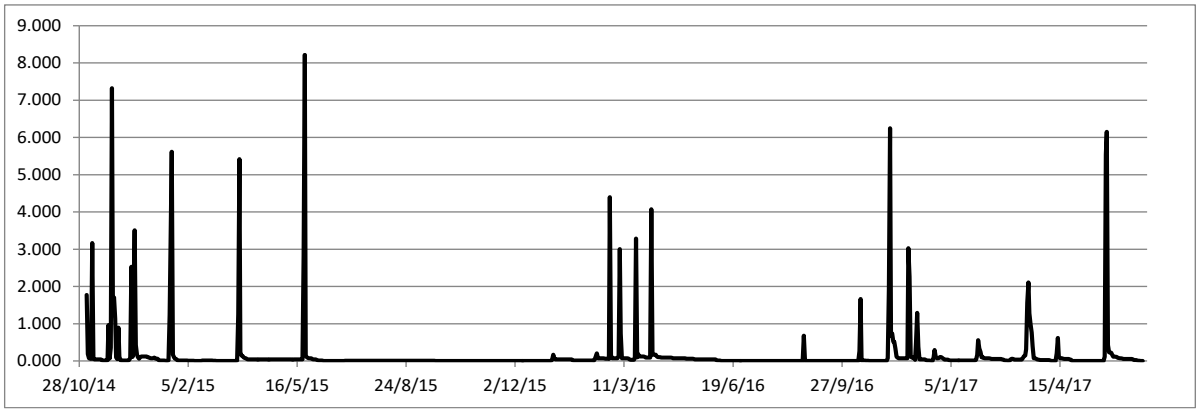
Mais globalement, compte tenu du milieu difficile pour l'instrumentation et malgré les incertitudes évoquées les limnigrammes générés sont représentatifs des écoulements dans les chabaats du Moyen-Atlas de Béni-Méllal.

Figure 5. 9 : Limnigramme à l'échelle aval de l'oued Echkonda à Aït Hammou Abdessalem(Sid Chami).



Vingt et un épisodes de crue ont eu lieu sur les 31 mois d'observation. Il s'agit d'évènements le plus souvent indépendants qui ont lieu sur toutes les saisons sauf l'été. Les niveaux ont pour certaines crues dépassées la hauteur aux échelles. Dans ce cas le niveau d'eau maximum atteint a été lu à postériori sur les parois rocheuses constituant les berges. Sur la base des courbes de tarage modélisées au droit des échelles nous avons produit les hydrogrammes (fig 5.10) à partir des limnigrammes.

Figure 5. 10 : Hydrogramme des débits moyens journaliers de l'oued Chkonda à Aït Hammou.



En moyenne pour les deux années complètes de mesures de débits, 2015 et 2016, les débits spécifiques sont respectivement de l'ordre de 5,2 et 7 l/s/km² pour une lame d'eau écoulée de l'ordre de 160 et 220mm. Ces valeurs sont conformes à ce que l'on trouve dans le secteur puisqu'en moyenne sur la période 1970-2011 l'écoulement moyen annuel de l'oued Derna, cours d'eau du secteur du "dir" De Béni-Méllal suivi par l'ABHOB, représente 190 mm. Ces valeurs moyennes de débits annuels masquent une très forte variabilité puisque ces écoulements sont générés lors d'une vingtaine d'épisodes de crue se déroulant le plus souvent sur une journée. Entre ces évènements brefs le débit est indigent voire nul (annexe 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, et annexe 6.12).

Tableau 5. 6 : Synthèse des écoulements aux 3 stations pour les années 2015 et 2016.

	Chkonda à Aït Hamou		AKKA N'AHANCAL		Ikkour à Zaouit Cheir	
	surface BV: 16.9 km²		surface BV: 42.9 km²		surface bv: 47.6 km²	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Q absolu (m3/s)	0.09	0.14	0.23	0.28	0.23	0.30
Qspé (l/s/km²)	5.48	7.99	5.38	6.49	4.80	6.36
lame d'eau (mm)	173	253	170	205	151	201
volume (hm3)	2.92	4.27	7.28	8.80	7.20	9.58

Conclusion:

En conclusion, bien que la chaîne de production de débits utilisée ainsi que la nature des écoulements déterminent une incertitude non négligeable sur les valeurs des écoulements, la cohérence dans ces valeurs annuelles des 3 bassins versants valide ces résultats. En effet rappelons que si le mode opératoire est le même, les caractéristiques des tronçons instrumentés, la gamme des hauteurs observée ainsi que les observateurs sont différents. Nous sommes donc en possession d'hydrogrammes originaux à partir desquels nous menons une analyse des phases de crue, aléas causant des dommages conséquents dans les villes et villages du secteur.

Chapitre 6 : Caractérisation des crues torrentielles dans les bassins versants test:

Sommaire

Introduction:

I) Les débits moyens journaliers et mensuels:

II) La caractérisation des crues-éclair des bassins test:

Conclusion :

Introduction:

Les crues torrentielles ou crues-éclair (flash-floods) nécessitent la combinaison de deux facteurs : des précipitations intenses et des pentes assez fortes (Vinet, 2010). L'Atlas de Béni-Méllal, on l'a vu dans le chapitre 2 est caractérisé par ses fortes pentes, son lit fluvial étroit et encaissé, ses petits bassins versants bien ouvert sur l'Atlantique propice à des précipitations intenses (chap. 3). Il cumule donc les 2 caractéristiques énoncées et dans les faits, ces bassins versants sont bien à l'origine de crues torrentiels ayant générés des dégâts matériel et humain importants (chap. 1). Le type de risque associé à ces crues-éclair pose donc de nombreux problèmes au niveau de la gestion et de la prévention, du fait de la grande vitesse d'écoulement des eaux de crues, leurs volumes, et les débits de pointe très élevés. Ce chapitre, sur la base des valeurs de débits produites (chap. 5), traite de l'analyse hydrologique des crues du secteur afin d'en éclaircir la genèse, crues simples ou complexes, et d'en quantifier les différentes variables que sont les temps de base, de montée/descente et les pointes de crue, volumes de crue, observés sur 31 mois. En préalable nous analyserons le contexte hydrologique des trois bassins versants (annexe 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, et annexe 6.12).

I) Les débits moyens journaliers et mensuels:

Le "dir" de Béni-Méllal s'étire sur 70 km selon un axe sud-ouest/nord-est le long duquel sont positionnés les bassins versants test. Bien qu'ils soient espacés de plusieurs dizaines de kilomètres ils réagissent sur les mêmes périodes (fig. 6.1, 6.2, 6.3) ce qui confirme le fait qu'ils appartiennent à un même domaine pluviométrique. Notons toutefois que l'intensité de la réaction n'est pas là même en fonction des épisodes pluvieux traduisant une différence dans la répartition spatiale des pluies d'un épisode à l'autre. Cette différence est renforcée durant l'été où les précipitations, de type orageux, sont très localisées, comme l'illustre la journée de juillet 2015 où seuls les débits de l'oued Ikkour ont augmenté. La réactivité à ces épisodes est contrastée. Le bassin d'Aït Hammou est logiquement le plus réactif car deux fois plus petit que les autres. A l'opposé le bassin de l'oued Ikkour à Zaouit Echiekh est le moins réactif.

Les oueds Echkonda et Ikkour ont un écoulement intermittent donc révèlent des bassins versant sans grande capacité aquifère alors que l'oued Aqqa N'Hancala est pérenne, alimenté en permanence par des sources dans les formations calcaires localisées à l'aval du bassin.

Figure 6. 1 : Débits moyens journaliers à la station de Hançala (2014-2017).

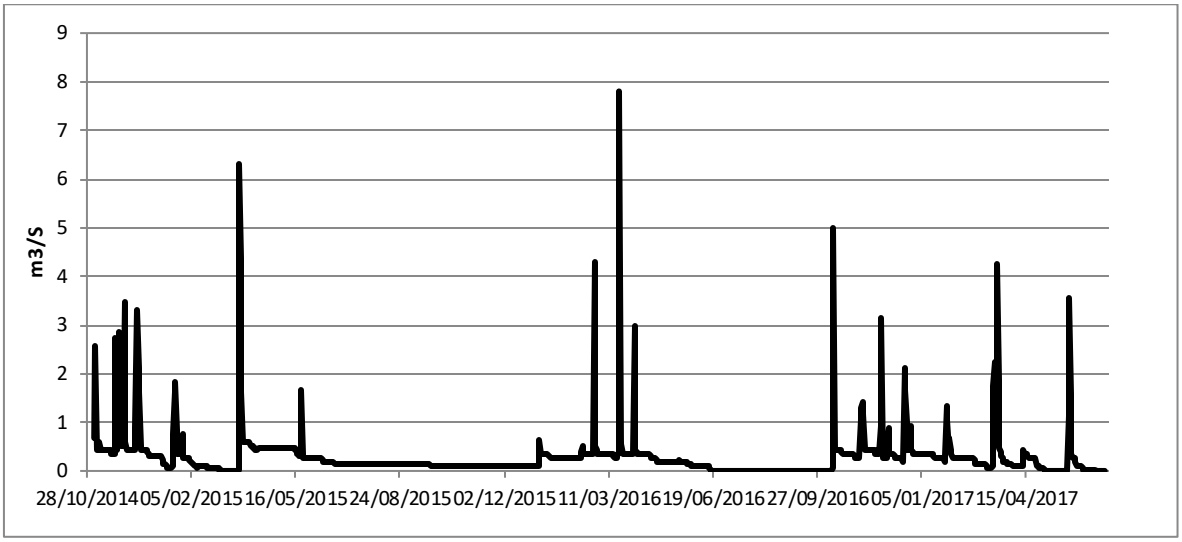


Figure 6. 2 : Débits moyens journalier à la station de Aït Hammou (2014-2017).

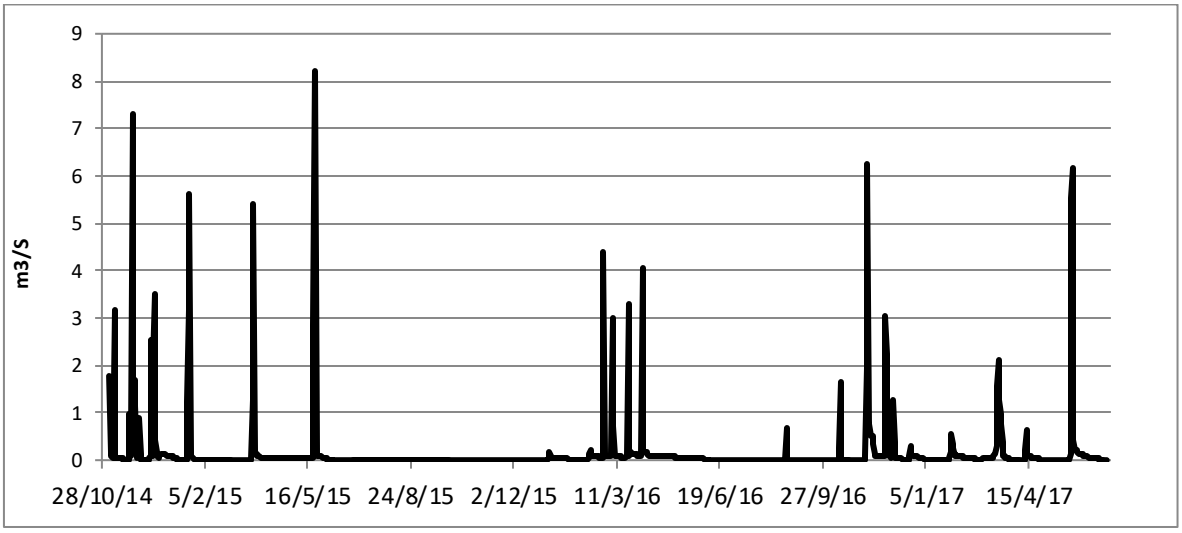
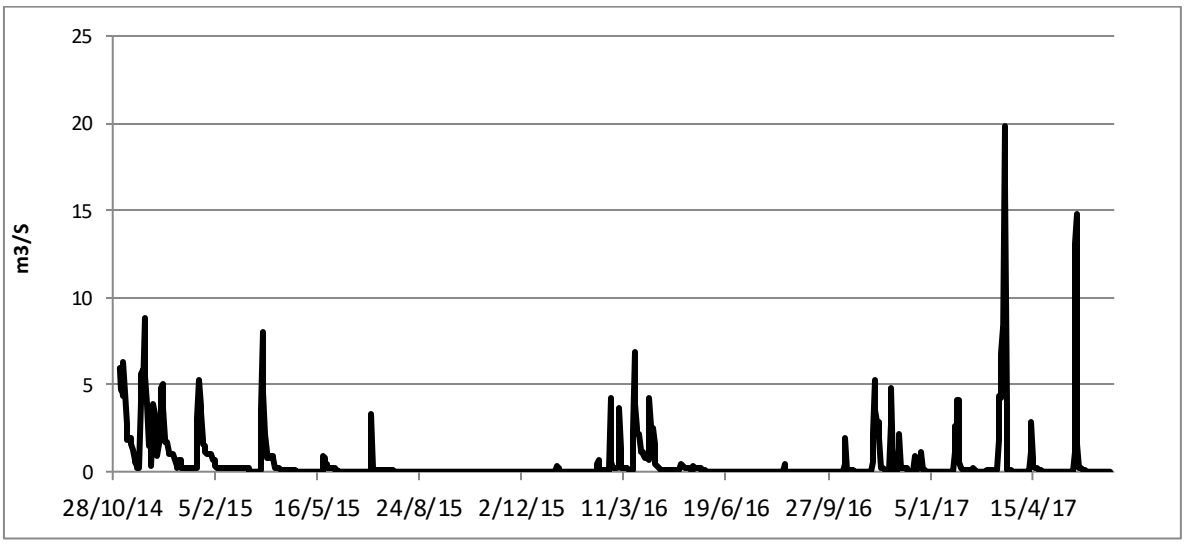
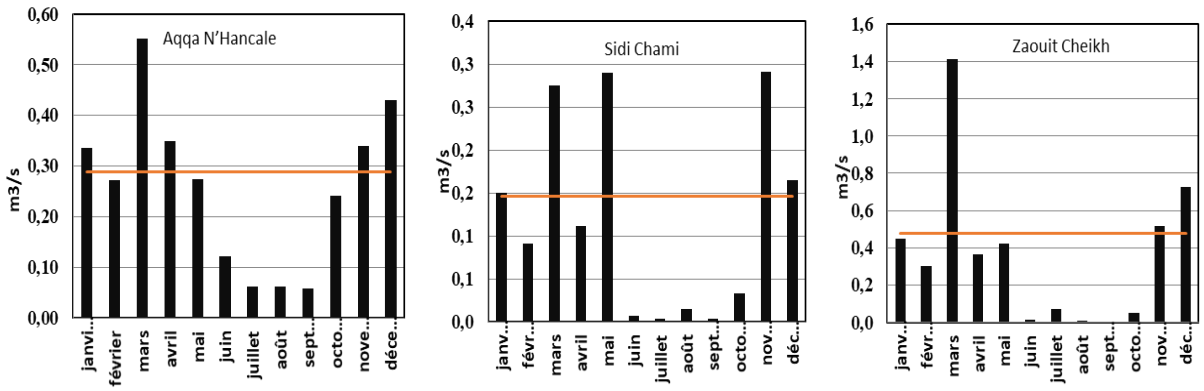


Figure 6. 3 : Débits moyens journaliers à la station de Zaouit Echiekh (2014-2017).



Par comparaison avec le régime hydrologique moyen des cours d'eau du secteur, défini à partir des 41 années de débits observés à la station de l'oued Derna, la période 2014/2017 sur laquelle les débits ont été observés sur les 3 bassins test est différente. La reprise des écoulements après les mois secs d'été se fait tardivement en novembre et la période des plus forts écoulements est décalée vers le la fin de l'hiver et le printemps par rapport à la période de référence où elle est plutôt centrée sur l'hiver, en janvier (fig. 6.4).

Figure 6. 4 : Régime mensuel des débits pour les années hydrologiques 2014/15 et 2015/16 sur les 3 bassins test.



Le débit instantané maximal est conditionné par l'intensité de la pluie et de la physiographie du bassin versant. N'ayant pas accès à la structure des précipitations il nous est difficile de faire une comparaison à cet égard entre les bassins test.

Le plus fort débit instantané (QImaX) a été observé durant l'épisode pluvieux de novembre 2014 pour les 3 bassins test. Il a été de 38 m^3/s sur l'oued Ikkour, de 75 m^3/s sur l'oued Aqqa N'Hancale et de 122 m^3/s sur l'oued Echkonda. C'est donc l'oued Echkonda, le plus petit bassin versant, qui enregistre le plus fort débit de pointe ce qui est en accord avec ce qu'il est admis sur le temps de concentration des eaux de ruissellement à l'exutoire d'autant plus rapide que le bassin est petit. D'autre part la structure de la pluie est également une explication dans le sens où une intensité moyenne sur un grand bassin versant est inférieure, à temps de retour équivalent, à celle d'un petit bassin versant eu égard à la taille des cellules pluvieuses.

Le rapport de 1 à 2 entre les QImaX de l'oued Ikkour et Aqqa N'Hancale alors qu'ils ont la même taille de bassin versant peut trouver son explication, en dehors de la structure des précipitations dont ne nous disposons pas, dans la nature du substratum des bassins. En effet celui du bassin de l'oued Ikkour et essentiellement perméable alors que celui du bassin de l'Aqqa N'Hancale est imperméable à 28% et peu perméable à 55%.

Ces contrastes entre les débits bruts de pointe de crue sont renforcés en termes de débits spécifiques de pointe de crue qui présentent un rapport de 1 à 10 entre les 3 bassins test. Il est de 7000 l/s/km² pour l'oued Echkonda, de 1800 l/skm² pour l'oued Aqqa N'Hancale et tombe à 800 l/skm² pour l'oued Ikkour.

Figure 6. 5 : Hydrogramme à pas de temps variable à la station Aqq N'Hancale.

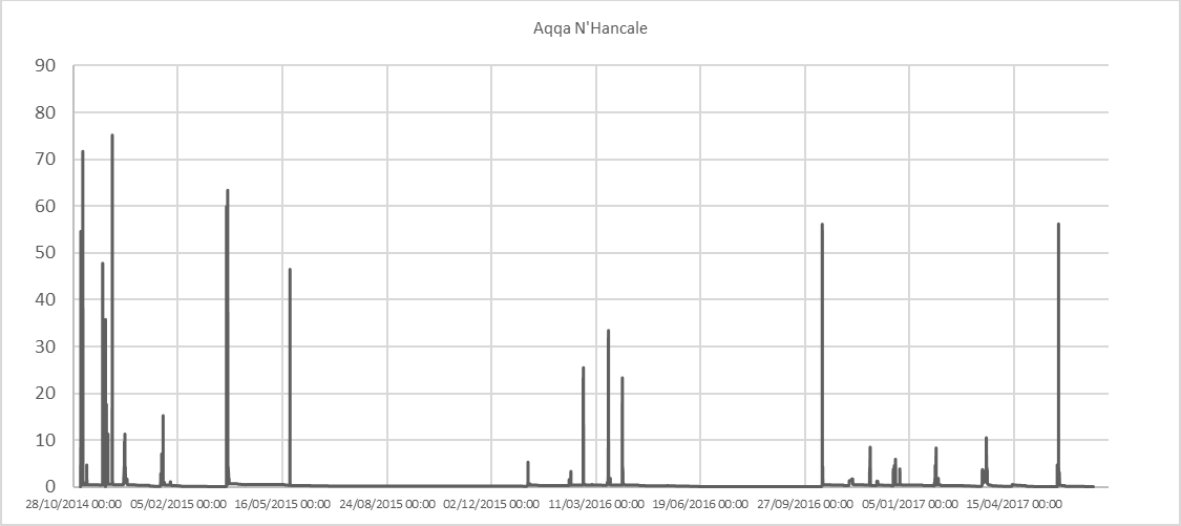


Figure 6. 6 : Hydrogramme à pas de temps variable à la station d'Aït Hammou.

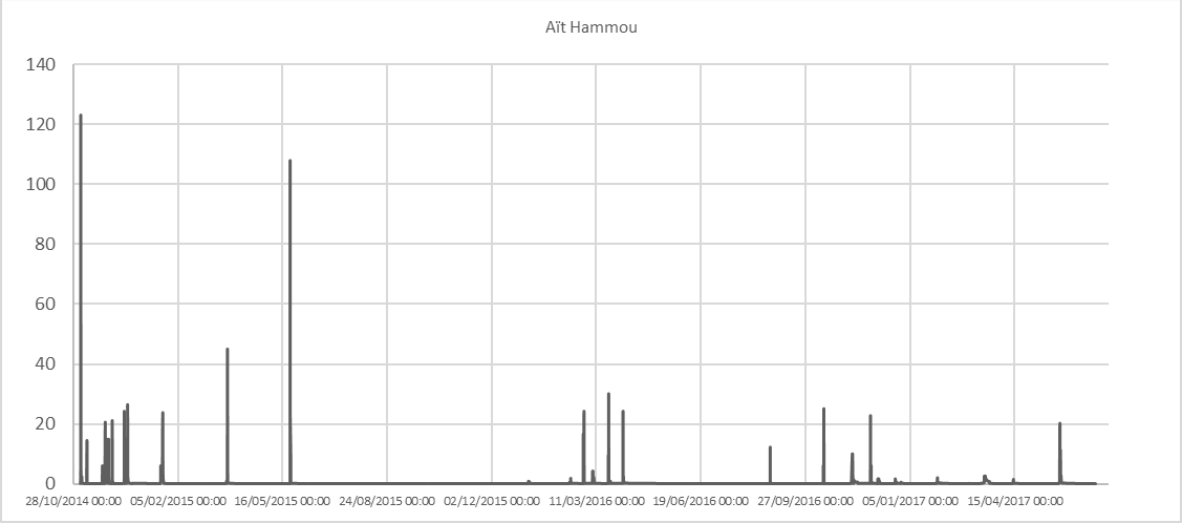
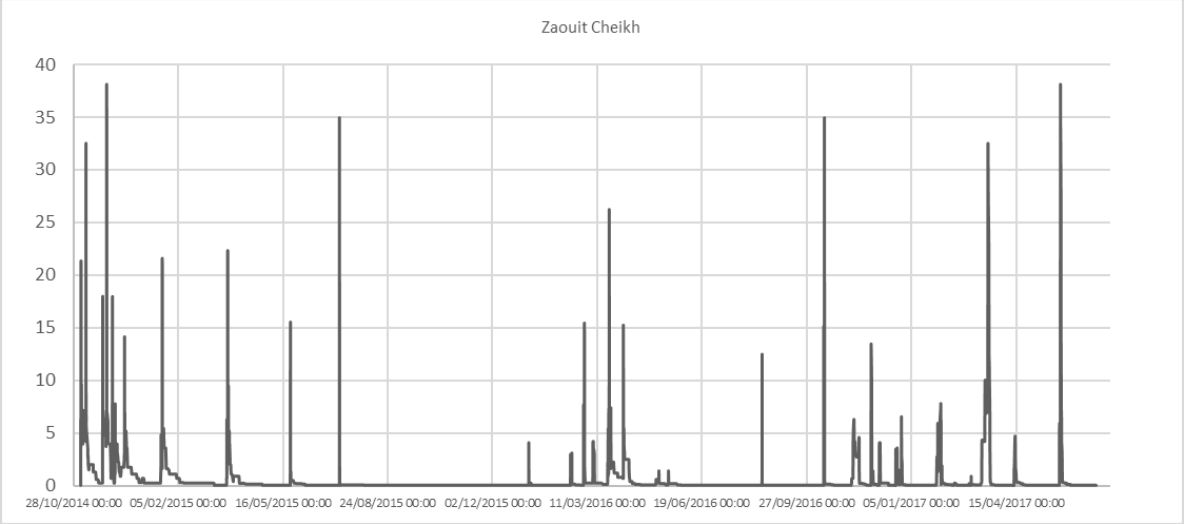


Figure 6. 7 : Hydrogramme à pas de temps variable à la station de Zaouit Echiekh.



II) La caractérisation des crues-éclair des bassins test:

Sur les 31 mois d'observation des débits, entre 43 et 51 crues ont été observées selon les bassins (fig. 6.8) ; Elles se répartissent à peu près pour moitié entre crues simples et complexes (tab. 6.1). Les crues simples sont générées par les épisodes pluvieux les plus intenses constituant l'aléa le plus fort. Par conséquent pour caractériser les crues, donc l'aléa, sur le "dir" de Béni-Méllal nous avons fait le choix de ne traiter que les hydrogrammes de crues simples, soit une vingtaine d'évènements par bassin.

Figure 6. 8 : Effectifs des crues des bassins test pour la période 2014-2017.

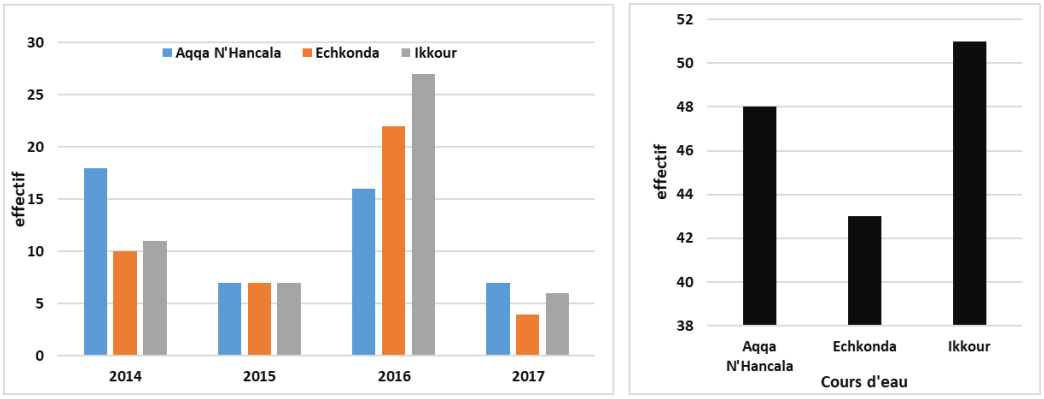
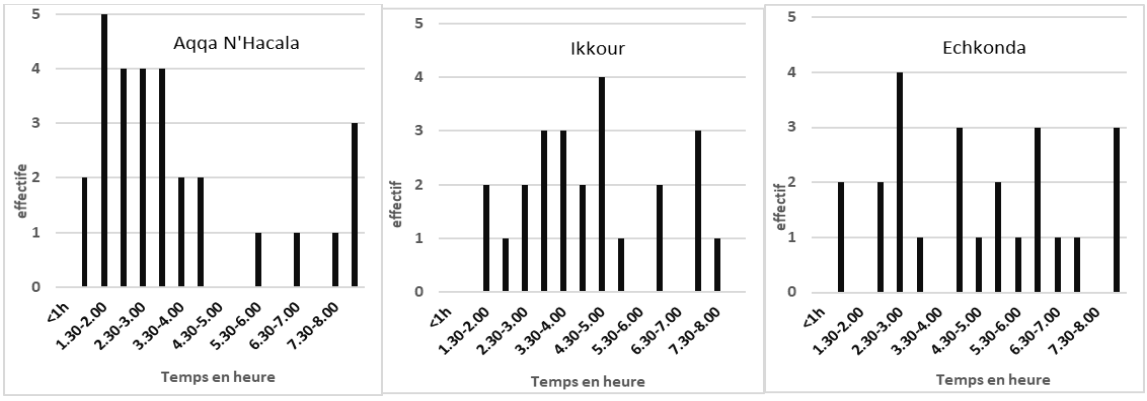


Tableau 6. 1 : Effectifs et types de crue sur les 3 bassins versants test.

	effectif	simple	complexe
Aqqa N'Hancale	48	28	20
Ikkour	51	23	28
Echkonda	43	25	18

Le temps de base des crues présente une grande dispersion pour tous les oueds (fig. 6.8). Il est de l'ordre de 4 heures, compris entre 3h38min pour l'oued Aqqa N'Hancale et 4h51min pour l'oued Ikkour. Ceci souligne la rapidité des crues sur le domaine du dir.

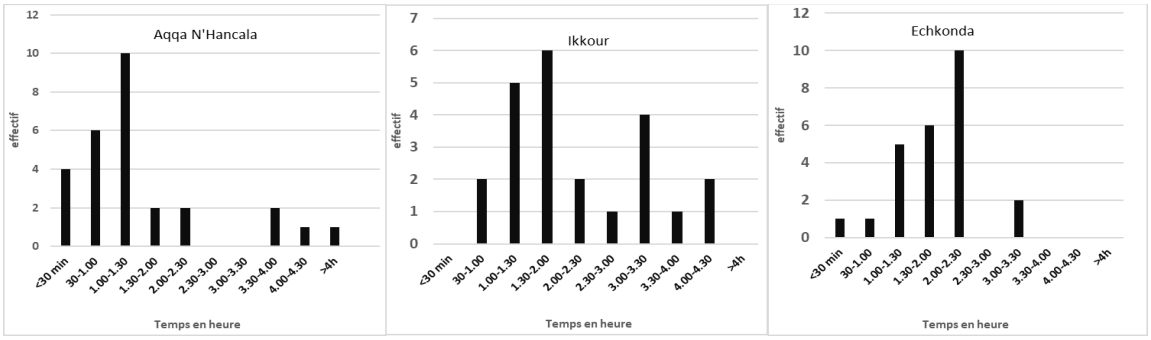
Figure 6. 9 : Temps de base des crues.



La variable la plus intéressante du point de vue du risque hydrologique est le temps de montée. Pour chaque bassins test, malgré le faible nombre de crue constitutif de l'échantillon statistique, une durée modale ressort (fig. 6.10). Elle est la plus courte pour le bassin de l'Aqqa N'Hancala avec des valeurs comprises entre 1h00 et 1h30 pour une valeur moyenne de 1h31min (tab. 6.1).

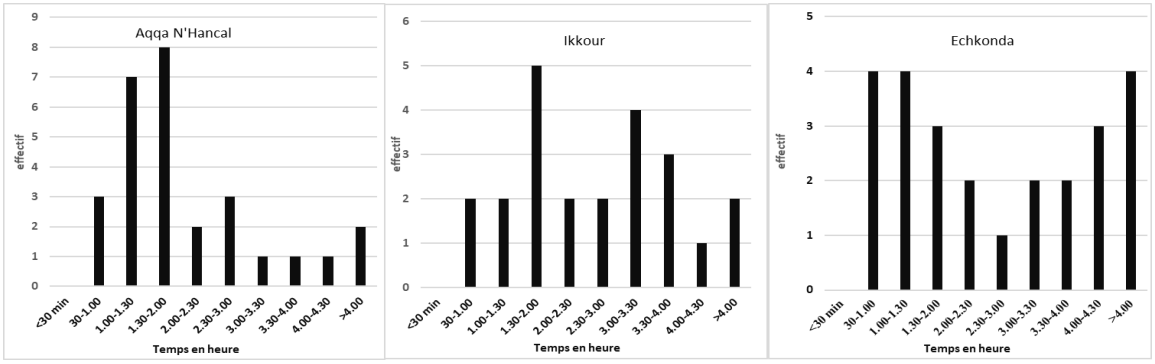
Les crues de l'oued Ikkour ont un temps de montée de 2h00 avec comme durée modale les valeurs comprises entre 1h30 et 2h00. L'oued Echkonda drainant pourtant le bassin le plus petit a un temps de montée moyen de 1h46 pour une durée modale les valeurs comprises entre 2h00 et 2h30.

Figure 6. 10 : Temps de montées des crues.



Finalement la vitesse de montée des eaux sur l'oued Echkonda au regard des 2 autres oueds au bassin deux fois plus grand pose question ; D'autant plus que le débit de pointe est de 2 à 4 fois plus élevé que ces mêmes oueds. L'explication est encore une fois à trouver dans les caractéristiques physiographiques des bassins (chap.2). Le bassin de l'oued Echkonda est perméable à plus de 80%, donc bien plus perméable que les deux autres. Il s'inscrit, notamment dans la partie aval, dans des formations détritiques et conglomératiques très perméables. Le chenal principal lui-même s'inscrit dans ces formations. On peut donc poser le fonctionnement suivant. Lors de fortes pluies il faut attendre un certain temps, dépendant de l'intensité pluviale, pour que les formations à l'affleurement soient saturées et seulement lorsque les formations sont saturées il y a ruissellement puis concentration de l'eau dans les talwegs. Il y aurait donc systématiquement un temps delta entre pluie et ruissellement puis écoulement organisé correspondant au temps nécessaire à la saturation du sol. Dans la même veine, ces formations perméables seraient à l'origine du temps de descente de crue nettement plus long que sur les 2 autres bassins du fait d'un temps de ressuyage plus long.

Figure 6. 11 : Temps de descente des crues.



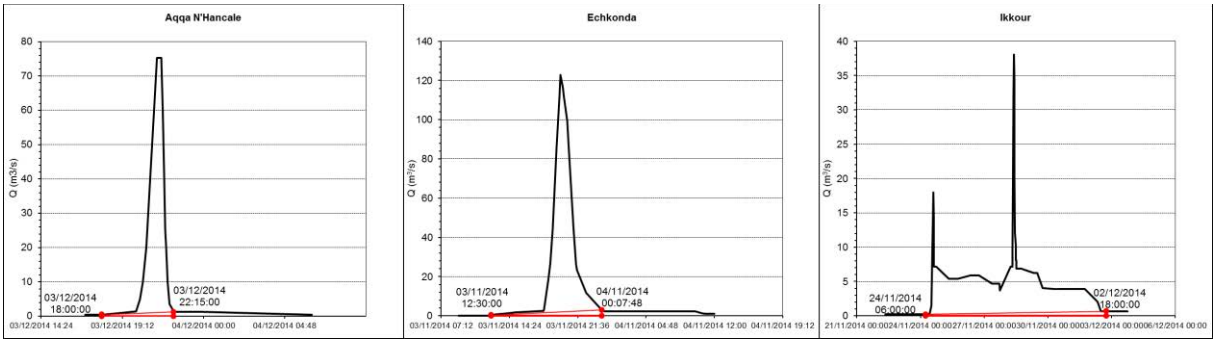
Outre la différence de perméabilité, très nette notamment avec le bassin de l'Aqqa N'Hancale imperméable à près de 30%, on peut également invoquer les systèmes de pente très différents. Le bassin de l'oued Echkonda a les pentes les plus faibles. Ceci est flagrant avec le bassin de l'Aqqa N'Hancale dont les pentes les plus fortes se situent dans la moitié aval du bassin, où l'on peut parler de canyon.

Tableau 6. 2 : Temps caractéristiques des crues sur les 3 bassins test.

	Temps de base	Temps de montée	Temps de descente
Aqqa N'Hancale	00j 03 h 38 mn	00j 01 h 31 mn	00j 02 h 06 mn
Ikkour	00j 04 h 51 mn	00j 02 h 04 mn	00j 02 h 47 mn
Echkonda	00j 04 h 31 mn	00j 01 h 46 mn	00j 02 h 37 mn

Au final, cette étude à partir des épisodes de crue a quantifié la structure de l'hydrogramme de crue et montrée le rôle fondamental de la physiographie dans celle-ci.

Figure 6. 12 : La pointe de crue la plus élevée pour les trois bassins test.



A partir des précipitations enregistrées par le pluviomètre que nous avons installé de janvier à août 2016 nous avons calculé les CERC pour 5 épisodes de crue. Rappelons que le pluviomètre totalisateur est implanté à l'aval du bassin. Le point le plus éloigné du bassin se trouve à environ 12 km de celui-ci ; Les pluies enregistrées sont donc considérées représentatives du bassin. Pour les crues d'hiver et de printemps les coefficients d'écoulement de crue sont compris entre 6% et 37% pour des précipitations correspondantes comprises entre 30 et 79 mm (tab. 6.2). Le point marquant est le faible CERC même pour une pluie vingtennale, si l'on admet que notre pluviographe s'inscrit dans le même site que le pluviographe de l'ABHOB qui a servi à calculer les pluies fréquentielles du domaine d'étude (chap.3). Néanmoins l'état antécédent du sol peut jouer car pour une pluie « banale » de l'ordre de 30 mm le CERC est de 20%.

Figure 6. 13 : Coefficients d'écoulement rapide de crue pour le bassin test l'oued Ikkour.

Temps de Début	Durée	Temps Montée	Temps descente	Volume crue m^3	pluie m^3	Max (m^3/s)	pluie mm	CERC %
14/02/2016 08:00:00	01j 16 h 00 mn	01j 12 h 00 mn	00j 04 h 00 mn	86913	1548300	3.1	32.5	5.6
26/02/2016 18:00:00	01j 18 h 00 mn	01j 03 h 00 mn	00j 15 h 00 mn	395943	1610232	15.4	33.8	24.6
20/03/2016 23:31:48	06j 08 h 28 mn	01j 14 h 58 mn	04j 17 h 30 mn	1377939	3763560	26.2	79.0	36.6
05/04/2016 01:00:00	01j 07 h 00 mn	00j 01 h 30 mn	01j 05 h 30 mn	290075	1438728	15.2	30.2	20.2
15/08/2016 14:00:00	00j 06 h 00 mn	00j 02 h 00 mn	00j 04 h 00 mn	34742	757476	12.5	15.9	4.6

Enfin l'enseignement que l'on peut tirer des plus fortes crues observées sur les bassins (fig.6.12), au regard de ce que l'on vient d'énoncer, est que finalement il paraît très difficile de dégager des fonctionnements type tant la structure de la pluie versus "seuil de dépassement de la capacité d'infiltration", l'état antécédent de sol jouent de façon complémentaire tel que chaque crue est un "individu hydrologique" particulier. Ceci est confirmé par la crue du 15 août 2016, évènement tout à fait isolé au cœur de l'été, qui atteint 12,5 m^3/s à partir d'une pluie de 16 mm pour un CERC de 5% équivalent à celui du 14 février 2016, donc en plein hiver.

Conclusion:

Les trois bassins versants test bien que de taille et de caractéristiques physiographiques différentes génèrent des crues dont les temps de base, de montée/descente sont à peu près comparables, soit respectivement 4h15, 2h00 et 2h15 pour les crues simples. La différence de comportement entre bassins réside dans le débit de pointe de crue et le temps de réaction des bassins à un épisode pluvieux. Pour généraliser nos résultats à l'ensemble des bassins du "dir" de Béni-Mélla1 il apparaît que les bassins les plus perméables inscrits dans les formations conglomératiques et détritiques qui affleurent dans les parties les plus occidentales du "dir" génèrent de très forts écoulements à la condition que leur capacité à l'infiltration soit dépassée. Dès lors les CERC peuvent être très élevés. Cette analyse des crues a mis également en évidence le rôle d'une topographie escarpée et de formations imperméables dans le temps de montée des débits courts. Du point de vue du risque inondation les crues du "dir" apparaissent comme un redoutable aléa cumulant temps de réponse très court et débit de pointe élevé.

Chapitre 7 : L'apport de la modélisation hydraulique à la gestion du risque inondation:

Sommaire :

Introduction:

I) La démarche de modélisation hydraulique sur les secteurs vulnérables:

a) Le choix du modèle HecRas:

b) Données et démarche:

II) Les résultats pour les débits enregistrés sur les 3 ans:

a) Site de Sidi Chami:

b) Le secteur de Zaouit Echiekh:

III) Les enseignements que l'on peut tirer de la modélisation hydraulique d'une forte crue sur deux sites vulnérables du "dir" de Béni-Mélla1:

Conclusion:

Introduction:

L'objectif de la thèse est double. La caractérisation des crues-éclair sur le "dir" de Béni-Méllal d'une part et sa portée opérationnelle sous la forme d'une cartographie du risque d'autre part. Ces cartes sont particulièrement intéressantes « dans le cadre d'une gestion du risque car elles permettent d'enrichir le porter à connaissance dans le domaine des inondations et contribuer à la sensibilisation du public. En localisant les principaux enjeux dans les zones inondables liées aux différents types d'événements**, ces cartographies constituent de véritables outils d'aide à la décision pour élaborer une stratégie locale de gestion du risque » (DREAL, 2018).**

Dans ce chapitre nous exposons la méthodologie élaborée pour produire ces cartes. Pour la modélisation hydraulique, des trois secteurs sur lesquels nous avons observé les débits seuls les secteurs de Zaouit Echiekh et de Sidi Chami ont fait l'objet de cette modélisation. Le secteur à l'aval de l'oued Aqq n'Hançale, compte tenu du fait de la confluence de l'oued Derna pour lequel nous n'avons pas les débits concomitants de nos observations n'a pu être modélisé. Néanmoins le résultat de la modélisation des deux secteurs, de configuration différente, permet déjà de tirer quelques conclusions sur "risque et aménagement" dans le secteur.

I) La démarche de modélisation hydraulique sur les secteurs vulnérables:

Les caractéristiques de l'aléa à définir dans le cadre d'une inondation sont les hauteur, vitesse et durée. La durée de submersion, abordé indirectement par l'étude des hydrogrammes dans les chapitres précédant, est très brève, le plus souvent inférieure à l'heure. Elle est à peu égale quel que soit la portion du cours d'eau envisagée. Par contre, pour une crue donnée, la hauteur et la vitesse sont variables sur le linéaire du cours d'eau en fonction des caractéristiques de la section en travers envisagée : largeur, profondeur, frein à l'écoulement tels que les arbres, bâtiments ou autres. Le seul moyen d'obtenir ces informations est une modélisation hydraulique sur le tronçon d'intérêt.:

a) Le choix du modèle HecRas:

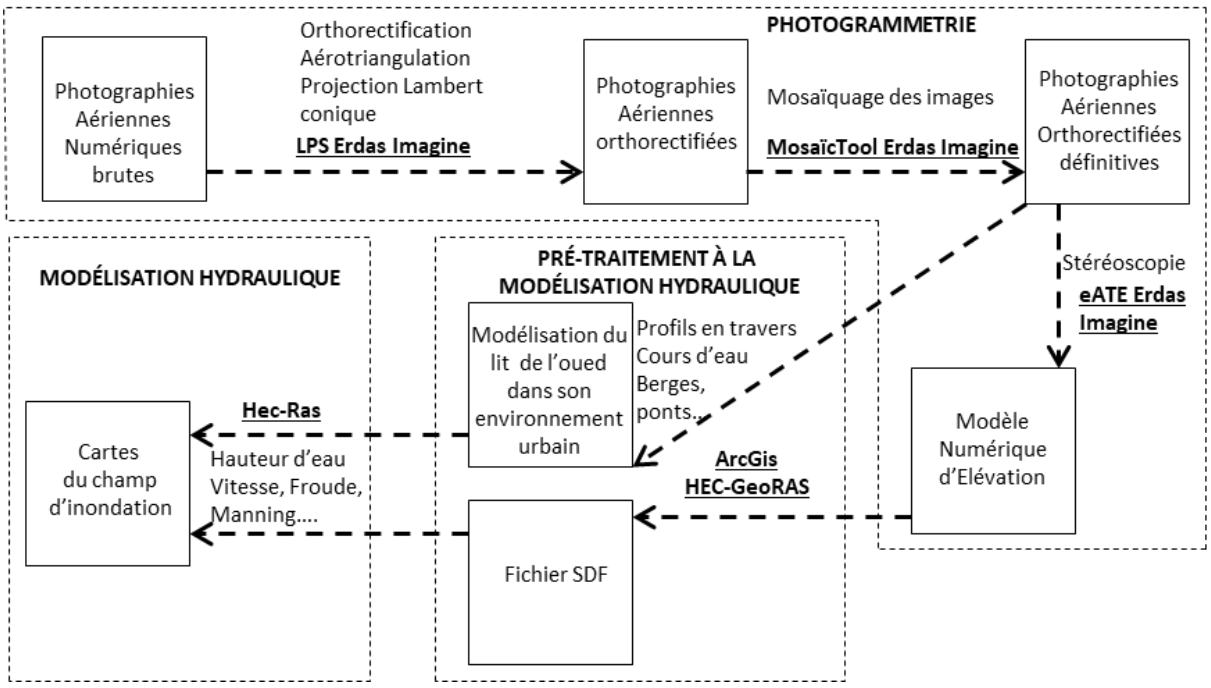
Le logiciel Hec-Ras 1D est très largement répandu dans des problématiques d'hydraulique y compris dans la cartographie des inondations. Mais la nature 1D du modèle implique un débit distribué dans toute la section dans le sens longitudinal ce qui peut engendrer des difficultés lorsqu'il y a de multiples chenaux ou des échanges entre la plaine d'inondation et le chenal (Dimitriadis, 2016). Il apparaît néanmoins que les incertitudes dans les variables d'entrée et de calibration (topographie, coefficient de rugosité par exemple) ont au moins autant de poids que le type de modèle lui-même dans le résultat (Casas, 2006 ; Cook, 2009).

b) Données et démarche :

Comme pour l'élaboration des courbes de tarage le préalable à la modélisation de l'inondation a été la modélisation topographique de l'oued dans son environnement urbain sous la forme d'une succession de profils topographiques. Ces profils débordent très largement le cours d'eau pour englober l'environnement urbain immédiat. Il n'était techniquement pas réaliste de produire un MNS sur la base de levés topographiques in situ ; Nous avons donc eu recours à l'imagerie d'observation de la terre stéréoscopique très haute résolution, des prises de vue aérienne. Sur chaque site un couple de photographies stéréoscopiques délivré par l'IGN Maroc a fait l'objet d'un traitement propre à générer un MNS (fig. 7.1). Il s'agit de photographies

numériques d'une résolution spatiale de l'ordre du mètre. Les étapes conduisant au MNS sont les suivantes. Dans un premier temps les images ont fait l'objet d'une ortho-rectification dans le logiciel Erdas Imagine puis d'un "mosaïquage". La partie centrale des photographies, communes à la zone urbaine, étaient disponibles pour générer le MNS à partir de la fonctionnalité "eATE" du logiciel Erdas Imagine. A ce stade nous disposons d'un MNS très haute résolution base de la modélisation hydraulique.

Figure 7. 1 : Les étapes de la modélisation des inondations urbaines.



Sur la base de l'emprise choisie, l'étape de pré-modélisation a consisté à produire les profils en travers perpendiculaire au cours d'eau, à renseigner les infrastructures (bâtiments, ponts etc…), les coefficients de rugosités et leur domaine d'application (limite des lit mineur et majeur)

La 3ème étape correspond à la simulation numérique des écoulements sur le site délimité sur la base des conditions aux limites de flux et de potentiel imposés ; Il en ressort pour chaque profil défini les valeurs des caractéristiques hydrauliques que nous pouvons représenter sous forme de cartes.

Nous détaillons les 3 étapes.

La première étape est l'élaboration du Modèle Numérique de Terrain de l'oued et de son environnement urbain. La donnée topographique est la variable fondamentale de la modélisation hydraulique d'une inondation. Le type de MNT et sa résolution détermine la qualité de la prévision à l'intersection du niveau d'eau et du MNT et donc de l'empreinte au sol de l'inondation pour un débit à l'entrée du système. A la différence de la modélisation des tronçons dans le dispositif de mesure des débits (chap. 5) nous ne disposons pas de levés topographiques précis pour la modélisation sur les sites des villes. Hormis le levé in-situ de la topographie, impossible dans notre cas, les différentes sources de données topographiques sont les DEM produits par les agences spatiales, ASTER (30m), SRTM (90m), issus d'une digitalisation de courbe de niveau (résolution communément admise de 20m) ou produit par

des Lidar (1m) (Ali et al., 2015). Notre objectif nous impose un MNT d'une résolution fine, de l'ordre du mètre au maximum. Compte tenu de nos moyens, des surfaces à couvrir et de la précision altimétrique nécessaire la production d'un MNT à partir des techniques de la photogrammétrie était la plus approprié. Des études montrent que la précision en Z pour ces données est inframétrique.

Les photographies aériennes pour les secteurs urbains ont été acquises auprès de "l'Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie" du Maroc. Livrées au format numérique brut, de résolution spatiale voisine du mètre, elles ont fait l'objet, pour chaque site, d'un mosaïquage dans le logiciel Erdas Imagine. La première étape a été l'orthorectification de ces images, c'est-à-dire la transformation des coordonnées photo en coordonnées locale dans un système de projection (Moik, 1980), ici le Lambert Nord Maroc (Merchich). Pour cela nous nous sommes servis de deux éléments :

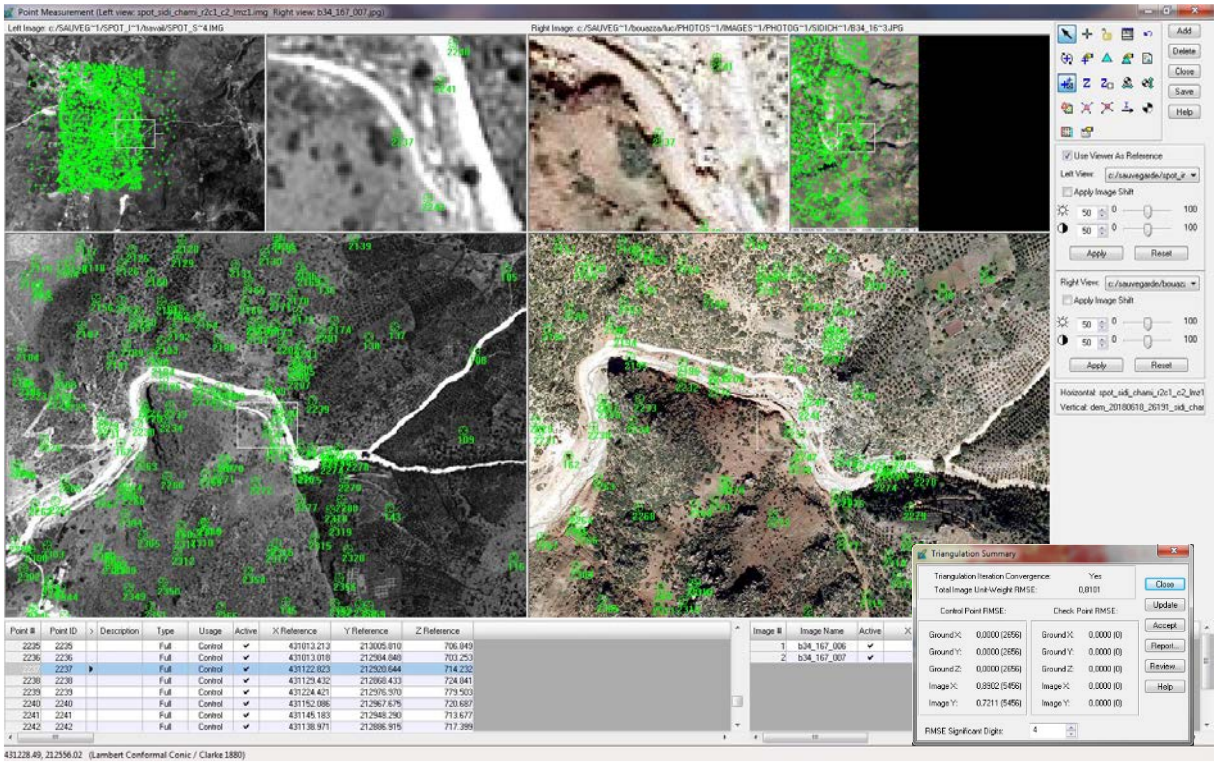
- Des informations fournis par le plan de vol : date, heure, position et altitude de l'avion ainsi que les caractéristiques de la caméra embarquée
- Des documents de référence : du MNT ASTER V2 à la résolution spatiale de 28m et d'une image satellite SPOT 6, d'une résolution de 6 m pour le multispectrale et 1,6 m pour le panchromatique. Cette image a été acquise dans le cadre du programme GEOSUD (projet 2018-018-Sci-A-001-SPOT).

A partir de toutes ces informations l'orthorectification a reposé sur la déclaration de points homologues entre l'image de référence SPOT à 1.6m (Ground Control Point), le MNT ASTER V2 et les photographies. L'orthorectification a été validée avec une RMSE de l'ordre du mètre après déclaration de plusieurs milliers de points homologues (fig. 7.2).

La RMSE en X et Y, mesurée à partir de l'image de référence, est de l'ordre du mètre ce qui est acceptable pour la modélisation hydraulique des secteurs. Nous n'avons pas accès à l'incertitude en Z.

La deuxième étape a été la réalisation du MNS sur la base du secteur commun à plusieurs photographies en mobilisant l'outil "photogrammétrie" implémenté dans ERDAS Imagine. La fonction eATE (Automatic Terrain Extraction with Dense Point Matching) a été utilisée, générant un MNS réputé de bonne qualité. Dans cette étape, l'information contenue dans l'image multispectrale a également été mobilisée pour que le MNS ne tienne pas compte des "pixels végétalisés" et disposer ainsi, en sortie du processus, d'un MNS ne tenant compte que de la surface du terrain donc très proche d'un MNT. Au final nous disposons d'un MNS d'une résolution de 1 mètre calé au mètre en X,Y. L'incertitude en Z n'est pas quantifiable. Le MNS est en format TIN (Triangular Irregular Nets) dans la mesure où il est reconnu donner une meilleure représentation de la géométrie du cours d'eau qu'une tessellation régulière de type RASTER (Casas et al., 2006).

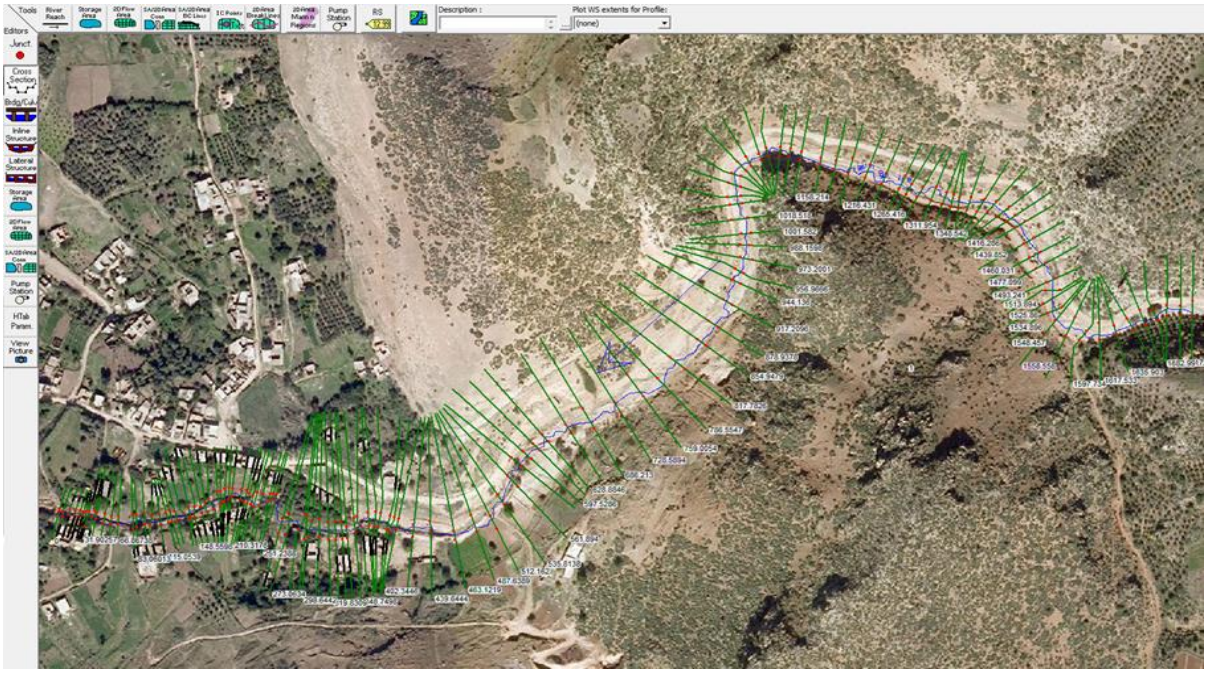
Figure 7. 2 : Orthorectification et rapport de la triangulation : site de Sidi Chami.



La troisième étape est la définition géométrique du modèle hydraulique dans le logiciel ArcGis en utilisant l'extension "HEC-GeoRAS": délimitation des bâtiments, définition des profils en travers (fig. 7.3 et 7.4). Cette étape consiste en la description d'un squelette définissant la géométrie du domaine de la simulation numérique du modèle, à partir de profils topographiques tirés du MNS, de la connaissance a priori des limites entre lit mineur/majeur ainsi que de l'emprise des bâtiments.

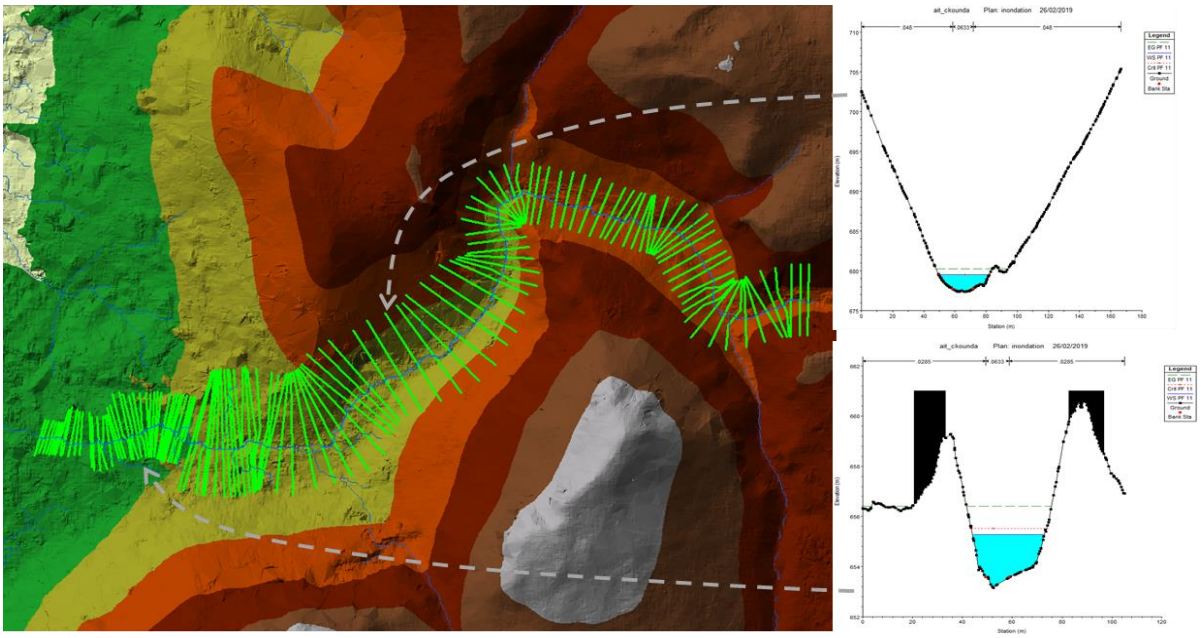
Le site de Sidi Chami est modélisé sur un tronçon de 1726m entre le site de mesure de débits et la sortie du village, pour un dénivelé du thalweg de 86,95 m. Il est arrêté juste à l'aval du village car après des chenaux multiples s'organisent qu'il est difficile modéliser avec HecRas. Néanmoins le secteur de Sidi Chami, localisé directement à la sortie de l'oued des contreforts du Moyen-Atlas sur le sommet du glacis topographique, est compris dans la modélisation.

Figure 7. 3 : Image avec tous les profils en travers et couches nécessaires à la modélisation.



En bleu : le cours d'eau ; En vert : les profils en travers ; En rouge : limite lit mineur/lit majeur

Figure 7. 4 : MNS et profil en travers : exemple du site de Sidi Chami.



Le site de Zaouit Echiekh est modélisé sur un tronçon de 1570m pour un dénivelé du thalweg de 65 m. Ce tronçon traverse toute la localité et englobe le site de mesure des débits. Il est de nature plus simple à modéliser que celui de Sidi Chami car le chenal, plus profond est mieux marqué.

II) Les résultats pour les débits enregistrés sur les 3 ans:

Nous présentons ici les résultats de la modélisation pour les deux sites sur la base du plus fort débit enregistré sur les trois années d'observation soit 180m^3/s pour le site de Sidi Chami et

75m^3/s pour Zaouit Echiekh.

a) Site de Sidi Chami:

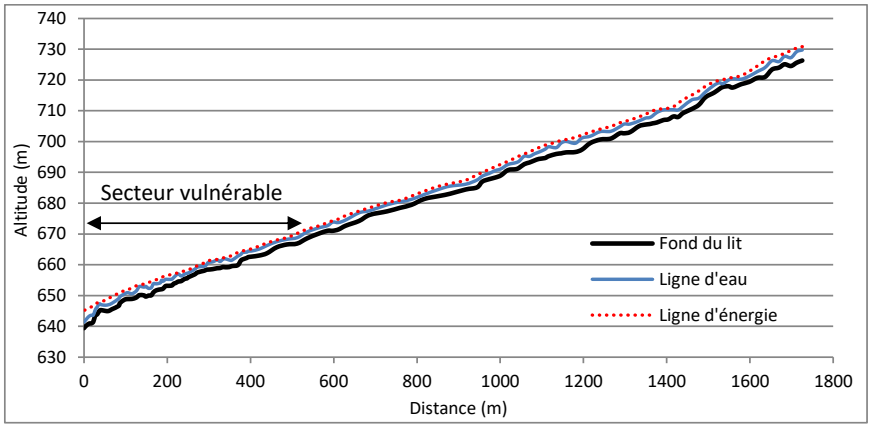
Sur ce secteur on visualise très nettement deux parties dans le chenal. Celui où l'oued est incisé dans le secteur de montagne dans lequel la largeur au miroir est d'une vingtaine de mètres, la pente d'énergie est la plus forte atteignant les 0.112m/m engendrant des vitesses de plus de 7m/s dans un régime torrentiel (Froude très supérieures à 1) (tab.7.1). Ceci témoigne encore une fois de la dangerosité de ces oueds en période de crue.

Tableau 7. 1 : Site de Sidi Chami : Caractéristiques hydrauliques calculées pour un débit de 180m3/s.

River Sta	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Mann Wtd Total	profondeur (m)
1725.61	726.33	729.75	729.94	730.84	0.035	4.71	40.09	25.38	1.03	0.055	3.42
1427.36	707.99	710.27	710.94	712.43	0.112	7.01	28.36	27.26	1.78	0.053	2.28
512.16	666.87	668.78	669.22	670.18	0.075	5.66	36.28	40.44	1.47	0.051	1.91
487.64	666.58	668.26	668.31	668.81	0.032	3.47	55.53	58.26	0.94	0.053	1.68
223.36	654.30	656.82	656.52	657.27	0.006	2.27	63.63	47.87	0.47	0.034	2.52
0	639.38	641.34	642.64	645.10	0.059	5.72	21.89	18.40	1.34	0.032	1.96
Moyenne	676.76	679.02	679.07	680.26	0.046	4.75	41.26	35.53	1.13	0.049	2.26
Min	639.38	641.34	642.64	645.10	0.006	2.04	21.89	17.60	0.43	0.032	1.09
Max	726.33	729.75	729.94	730.84	0.112	7.80	98.41	88.44	1.78	0.059	3.77

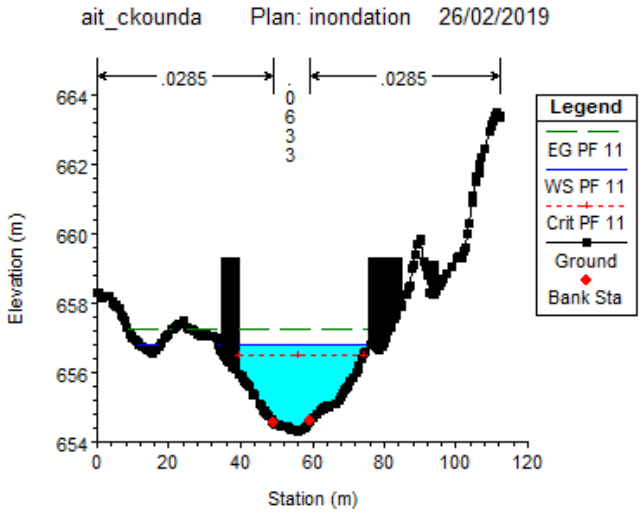
Vers le point kilométrique hydrographique (PKH) 600 m sur le profil en long (fig.7.5) on quitte le secteur de montagne pour entrer au sommet du piedmont dans le secteur habité donc vulnérable de la localité de Sidi Chami. La pente d'énergie diminue fortement, elle est de 0.006m/m au PKH 223m ce qui entraine également une diminution des vitesses, elles sont de l'ordre de 3m/s. Corrélativement la largeur au miroir s'accroît pour atteindre une cinquantaine de mètres. Le régime est moins torrentiel.

Figure 7. 5 : Site de Sidi Chami : profil en long des variables caractéristiques principales issues du modèle.



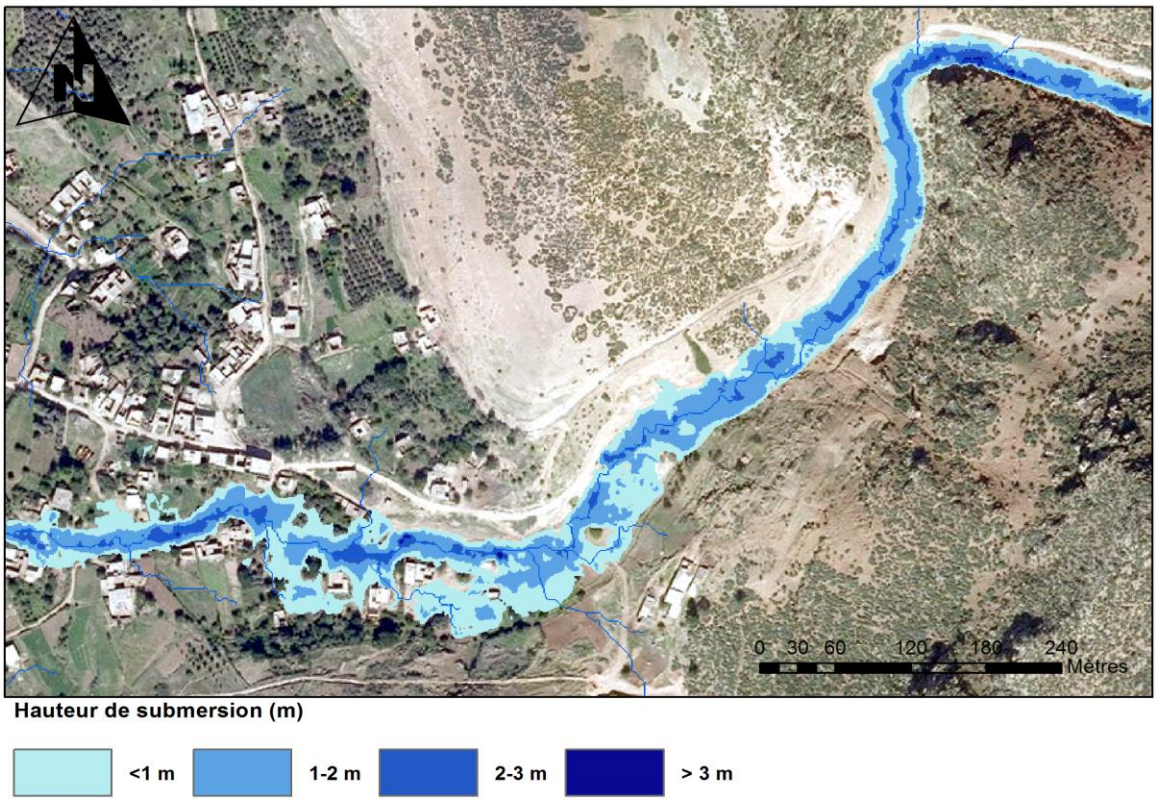
Du point de vue de l'inondation le secteur impacté se situe essentiellement en rive gauche (carte 7.1, fig. 7.6). Si les quelques maisons touchées subissent une submersion modérée inférieure à 1 m, par contre les vitesses de l'écoulement peuvent atteindre 3 m/s (carte 7.2).

Figure 7. 6 : Section en travers dans le secteur vulnérable de Sidi Chami.

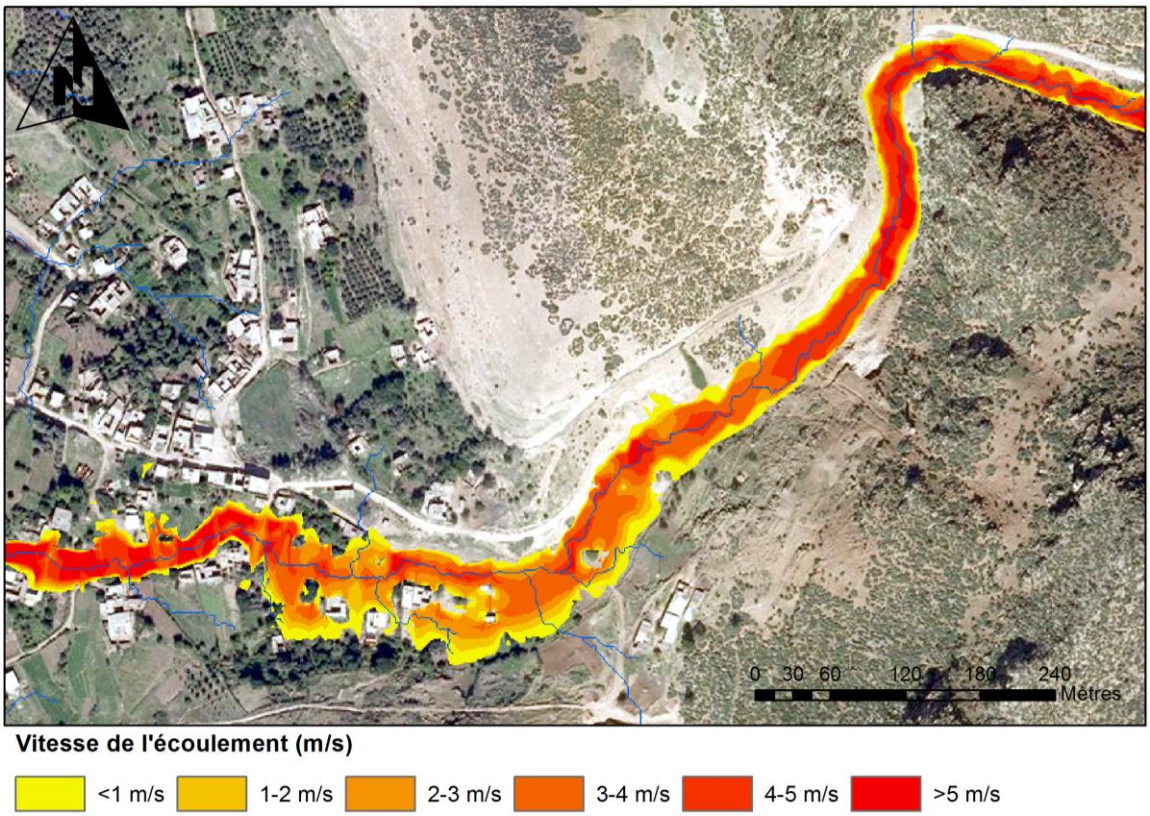


A l'extrême aval du secteur la pente s'accroit entraînant une augmentation des vitesses et un resserrement de la largeur au miroir, mais globalement les caractéristiques de l'écoulement touchant les maisons de ce secteur sont les mêmes que précédemment.

Carte 7. 1 : Site de Sidi Chami : les hauteurs de submersion.



Carte 7. 2 : Site de Sidi Chami : les vitesses de l'écoulement.



b) Le secteur de Zaouit Echiekh:

Dans ce secteur les caractéristiques du chenal naturel sont plus homogènes que dans le secteur de Sidi Chami. Par contre on note une hétérogénéité dans l'écoulement sur le linéaire du cours d'eau qui est le fait de constructions, notamment de 2 ponts aux PKH 652 m et 328 m sur le profil en long (fig. 7.7). La pente d'énergie moyenne est 0.041m/m pour une vitesse moyenne d'écoulement de l'ordre 4 m/s avec une vitesse maximale de 8 m/s à l'amont de la ville dans la partie rectiligne du chenal (tab. 7.2). Cette partie amont est également caractérisée par une faible profondeur de l'eau, de l'ordre de 1.5m et d'une largeur au miroir d'une quinzaine de mètres (carte 7.3).

A l'opposé de ce secteur très dynamique, à l'amont des deux ponts et d'un coude au PKH 568 m, la pente d'énergie chute, elle est de l'ordre de 1.10^{-4} m/m. Le pont le plus à l'amont, celui de la route nationale qui mène de Béni-Méllal à Khénifra, crée un barrage hydraulique ce qui engendre une augmentation du niveau, il atteint 5,5m, et un plan d'eau (pente d'énergie de l'ordre de 10^{-4}) de 100 m de large. Il se répercute vers l'amont engendrant une faible submersion (inférieure à 1m) des infrastructures situées directement en amont du pont sur les deux rives. Les vitesses sont cependant faibles (inférieures à 1 m/s). Le 2ème pont, au PKH 328 m, bien plus large perturbe moins l'écoulement. Il génère malgré tout une augmentation de la cote du niveau d'eau de près d'un mètre et une augmentation de la largeur au miroir pouvant engendrer une submersion des infrastructures en rive gauche.

Tableau 7. 2 : Site de Zaouit Echiekh : Caractéristiques hydrauliques calculées pour un débit de 75 m3/s.

River Sta	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Mann Wtd Total	Profondeur (m)
1569.05	737.97	740.37	740.55	741.41	0.0110	4.89	17.45	11.32	1.05	0.030	2.40
1018.20	713.60	715.13	715.46	716.14	0.0474	4.43	16.93	26.64	1.77	0.04	1.53
661.81	697.49	702.99		703.01	0.0000	0.84	139.56	73.84	0.12	0.01	5.50
652.02	696.55	702.01	700.24	702.78	0.0002	4.06	20.14	99.37	0.55	0.01	5.46
598.20	695.66	697.42	697.42	698.14	0.1066	3.83	20.51	14.57	1.00	0.10	1.76
568.31	694.38	697.14		697.39	0.0002	2.52	35.34	15.42	0.49	0.01	2.76
362.08	686.21	688.89	688.28	689.28	0.0228	2.71	27.17	13.21	0.57	0.08	2.68
337.64	685.13	688.57	687.46	688.89	0.0100	2.52	29.71	18.02	0.48	0.08	3.44
328.30	685.30	687.75	687.75	688.62	0.0110	4.12	18.19	26.30	1.00	0.04	2.45
90.31	676.88	678.42	679.23	681.12	0.0704	7.28	10.31	9.51	2.23	0.04	1.54
0	673.19	674.13	674.53	675.57	0.1065	5.34	14.24	33.71	2.52	0.035	0.94
moyenne	704.34	706.29	707.00	707.33	0.0405	4.13	25.45	22.91	1.26	0.051	1.95
min	673.19	674.13	674.53	675.57	0.0000	0.84	9.64	5.19	0.12	0.008	0.87
max	737.97	740.37	740.55	741.41	0.2529	8.18	139.56	99.37	2.67	0.110	5.50

Figure 7. 7 : Site de Zaouit Echiekh : profil en long des variables caractéristiques principales issues du modèle.

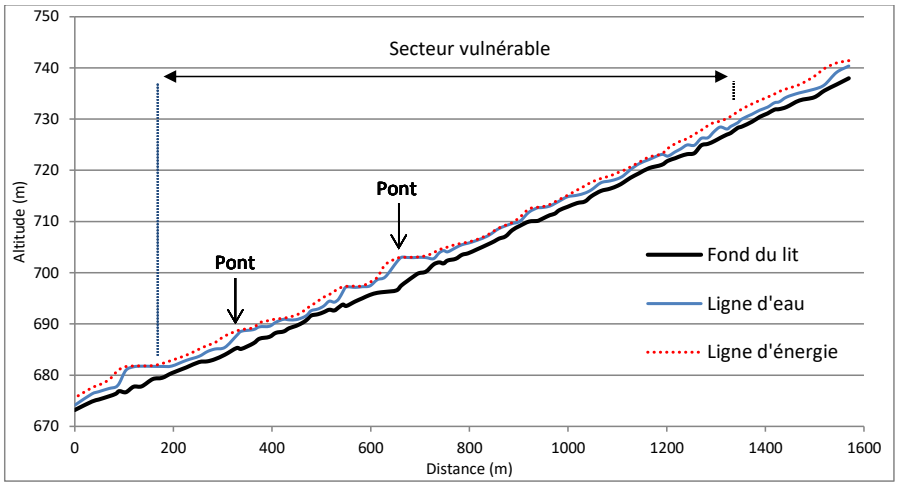
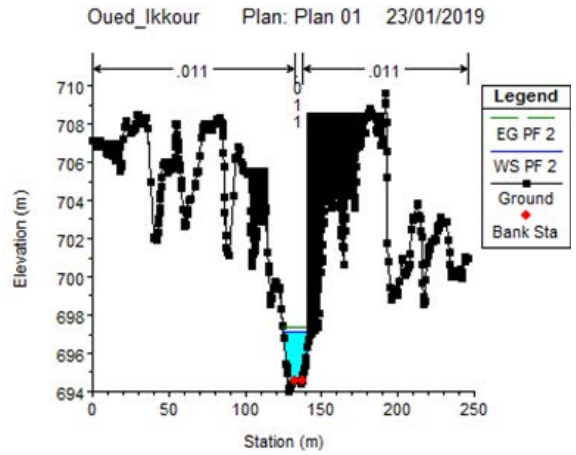


Figure 7. 8 : Section en travers dans le secteur vulnérable de Zaouit Echiekh.



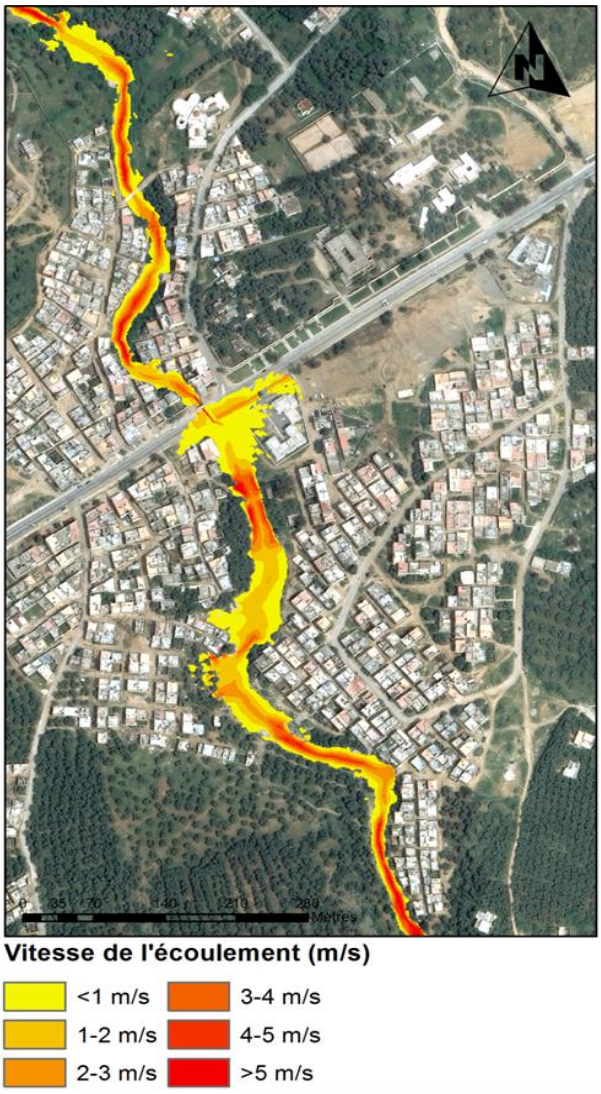
Le changement brutal de direction vers la gauche au PKH 568 m génère également un fort ralentissement de l'écoulement, qui passe de 4 m/s à 2,5 m/s ainsi qu'une augmentation de la

cote du niveau d'eau (carte 7.3 et 7.4). Cette situation a été très dommageable pour la maison située en rive droite (fig. 7.8) qui est devenu inhabitable suite à la crue de 2010.

Carte 7. 3 : Site de Zaouit Echiekh : les hauteurs de submersion.



Carte 7. 4 : Site de Zaouit Echiekh : les vitesses de l'écoulement.



D'une manière générale on note que tous les changements de direction, même à large rayon de courbure, de l'oued, engendre un ralentissement de l'écoulement et un débordement de l'oued.

III) Les enseignements que l'on peut tirer de la modélisation hydraulique d'une forte crue sur deux sites vulnérables du "dir" de Béni-Méllal :

Les caractéristiques de l'écoulement pour les plus fortes crues mesurées dans les 2 oueds modélisés montrent des vitesses très élevées pouvant atteindre les 8 m/s déterminées par de fortes pentes longitudinales (pentes d'énergie semblables). Le régime hydraulique pour ces valeurs de débit est torrentiel avec des valeurs du Froude pouvant dépasser 2. Ces très fortes valeurs induisent des puissances spécifiques très élevées laissant penser qu'en plus du risque de submersion s'ajoute le risque de destruction des infrastructures du fait des fortes pressions qui peuvent s'exercer sur les murs ainsi que par la taille importante des blocs mobilisés.

On retient également qu'à ces vitesses d'écoulements la moindre variation géométrique du lit de l'oued (resserrement, changement de direction ou de pente) engendre un ralentissement conséquent à l'origine de l'élévation de la cote du niveau d'eau ; Si bien que les infrastructures situées dans l'environnement immédiat de ses modifications dans le tracé de l'oued sont plus exposées au risque inondation.

La réalisation de ces deux cas pratiques de modélisation doit également nous permettre de tirer des enseignements sur les limites des résultats proposées.

Outre les limites de la structure, inhérentes à tout modèle, les plus grandes sources d'incertitudes d'une modélisation hydraulique en rivière sont liées à la topographie, aux coefficients de rugosité et au débit injecté lui-même (Pappenberger, 2005) dont nous avons déjà discuté plus avant. Nous pouvons dire qu'a postériori les résultats valident la topographie même à une échelle fine dans la mesure où les îlots de végétation en lit majeur ne sont pas submergés ; Le MNS produit apparaît donc réaliste et son mode de production, certes chronophage, pourrait être déployé à l'échelle du dir. Les infrastructures apparaissent également correctement "détourées" par l'empreinte de l'inondation.

Les coefficients de Manning-Strickler bien que calés sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par calcul à partir des débits mesurés sur les tronçons de mesure hydrométrique (chap. 5). Une incertitude demeure néanmoins sur la limite entre lit mineur et lit majeur pas toujours facile à déterminer sur les images.

Au final ces deux types de source d'erreur majeure, topographie et coefficient de rugosité, apparaissent suffisamment contrôlés pour que la cartographie proposée ne soit pas trop éloignée de la réalité pour les débits injectés.

Conclusion:

La méthodologie déployée pour caractériser l'aléa crue et son empreinte sur deux sites représentatifs du "dir" de Béni-Méllal apparaît convaincante. Les valeurs produites pour les deux sites montrent que pour les deux plus forts débits observés sur les 3 années de mesure il y a eu une légère submersion de quelques infrastructures, ce qui est en accord avec ce qui a été observé sur le terrain pendant cette période. La modélisation ne surestime donc pas les valeurs. De la même façon les débits produits aux stations ne paraissent donc pas surestimés non plus. Donc, bien que nous n'ayons pas utilisé de données de validation le système, de la production de débits à la modélisation de l'aléa hydrologique, apparaît cohérent. Notre méthodologie pourrait alors être déployée sur l'ensemble des bassins et sites vulnérables du "dir" de Béni-Méllal.

Conclusion de la deuxième partie :

L'étude des crues de l'oued Derna aboutit à une caractérisation précise de l'aléa à l'origine des inondations dans les localités du "dir" de Béni-Méllal. Cet aléa peut survenir durant 9 mois de l'année avec néanmoins une plus grande probabilité l'hiver et au printemps. Une des conditions à la survenue de très fortes crues est la succession rapprochée d'épisodes pluvieux révélant une diminution progressive de l'infiltration malgré un substratum perméable sur une grande proportion du bassin. Enfin le trait marquant relatif à l'aléa est la mise en évidence d'un glissement depuis 41 ans vers une plus grande occurrence d'évènements de très fortes amplitudes qui n'avaient jamais était observés jusqu'au début du 21ème siècle. Une des causes de ce changement est vraisemblablement une modification dans la structure des pluies.

Les données hydrométriques présentent un élément indispensable pour étudier les phénomènes hydrologiques, tel que les crues et les inondations. Pour notre cas, en absence d'observations hydrométriques, l'étude de l'aléa d'inondation menaçant le "dir" de Béni-Méllal, nous a présenté un grand défi. Dans ce cadre, la méthodologie adoptée consiste à instrumenté des bassin test pour la production des données hydrométrique, afin de caractérise les crues et l'aléa touchant notre domaine. En termes de résultats obtenus, nous avons conclu :

La chaîne de production de débits utilisée ainsi que la nature des écoulements déterminent une incertitude non négligeable sur les valeurs des écoulements, la cohérence dans ces valeurs annuelles des 3 bassins versants valide ces résultats. En effet rappelons que si le mode opératoire est le même, les caractéristiques des tronçons instrumentés, la gamme des hauteurs observée ainsi que les observateurs sont différents. Nous sommes donc en possession d'hydrogrammes originaux à partir desquels nous menons une analyse des phases de crue, aléas causant des dommages conséquents dans les villes et villages du secteur.

La méthodologie déployée pour caractériser l'aléa crue et son empreinte sur deux sites représentatifs du "dir" de Béni-Méllal apparaît convaincante. Les valeurs produites pour les deux sites montrent que pour les deux plus forts débits observés sur les 3 années de mesure il y a eu une légère submersion de quelques infrastructures, ce qui est en accord avec ce qui a été observé sur le terrain pendant cette période. La modélisation ne surestime donc pas les valeurs. De la même façon les débits produits aux stations ne paraissent donc pas surestimés non plus. Donc, bien nous n'ayons pas utilisé de données de validation le système, de la production de débits à la modélisation de l'aléa hydrologique, apparaît cohérent. Notre méthodologie pourrait alors être déployée sur l'ensemble des bassins et sites vulnérables du "dir" de Béni-Méllal

Troisième Partie : "dir" de Béni-Méllal : Vulnérabilité aggravée :

- Chapitre 8 : La gestion des risques des inondations : caractérisations et acteurs:
- Chapitre 9 : La politique de gestion des inondations : acteurs, institutions et réglementation:
- Chapitre 10 : Extension urbaine : facteurs d'aggravation des inondations:
- Chapitre 11 : La culture du risque : caractérisation et perception:

Introduction de la troisième partie :

Après avoir étudié le premier composant du risque d'inondation, cette partie sera consacré à l'étude de la vulnérabilité des agglomérations de "dir" de Béni-Méllal, face aux aléas d'inondation.

La vulnérabilité est conditionnée par un ensemble des facteurs d'ordre physique (matériels de construction, densité de la population, etc.), social (santé, éducation, sécurité, équité sociale, etc.), économique (statut économique, etc.) et culturel (mode de vie, traditions, croyances, etc.). Ainsi que le cadre juridique, institutionnel, politique et administratif, soit le système de gouvernance en place (Thomi, 2010).

A cet égard, la présente partie vise à analyser :

La gestion des inondations, ainsi que les dégâts matériels et corporels dans le "dir" de "l'Atlas" de "Béni-Méllal ", sans oublier les procédures d'intervention élaborées par les acteurs locaux dans ce contexte. Cette étude servira aussi à faire le recensement de la population dans les zones inondables.

Étudier la problématique des inondations dans sa dimension nationale, régionale et locale à travers la réglementation, les schémas et les institutions qui s'occupent de la question en générale et de la gestion des risques inondations en particulier. Sans oublier le rôle fourni par les associations dans ce domaine.

La vulnérabilité spatiale associée au problème de l'expansion urbaine et les facteurs qui contrôlent cette expansion, ainsi que la vulnérabilité socioéconomique, sociale, juridique et historique et leur rôle dans l'expansion incontrôlée dans les zones menacées par les inondations

La culture du risque basée sur l'analyse et l'étude des perceptions et des comportements des populations, comme étape préalable pour comprendre la culture du risque, et ses rôles dans l'aggravation du risque d'inondation dans le "dir" de Béni-Méllal.

Chapitre 8 : La gestion des risques des inondations : caractérisations et acteurs:

Sommaire

Introduction:

I) Enquête et population cible:

1. La population cible:

2. Dépouillement et analyse des données :

II) Résultats et discussions:

1. Prévention des risques d'inondations et information de la population:

2. L'intervention et les secours lors des inondations:

3. Les dégâts des inondations:

4. Le dédommagement des dégâts:

5. Les solutions attendues et les aspirations de la population locale:

Conclusion:

Introduction :

L'efficacité de la politique adoptée par l'État pour réduire l'impact des inondations ne s'évalue pas seulement par le nombre d'institutions et de mesures judiciaires prises, mais aussi par leur efficacité et leur capacité à prévenir les dégâts humains et matériels au moment des inondations.

Les inondations de type torrentiel qui affectent l'équilibre du "dir" peuvent être considérées comme un véritable test, permettant de contrôler les mesures, les plans et les projets d'aménagement mis en place pour prévenir et empêcher ce danger et ses conséquences fatales, aux différents niveaux matériels, humains et écologiques.

Ce chapitre est consacré à l'analyse, l'évaluation des mesures de gestion et des interventions prises par les acteurs du "dir" de "l'Atlas" de "Béni-Méllal " au cours de leurs interventions lors des inondations très fréquentes dans cette zone. Il nous appartient donc d'analyser d'une part, le degré d'intervention des différents acteurs et de l'autre, de déterminer leurs rôles et responsabilités.

Nous allons ensuite de bien identifier les différents dégâts matériels et humains dans le "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal, et évaluer à quel point ces dégâts sont dommageables. Nous allons aussi, discuter les suggestions et les aspirations de la population locale en termes de la lutte contre les inondations.

L'objectif majeur de ce chapitre est d'aborder la gestion des inondations, ainsi que les dégâts matériels et corporels dans le " "dir" " de "l'Atlas" de "Béni-Méllal ", sans oublier les procédures d'intervention élaborées par les acteurs locaux dans ce contexte. Cette étude servira aussi à faire le recensement de la population dans les zones inondables.

I) Enquête et population cible:

1. La population cible:

D'après nos observations de terrain, la population locale a une connaissance parfaite de son espace car c'est elle qui l'a produit et le transforme. Elle est même consciente de la question des risques, surtout les inondations. De ce fait, pour étayer nos réflexions et notre étude, nous avons dressé un questionnaire de 70 questions que nous avons adressé à la population locale de notre zone de l'étude (Annexe 10.6).

Quant à la technique de l'échantillonnage, nous avons procédé à une enquête exhaustive qui a visé toute la population située dans les zones à risque. Au total, 811 questionnaires ont été élaborés et adressés à la population locale entre le 01/07/2015 et le 30/09/2015 (tableau 8.1 et annexe 10.1, 10.2 ;10.3, 10.4 et 10.5).

Tableau 8. 1 : Distribution des questionnaires selon les villes et centres urbains du "dir" de Béni-Méllal.

Villes et centres urbains	Nombre de questionnaires
Taghzirt	123
Tanougha	167
Ait Hammou Abdessalem	81
El-Ksiba	210
Zaouit Echiekh	230
Total	811

2. Dépouillement et analyse des données :

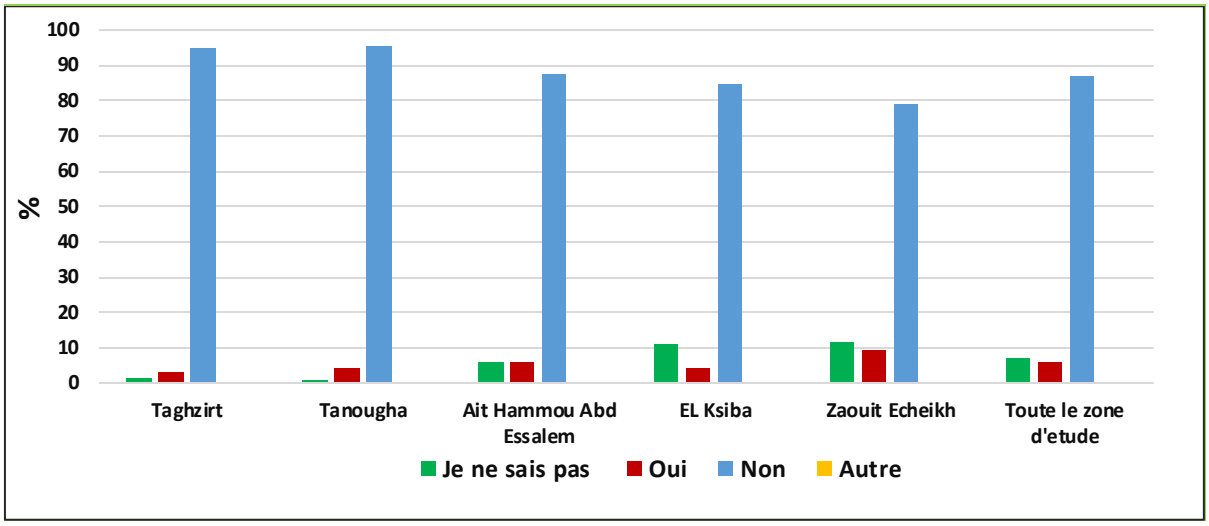
Le dépouillement des données des enquêtes se fait en utilisant le logiciel de traitement et d'analyses statistiques, ‘’SPSS 12’. Un codage de réponses dans le format du logiciel ainsi que l'identification statistique des variables (annexe 10.19) vont être mis en place au préalable, la préoccupation étant d'assurer la simplicité des tris au moment de la saisie (Chardon, 1981). Les résultats obtenus ont fait l’objet de représentations graphiques avec ce même logiciel ou bien en utilisant le logiciel ‘Excel’.

II) Résultats et discussions:

1. Prévention des risques d’inondations et information de la population:

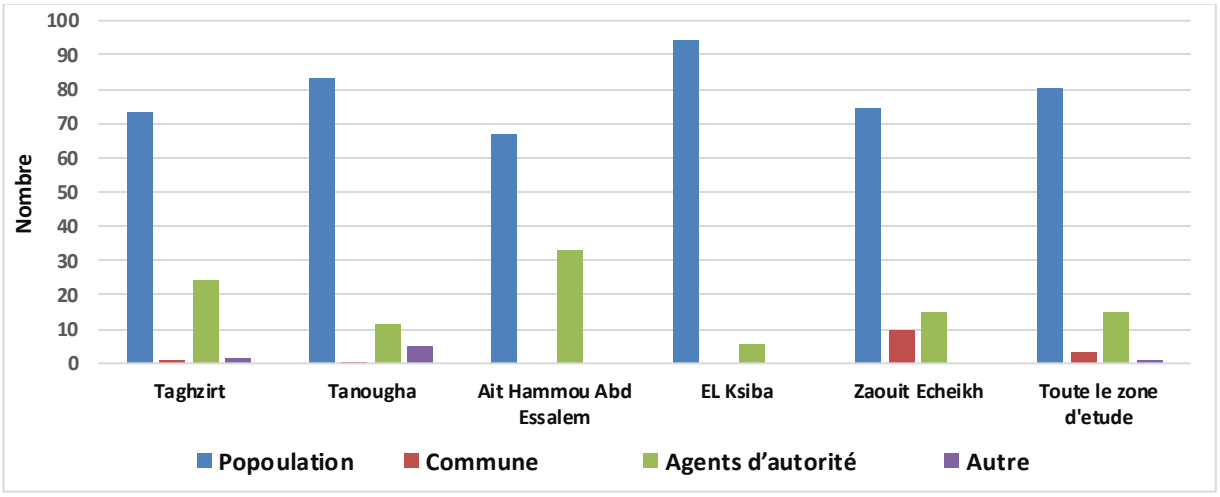
Le "dir" de "Béni-Méllal " connaît des inondations rapides et fortes (torrentielles). De ce fait, la prévention et l’information jouent un rôle majeur pour protéger les populations et donner les moyens aux équipes d’intervention, de préparer la logistique et d’agir rapidement sur le terrain. Néanmoins, 80% de la population de la zone d’étude, affirme qui n’ont pas été informée et prévenue sur le risque inondation. Seulement 5.6% de la population affirme avoir été prévenue. Dans le cas de douar"d’Ait Hammou Abdessalem" les inondations viennent de l’amont du bassin versant de "l’Oued d'Echkounda" après les précipitations fortes et concentrées. Ce qui a poussé la population de l’amont (agglomération d’Ait Echkounda) à informer la population "d’Ait Hammou Abdessalem" pour évacuer les zones inondées, cela est dû aux liens sociaux et parentaux entre les deux dours. Dans ce cas le partage de l’information à jouer un rôle important dans la prévision comme un système d’alarme préalable ; malgré la faiblesse des réseaux de communication et les difficultés de déplacement entre les deux agglomérations lors des précipitations orageuses. Ce qui a causé des inondations parfois dévastatrices comme celles du 09/03/2010 (fig 8.1).

Figure 8. 1 : Population locale et question de la prévention contre les inondations.



En raison de l'insuffisance du rôle des institutions locales, régionales en termes de lutte contre les inondations, la population du "dir" de "Béni-Méllal " a développé un système d'alerte ; et cela, grâce à la connaissance qu'elle a de l'espace, leurs sens de l'observation et l'expérience acquise.

Figure 8. 2 : Les acteurs locoux qui signalent l'éventualité des inondations.



D'après la figure 8.2, on constate que 80% de l'information concernant les inondations provient de la population locale qui en avise les autorités et les gestionnaires des inondations dans la totalité de la zone d'étude. Cela a été confirmé par 94% de la population d'"El-Ksiba", 74% de la population de "Zaouit Echiekh" et "Taghzirt", 83% à "Tanougha" et 67 % à "Ait Hammou Abdessalem". 15 % de la population enquêtée réclame que c'est le "Maquaddam"[1] qui donne des informations sur les inondations.

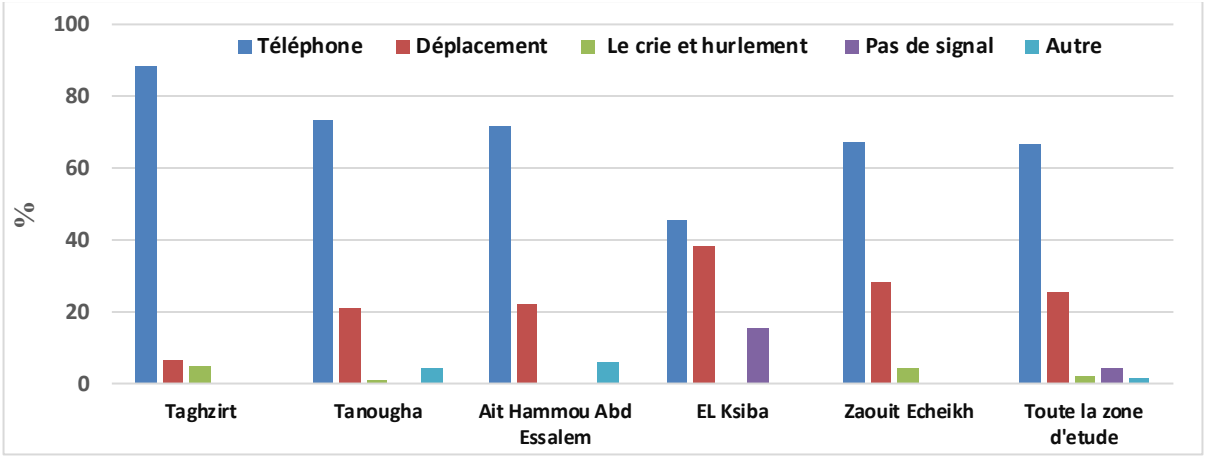
Vu la torrentialité des inondations, le contact entre la population avec les responsables et gestionnaires des inondations aux niveaux local et provincial, pose un problème et des questions essentielles restent posées en termes de moyens de communications utilisés et leur efficacité,

[1] Agent de l'autorité

afin d'éviter les dégâts et fournir les aides nécessaires pour les sinistrés.

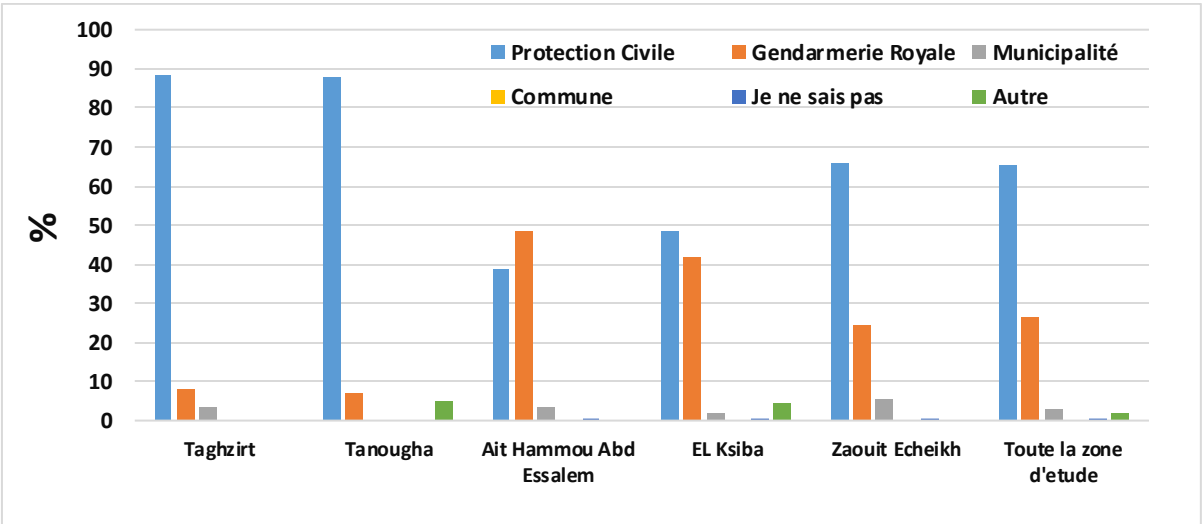
D'après la figure 8.3, pour 67% de la population du "dir" le téléphone mobile est l'outil le plus utilisé pour informer sur les inondations. 89% des habitants de "Taghzirt", 72% pour "Tanougha" et "Ait Hammou Abdessalem", et 67% à "Zaouit Eheikh" et 45% à "El-Ksiba" confirment la même chose. Le déplacement en vue d'en informer les responsables est le deuxième moyen pour prévenir des inondations chez 25% de la population. Cet outil devient plus efficace lorsque les zones inondées sont proches des institutions publiques comme dans les cas d'"El-Ksiba" et "Zaouit Echiekh" dont le taux d'utilisation de téléphone mobile représente respectivement 28% et 39%.

Figure 8. 3 : Les moyens de contact utilisés lors des inondations.



D'après la figure 8.4, parmi les administrations sollicitées en cas d'inondations, on trouve la protection civile, avec 65% et 88% à" Tanougha" et "Taghzirt", 39% à "Ait Hammou Abdessalem"49% a "El-Ksiba", et 66% à "Zaouit Echeik". Par contre, la gendarmerie royale, n'est contactée que par 26% de la population du "dir", avec un pourcentage qui varie entre 49% et 24 % dans les localités "d'Ait Hammou Abdessalem", "El-Ksiba" et "Zaouit Echiek". Alors que celui-ci ne dépasse pas 7% chez le reste de la population de la zone d'étude.

Figure 8. 4 : les institutions contactées.



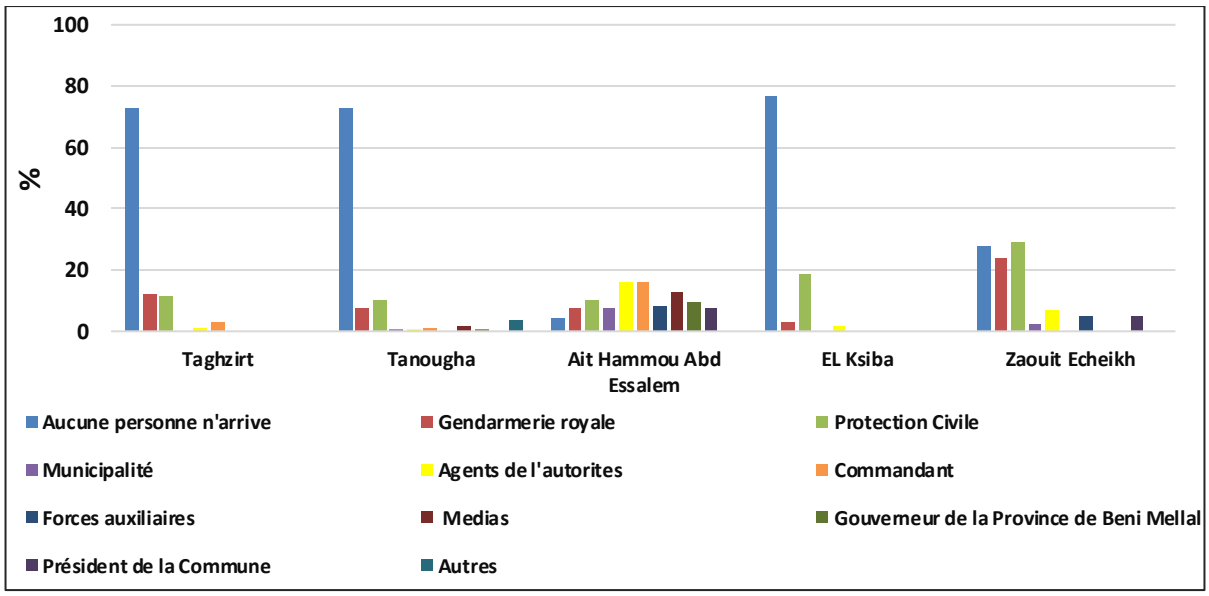
Généralement, en raison de la non efficacité des institutions locales et régionales, la population locale se base sur son savoir-faire et sur son expérience pour lutter contre les inondations.

2. L'intervention et les secours lors des inondations :

2-1 L'intervention de l'état:

Les préventions et l'intervention au moment opportun sont des éléments déterminants qui peuvent empêcher les conséquences négatives, à savoir les dégâts humains et matériels. Mais, cela d'être informé en amont sur des inondations éventuelles. L'absence d'avertissement peut avoir aussi des répercussions sur le reste du processus de gestion des inondations. Ceci pose aussi des problèmes concernant la réaction des administrations publiques après l'appel d'urgence des populations menacées par le risque. D'après la figure 8.5, on constate que l'arrivée des secours au lieu des inondations est marquée par un retard. Cette constatation est confirmée par 73% des enquêtés à Taghzirt, Tanougha et El-Ksiba, 27% à Zaouit Echiekh et 4% à Ait Hammou Abdessalem. En revanche la réaction des administrations et des autorités dépend du degré de danger. Ces derniers répondent et réagissent plus rapidement en cas d'un grand danger ; C'est le cas d'Ait Hammou Abdessalem et Zaouit Echeik ce sont deux localités qui ont été touchées par les inondations catastrophiques. Ces dernières ont coûté la vie à plusieurs personnes en plus des dégâts matériels importants. Ce qui a exigé la réaction et la réponse de toutes les autorités et institutions étatiques locales et régionales.

Figure 8. 5 : Les autorités et les institutions qui arrivent sur les lieux des inondations.

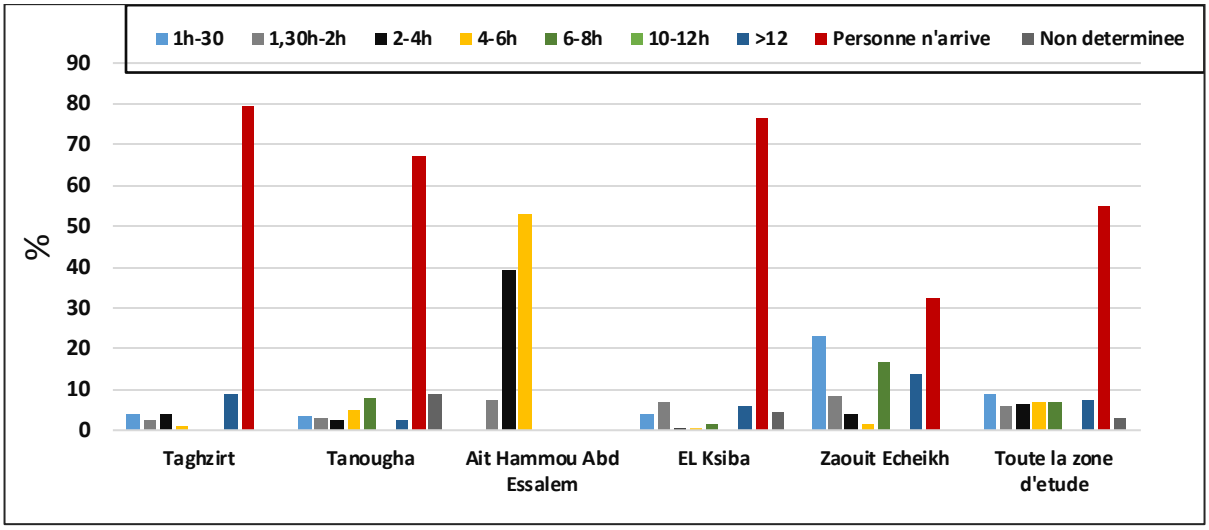


Toujours d'après la population du"dir" de "Béni-Méllal ", 15% des enquêtés disent que la protection civile est la première institution qui arrive au lieu de la catastrophe, suivi par la Gendarmerie Royale (10% des enquêtés) et après, on trouve les Forces Auxiliaires, les représentants des autorités locales, les collectivités locales, les "Maqqadams", le gouverneur provincial et les médias (fig 8.5).

L'intervention des autorités publiques pose aussi un problème quant à la distance et le temps du trajet à parcourir, pour arriver sur les lieux de l'intervention. D'après la figure 8.6, nous constatons que les gestionnaires des inondations et les autorités locales n'arrivent pas à temps

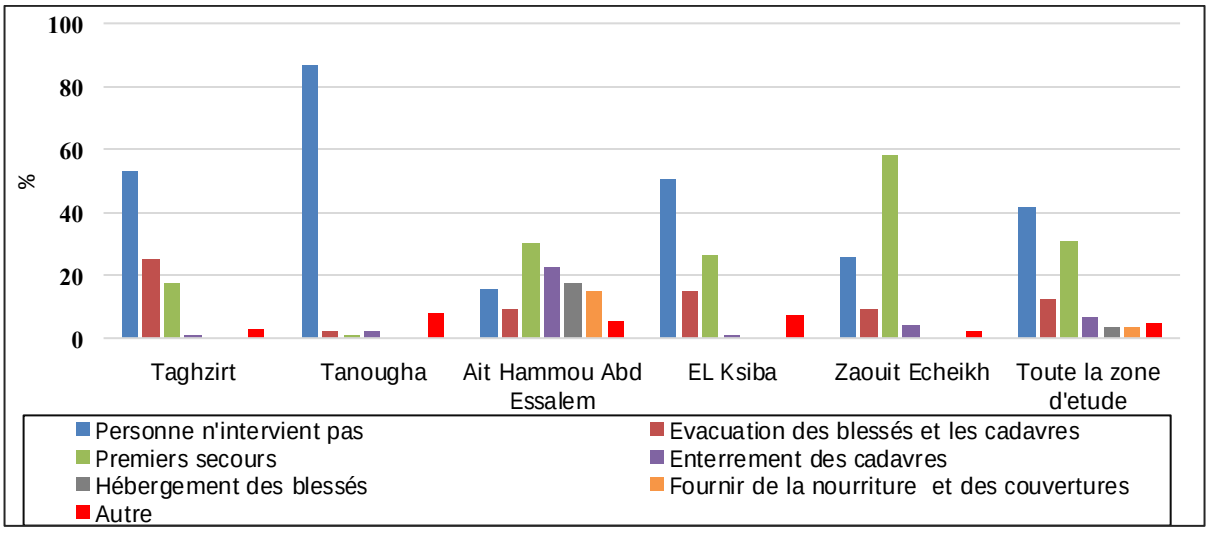
sur les lieux pour 55% de la population. Le reste de la population (45%) affirme que la majorité des autorités arrivent sur les lieux du sinistre 4 à 12 heures après les faits, sauf dans le cas de "Zaouit Echeik" (1.30 h) d'après 23% de la population, car la commune dispose d'un centre de secours de la protection civile. Pourtant cette durée reste très importante, si on considère le temps de réponse des bassins versants dans le "dir" de "l'Atlas" de "Béni-Méllal " qui varie entre 40 minutes et 1.00 h.

Figure 8. 6 : Combien de temps prennent les autorités concernées pour arriver aux zones inondées?



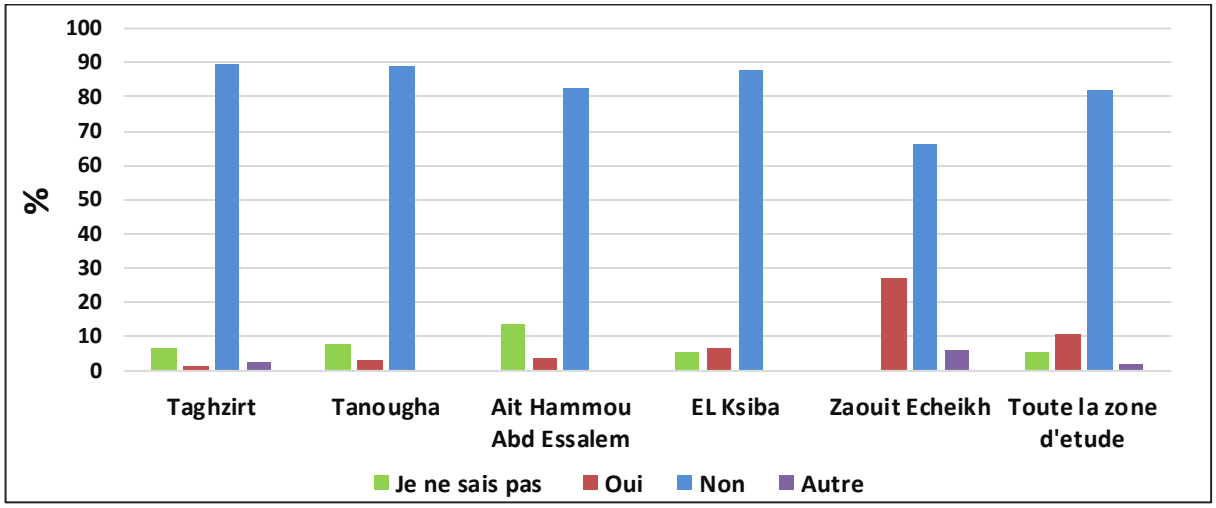
Vu la lenteur de répondre rapidement aux appels de secours et vu la torrentialité des régimes hydrologiques des oueds du dir, la possibilité d'éviter les pertes restent trop faible. Compte tenu aussi du temps de réaction des secours et de la puissance des inondations, les pertes humaines et matérielles sont quasiment inévitables, hormis certains services réalisés par quelques établissements publics ; comme par exemple: le transport des blessés et des sinistrés, la logistique (couvertures, nourritures …).et l'enterrement des défunts. D'après les figures 8.7 on remarque que l'aide apportée aux premiers sinistrés et le transport des cadavres représentent un pourcentage de 13% et 31%.

Figure 8. 7 : Types d'intervention en cas d'inondation.



D'après la figure 8.8, 81% de la population considère que les interventions sont inadaptées et ne répondent pas de façon efficace aux attentes de la population. Seul 27% de la population de "Zaouit Echeik" affirme que les interventions de l'État ont été positives. Par contre la ville "d'El-Ksiba" ainsi que les autres localités du "dir" de "Béni-Méllal ", menacées par les inondations, souffrent de la même absence des interventions efficaces.

Figure 8. 8 : Pensez-vous que les interventions des gestionnaires des risques inondations empêchent les pertes matérielles et humaines ?

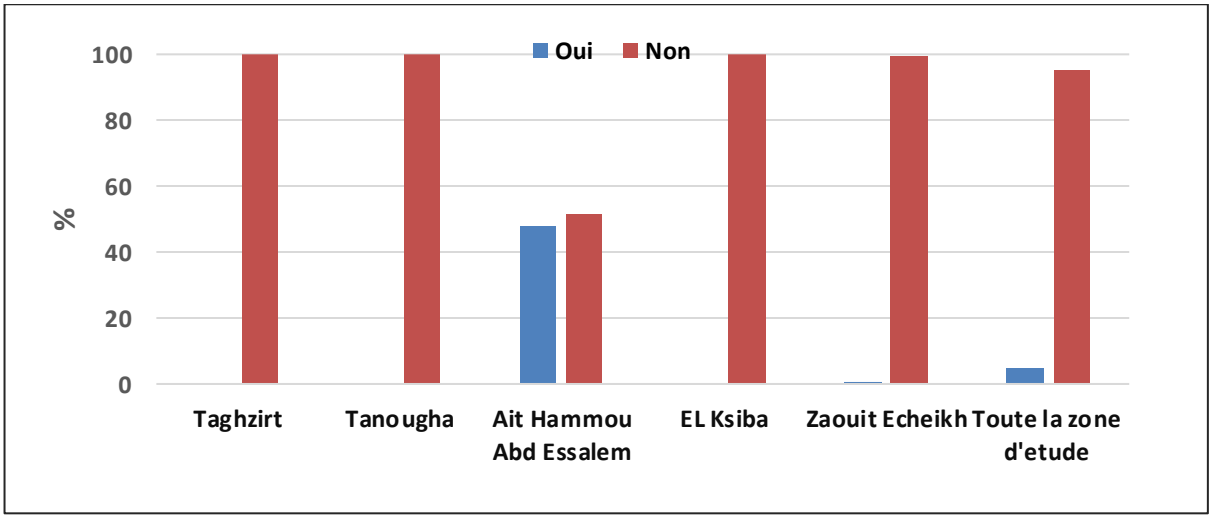


À "Zaouit Echeik", la proximité du centre de la Gendarmerie Royale à quelques mètres de l'Oued Ikkour facilite l'intervention des secouristes comme l'affirme 23% de la population locale. Par contre, la ville d'El-Ksiba, malgré le fait qu'elle dispose d'un centre de protection civile, souffre de l'absence d'interventions efficaces. Cette situation marquée par l'inefficacité des interventions étatiques nous amène à réfléchir sur l'impact que peut y avoir les autres acteurs locaux sur la lutte contre les inondations et sur leur intervention avant, au cours et après la catastrophe.

2-2 Les interventions des associations de la société civile :

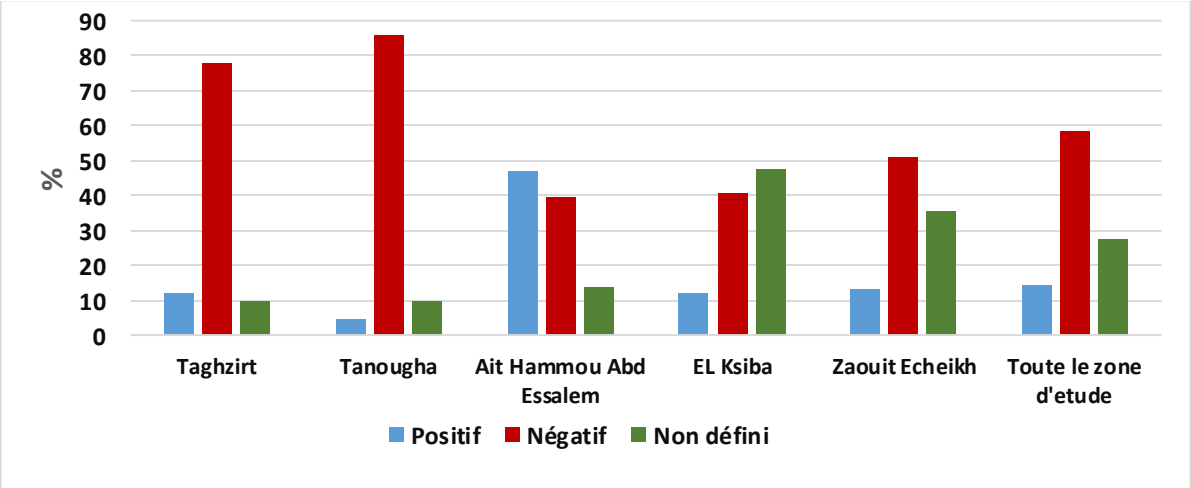
Vu l'importance du rôle joué par la société civile, en tant qu'acteur important dans la gestion des risques, la connaissance de sa perception vis-à-vis des risques est primordiale car cela va nous permettre de voir est-ce que la société civile possède une culture des risques. D'après les résultats du travail de terrain (fig 8.9) on note malheureusement l'absence de la société civile dans ce domaine, comme ceci a été confirmé par 95% de la population du"dir", à l'exception de la population d'Ait Hammou Abdessalem" Puisque 48% affirment la présence des différentes associations lors des inondations.

Figure 8. 9 : Les associations de la société civile interviennent-elles lors des inondations.



En effet, plusieurs associations sont arrivées le lendemain du 10/03/2010, pour fournir de l'aide aux sinistrés, surtout des "Chorafas pour le Développement". Mais, en général, on remarque l'absence des associations au niveau de la sensibilisation des populations, ainsi que tout ce qui permet de lutter contre les inondations d'une manière ou d'une autre comme le reboisement et les campagnes de sensibilisation. Cela pousse 67% la population à évaluer négativement les réactions et le rôle des associations dans le domaine de la gestion des inondations dans le "dir" de Béni-Méllal (Fig 8.10).

Figure 8. 10 : La manière dont les associations de la société civile réagissent à la problématique des inondations.



2-3 L'intervention du secteur privé:

Comme tous les pays en voie de développement, le secteur privé dans le "dir" de "Beni -Mellal", reste inactif dans certains domaines, surtout dans celui de l'investissement dans les infrastructures publiques et dans la sensibilisation concernant l'environnement et les risques naturels comme les inondations qui menacent une grande partie de "dir méllalien".

Et malgré la forte présence du secteur privé dans l'exploitation des ressources naturelles (plus de 11 carrières, exploitation de la forêt, usine de ciment (planche photos 8.1), ainsi que la forte

présence dans le secteur des services et de l'immobilier, ce secteur est quasiment absent dans la participation à la réalisation des études et des projets luttant contre les inondations, même si sa responsabilité est confirmé dans une grande partie de ces catastrophes, à cause de l'exploitation irraisonnable des carrières et les ressources naturelles. D'après la figure 8.11 on remarque aussi l'absence du secteur privé au niveau de l'intervention lors des inondations touchant le "dir méllali".

Hormis quelques écoles privées qui répondent positivement à cette problématique (un établissement scolaire privé a organisé un voyage au douar d'Ait Hammou Abdessalem après les inondations ravageuses de 2010). D'après la figure 8.11, nous constatons que le secteur privé réagit négativement au problème des inondations dans le "dir" (sensibilisation, projet d'aménagement, interventions …). Cette absence est confirmée par 92% de la population de Tanougha et 88% d'El-Ksiba.

Figure 8. 11 : La manière dont le secteur privé réagit face à la problématique des inondations selon la population locale.

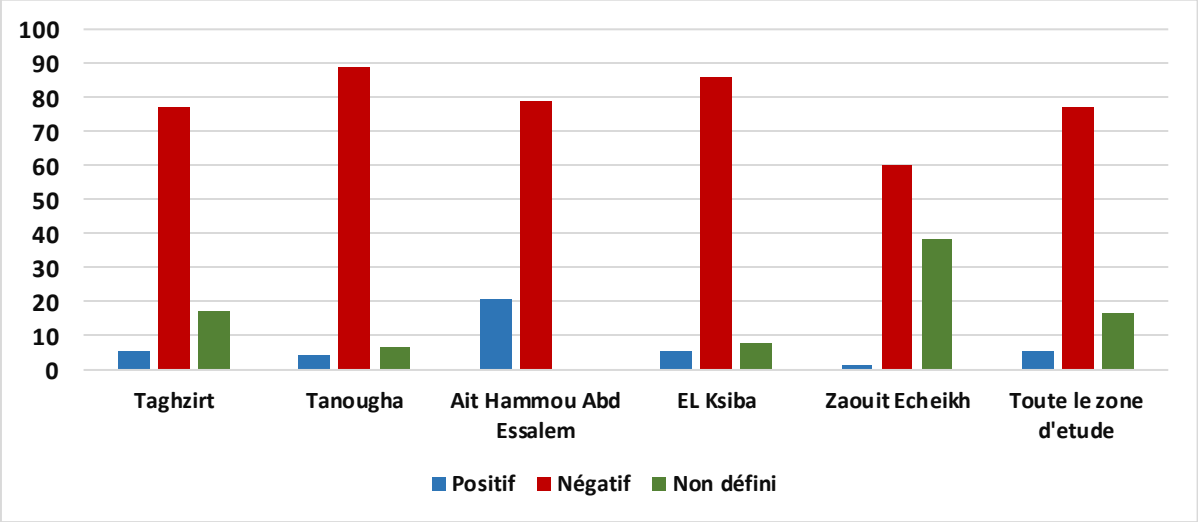


Planche photos 8. 1 : Exploitation abusive des dolomies par le secteur privé.





Exemple de l'influence des carrières sur les ressources naturelles en amont de Tanougha



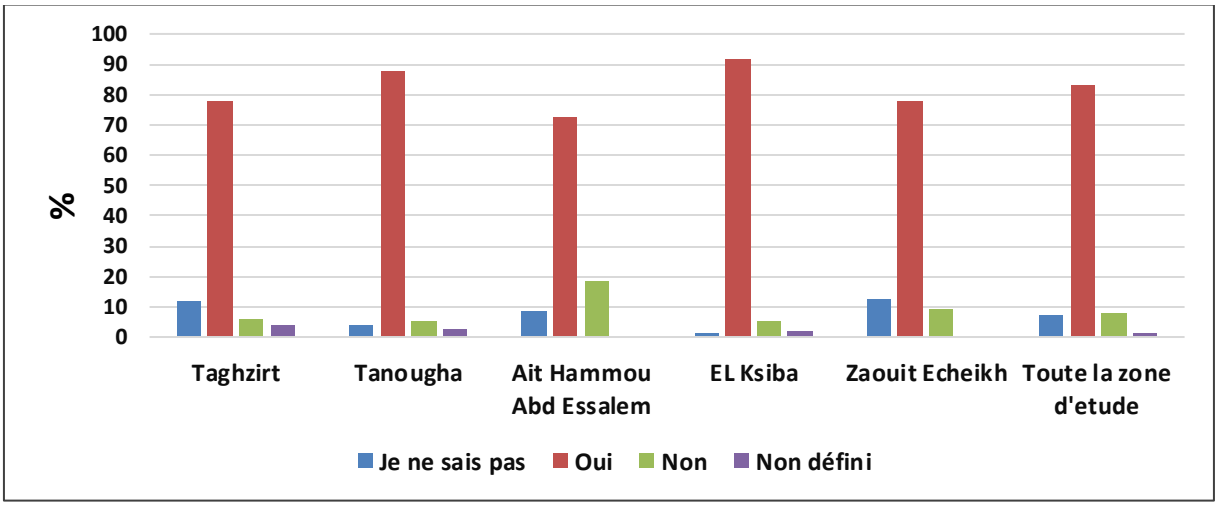
Exploitations des carrières et l'influence sur les ressources naturelles à l'mont de Ait Hammou Abdessalem

Généralement, le "dir" de Béni-Méllal représente un exemple qui illustre la réaction négative du secteur privé envers la problématique des inondations.

2-4 L'intervention de la population locale:

Compte tenu de cette marginalisation et de l'absence de projets de développements locaux et de projets luttant contre les risques, la population de "dir" a pris l'initiative pour faire face aux risques qui menacent sa vie et son existence. Dans ce cadre, 82% de la population du"dir" a confirmé sa disposition à intervenir en cas de danger ; ce pourcentage atteint 91% à El-Ksiba et 88% à Tanougha (Fig 8.12).

Figure 8. 12 : En cas du risque inondation, vous êtes prêts à aider les sinistrés ?



La prédisposition de la population locale à aider reflète la culture de solidarité et les valeurs morales de la population. Dans ce cadre, 85% de la population du"dir" a confirmé son intervention pour sauver et fournir de l'aide et les secours aux sinistrés lors des inondations (figure 8.13 et 8.14).

Figure 8.14 : Avez-vous déjà assisté à une inondation ?

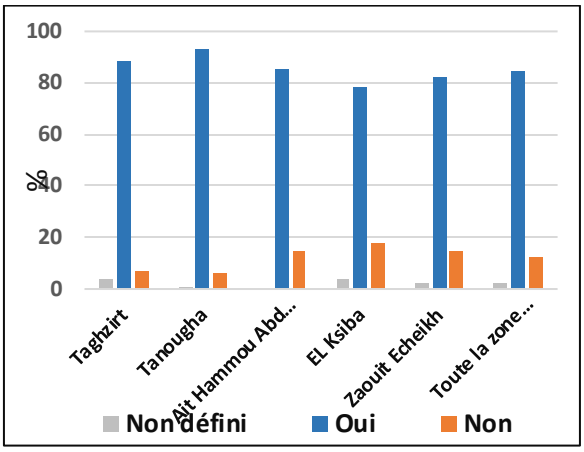
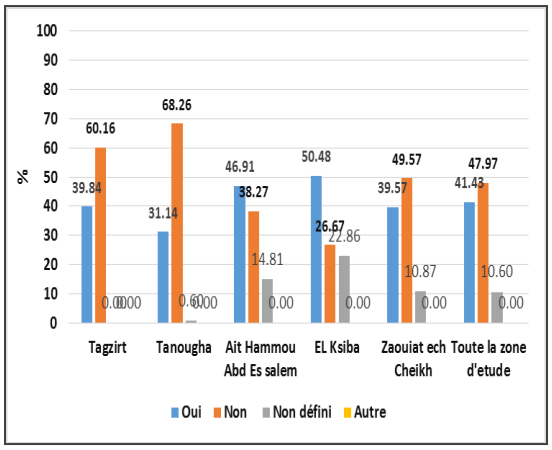
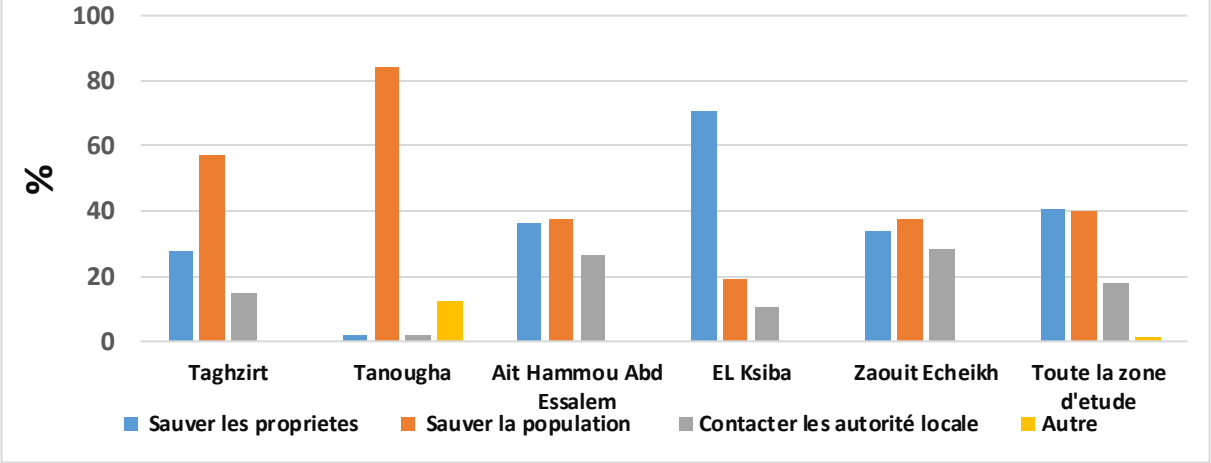


Figure 8. 13 : Est-ce que tu es intervenu pour aider lors des inondations ?



Le sauvetage des biens économiques est l'objectif primordial de toutes les interventions pour 40% de la population du "dir" de "Béni-Méllal ". 40% intervient pour sauver la population et les 18% restants ont choisi de contacter les autorités locales pour intervenir (Fig 8.15).

Figure 8. 15 : Quels sont les types de vos interventions lors des inondations.



La population, en raison de ses traditions religieuse et culturelle, est disposée à aider les sinistrés.

3. Les dégâts des inondations:

Les inondations enregistrées dans le "dir" de Béni-Méllal (426 crues entre 1970 et 2011(étude statistique des crues éclaire, chapitre 4) sont connues par leur intensité et leur torrentialité qui s'aggravent à cause de :

- L'absence de la prévention
- Le dysfonctionnement des lois d'urbanisme
- L'absence de sensibilisation,
- La vulnérabilité socio-économique.
- Ce qui génère des dégâts matériels et humains graves qui touchent toutes les composantes de l'espace : les vies humaines, les biens et les infrastructures publiques.

3-1 Les dégâts matériels:

Suite aux inondations ravageuses et fréquentes de nombreux dégâts matériels ont été enregistrés. D'après le travail de terrain on trouve : la destruction des maisons, la perte de matériel électroménager, la submersion des maisons par l'eau, l'effondrement des ponts, l'érosion hydrique, la dégradation de sols, l'endommagement des champs agricoles, la perte du bétail, la dégradation de l'infrastructure publique.

a) La destruction des maisons:

Selon 16% de la population, l'effondrement des maisons est parmi les conséquences des inondations surtout à Zaouit Echeik. Et 28% de cette population, considère que la cause est due à la densité de la population dans les quartiers menacés par ce phénomène, ainsi que l'absence des mesures de sécurité dans lesdites zones. Le douar d'Ait Hammou Abdessalem et centre de Tanougha viennent en deuxième position parmi les localités du "dir" menacées par ce type de dégâts surtout après les inondations de 2010 qui ont généré l'effondrement d'un grand nombre de maisons et la destruction de certaines. Pourtant ce type de dégâts est enregistré à El-Ksiba et il est lié à l'effondrement des maisons aux quartiers Ain Elkhier.A et Tanougha. Les mêmes dégâts sont également observés au niveau de chaabat Annoufi et chaabat Centre. Cependant ce type de dégâts reste très rare à Taghzirt (fig 8.16 et les photos planche photos 8.2).

Planche photos 8. 2 : Maisons détruites par les inondations dans le "dir" de "Beni Mellal".



Dégâts et destruction des maisons à Ait Hammou Abdessalem lors des inondations de l'Oued Echkounda en 2010



Dégâts et destruction des maisons par les crues de l'Oued Ikkour dans le quartier d'Ikkour (Zaouit Echiekh)



Maisons menacées par les crues des Chaabats Ain Elkhier Est et Ouest dans le quartier Elkhier (El-Ksiba)

b) La submersion des maisons et l'endommagement des équipements ménagers:

Ce type de dégâts arrive en deuxième position selon 12.3 % de la population de la zone d'étude, alors qu'il varie entre 11% à El-Ksiba, 17% à "Ait Hammou Abdessalem" et 20% à "Tanougha", et ne dépasse pas 5% à Aït Hammou Abdessalem et 10% à Taghzirt (fig 8.16). La population subit continuellement ce type de conséquences négatives des inondations. On remarque aussi que les villes d'El-Ksiba, Zaouit Echeik et les centre d'Ait Hammou Abdessalem et Taghzirt sont les localités les plus touchées par ce type de dégâts. Par conséquent la population locale reste la plus touchée et la plus menacée (manque de couvertures, perte de nourriture et d'électroménager…) ; ce qui la rend vulnérable (sans abri et souffrance du froid (fig 8.16) et les photos (Planche photos 8.3).

c) Les pertes de bétail:

Ce genre de dégâts vient en troisième position pour 11% de la population de la zone d'étude, avec 17% "Ait Hammou Abdessalem", 13% à "Taghzirt", 8% à "Elksiba",10% à "Zaouit Echeik" et 7% à "Tanougha"(fig 8.16). Un grand nombre de pertes de bétail a été enregistré à "Ait Hammou Abdessalem" et "Taghzirt",

Planche photos 8. 3 : Maisons submergées et endommagement des équipements ménagers.



L'élevage est considéré comme la principale activité économique. Par conséquent, les inondations entrainent des dégâts importants au niveau de l'agriculture et l'élevage dans les zones concernées (fig 8.16) et les photos (planche photos 8.4)

Figure 8. 16 : Les dégâts matériels.

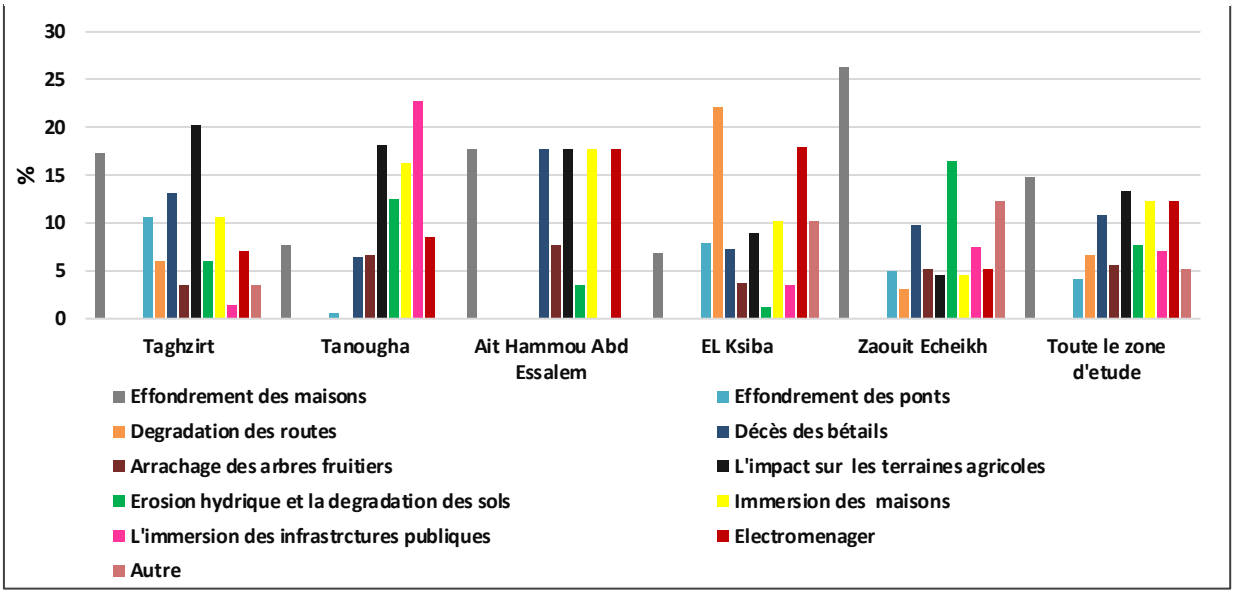


Planche photos 8. 4 : Exemple des pertes du bétail à cause des inondations.



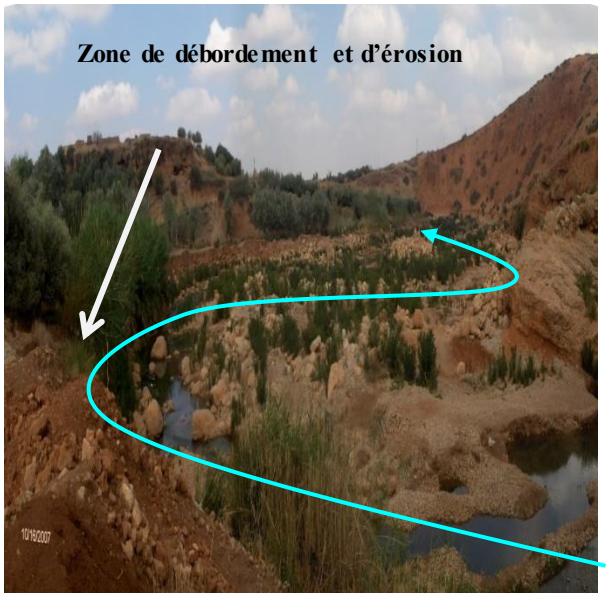
Les deux photos montrent les pertes d'animaux à Ait Hammou Abdessalem (Ovins et vache)

d) L'érosion hydrique et son impact sur les sols :

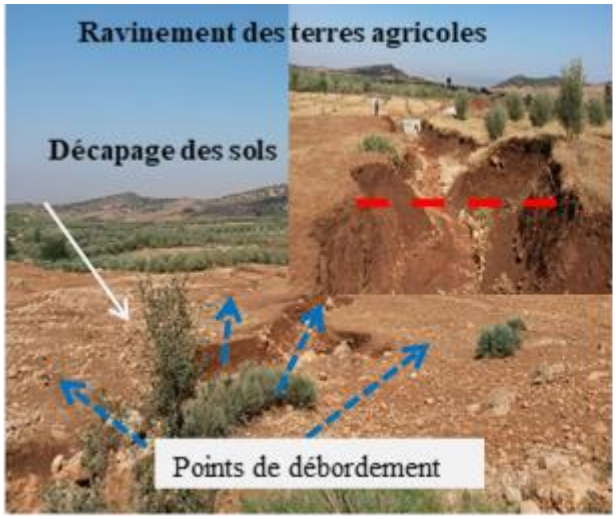
L'agriculture représente l'activité économique principale de la population du "dir" dans les zones urbaines et rurales. Le pourcentage de la population touchée par ce phénomène atteint 8% sur l'ensemble du "dir". La population de "Zaouit Echeik" reste la plus touchée par ce phénomène avec 18% et 15% pour "Tanougha". Ce pourcentage diminue pour atteindre 1% à "El-Ksiba", 3% à "Ait Hammou Abdessalem" et 6% à "Taghzirt". L'érosion provoque aussi l'envasement et colmatage des canaux d'assainissement, les ponts, les canaux d'irrigation et les canaux d'évacuation de l'eau de pluie dans les villes ; ce qui aggrave les inondations (fig 8.16) et les photos (Planche photos 8.5).

Planche photos 8. 5 : Influence des inondations sur les sols et les terrains agricoles.

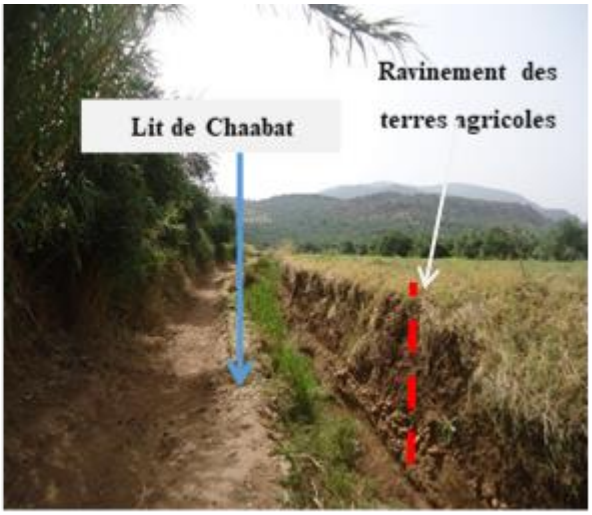




Dynamique fluviale de l'oued Derna lors des inondations et son influence sur les terres agricoles



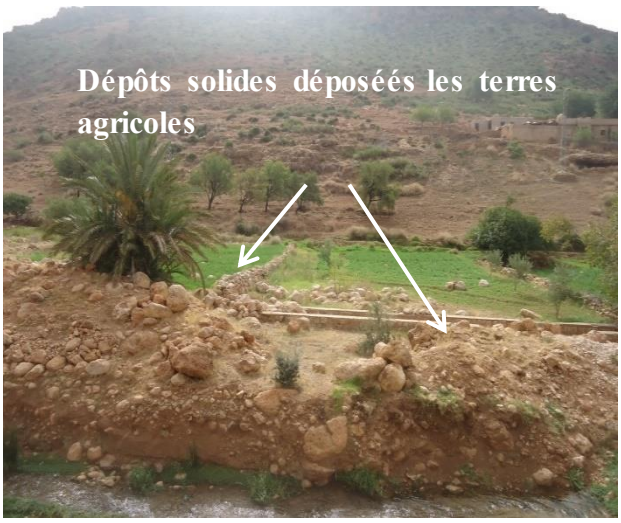
Erosion des sols et recule des berges de la Chaabat de Aqqa Noulabouche



Dynamique de la chaabat de Tanogha Centre lors des inondations torrentielles, ravinement et recule des terres agricoles



Influence de l'Oued Ikkour sur les terres agricoles



Dépôt rocheux des inondations sur les terres agricoles à Ait Hammou Abdessalem

De plus, la dynamique de l'érosion notamment celle des oueds et chaabats (sapement des berges) entraine la dégradation des terres agricoles avoisinantes. Ce type d'érosion connait une forte action lors des inondations, et touche principalement les basses terrasses cultivées. Ainsi 13% de la population du "dir" souffre des conséquences de ces phénomènes surtout à "Taghzirt", "Tanougha" et "Ait Hammou Abdessalem"(fig 8.16 et planche photos 8.5).

Les inondations impactent donc négativement non seulement la qualité des sols des terres cultivées, mais aussi les récoltes et les arbres fruitiers, surtout les oliviers. Ainsi 4.5 % de la population de la zone de l'étude confirme cet état de fait ; 7% de ce type de dommage a été enregistré à Hammou Abdessalem, 6% à Tanougha et 3% à El-Ksiba (fig 8.16**)** et les photos (Planche photos 8.5).

e) Submersion des infrastructures publiques:

Dans un contexte d'une urbanisation non contrôlée et le non-respect des plans d'aménagement, la population, les élus et même les institutions de l'Etat ont construit leur siège ou maison dans des zones exposées aux risques inondations: école et siège de la commune et à Tanougha, siège de l'Office des Eaux Potables à Zaouit Echiekh, transformateur électrique à El-Ksiba.

Le centre de Tanougha tient le premier rang avec un pourcentage de 27% pour l'ensemble de la collectivité. L'infrastructure touchée par les inondations est le terrain de sport, le siège de la commune. Des documents importants ont été endommagés, voire perdu comme les actes de naissance et de décès, les contrats d'achat et de vente, ainsi que les archives de la commune. Ajouter à cela les arrêts de travail des employés de la commune. (fig 8.16) et les photos (Planche de photos 8.6).

L'école centrale de Tanougha, traversée par la chabat d'Anoufi, n'a pas échappé à cette situation qui a entrainé, en 2010, l'effondrement du mur de l'école et une salle de cours, en plus des pertes des équipements à savoir les chaises et les tables. La vigilance du directeur de l'école a été essentielle, vigilance sans laquelle plus de 150 élèves auraient été victimes de ces

inondations. Quant à "El-Ksiba" elle n'a pas échappé à ce type de dommages, 3% des riverains affirme que l'ensemble des infrastructures des établissements ont été touché, tels que l'école de "Tarik Ibnu Zaid" et l'abattoir ainsi que le souk hebdomadaire. Les inondations de "Chaabat Aine El khier" Est et Ouest et Aqua Noualaboche entrainent de temps à autre les inondations de l'école de Traik Ibnu Zaid et ses environs (fig7.16) et les photos (Planche de photos 8.6) .

Le souk hebdomadaire de Taghzirt, lui aussi est exposé aux inondations. 8% de la population de "Zaouit Echeik"a confirmé l'endommagement des infrastructures, surtout la pharmacie, le centre de distribution de l'eau potable dans les quartiers "Ikkour" amont et aval et "Boujdour". En plus de la submersion du lycée "d'Oum Romane" ; a provoqué l'interruption des cours durant 5 jours.

Généralement, ces dégâts représentent 7.7% de la totalité des dommages dans le "dir" de "Béni-Méllal ".

Planche photos 8. 6 : Infrastructures publiques submergées par les inondations.





Vues sur l'influence de chaabat de Tanougha centre sur les espaces publiques





Influence des inondations de Chaabat Annoufi en 2010 sur l'école centrale de Tanogha





Influencé des inondations des chaabat traversant la ville d'El-Ksiba sur les infrastructures et les espaces publiques. Cas des inondations de chaabat de Ain Elklher Est et Ain Elklher Ouest.

f) Ravinement des routes et dégradation de leur qualité :

Les routes sont considérées comme le type d'infrastructure le plus important grâce au rôle primordial qu'elles jouent dans les activités quotidiennes de la population. Elles facilitent aussi les interventions des secours lors des inondations, ou des incendies de forêts. 7% de la population du "dir" considère que le réseau routier est touché par les inondations. Ce pourcentage varie entre les localités et atteint 24% à "El-Ksiba», 6% à "Taghzirt" et 3% "Zaouit Echeik". (fig 8.16) .

Les routes les plus touchées sont celles qui relient les localités voisines du marché hebdomadaire de Taghzirt, la route nationale n°8 qui traverse "Zaouit Echeik", en plus des routes dans les quartiers menant à l'école Tarik Ibn Ziad, et la route principale reliant El-Ksiba et Aghbala (fig 8.16 et les photos (planche photos 8.7).

Planche photos 8. 7 : Influence des inondations sur le réseau routier du "dir" de Beni Mellal.





Ravinement et dégradation de la route principale de Taghzirte par les inondations





Influence des inondations de "Aqqa' n Allabouche" en 2010 sur l'infrastructure routière





Influence des inondations sur la route nationale n°8 reliant la ville de «Zaouit Echeik" avec les ville de "Marrakech" et" Fes"

Influence des inondations sur les pistes, et l'exposition des citoyens aux risques.



g) L'effondrement des ouvrages :

Les ponts sont un autre type d'infrastructures, les plus touchés aussi par les inondations. Malheureusement, les ponts sont construits d'une façon qui ne prend pas en considération les effets des inondations ; ce qui peut provoquer l'effondrement de ces ponts lors de précipitations

intenses. Parmi ces ponts exposés aux risques, on trouve les ponts d'El-Ksiba, "Tanougha"et Zaouit Echeik.

Sur l'oued Derna à Taghzirt, on trouve trois ponts, le premier sur la route principale reliant Taghzirt aux localités et aux régions voisines, le deuxième reliant Douar Ait Hbibi au Douar foum Zaouiat et le troisième reliant le centre de Taghzirt au Douar Takhamist. Tous ces ponts se sont effondrés à cause des inondations de 2010 ; ce qui a rendu ces douars totalement isolés.

Le pont sur Oued Aghbalou nou'Hlima, qui relie El-Ksiba de Zaouit Echeik et à toutes les localités voisines, a été endommagé plusieurs fois. Quant à "Zaouit Echeik", qui se situe sur la route nationale n°8 et suite aux inondations de 2010, la circulation a été interrompue, surtout après l'effondrement du pont de l'"Oued Aubacha" et la submersion du pont qui se trouve sur l'Oued Ikkour. Cela a provoqué l'isolement de Zaouit Echeik, endommageant ainsi les activités commerciales (fig 8.16 et les photos (planche photos 8.8).

Planche photos 8. 8 : L'impact des inondations sur les ouvrages.





Influence des inondations sur le pont reliant les douars Takhamsit et Taghzirt sur l'Oued Derna.



Influence des inondations sur le pont reliant les douars foum Zaouiat et Taghzirt sur l'Oued Derna.



Influence des inondations sur le pont reliant Elksiba et Zaouit Echeik sur l'Oued de Aghbalou n'ou Hlima

Généralement, le "dir" de "Beni Mellal" est exposé aux inondations qui provoquent d'immenses dégâts matériels aussi bien au niveau des maisons, ponts et équipements ménagers et au niveau des terres agricoles.

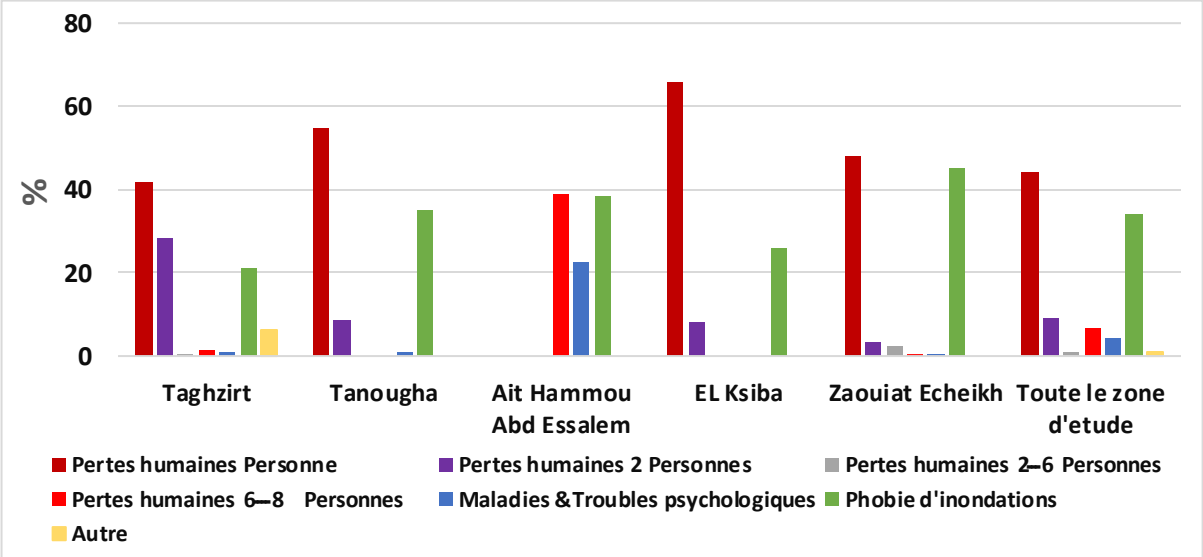


L'ouvrage sur la route nationale n° 8 reliant Zaouit Echeik et les grandes villes, Fès et Marrakech sur l'oued Ikkour.

3-2 Impacts psychosociologiques des inondations:

En plus des dégâts matériels, les inondations provoquent aussi beaucoup de perturbations et des états traumatiques chez la population, surtout parmi ceux qui perdent leurs proches ou des membres de leur famille. La plus grande mortalité a été enregistrée à "Ait Hammou Abdessalem" (7 personnes lors des inondations d'Oued Echkounda en 2010). En plus de cela, 22% de la population d'"Ait Hammou Abdessalem"a confirmé que plusieurs rescapés des inondations souffrent encore de plusieurs maladies psychiques post-traumatiques, et parmi eux, des patients sont traités à l'hôpital provincial de "Béni-Méllal " au service de psychiatrie. 34% de la population de la zone de l'étude souffre de phobies, soit 45% à "Zaouit Echeik, 38% à "Ait Hammou Abdessalem" 35% à "Tanougha", 25% à "El-Ksiba" et 20 % à "Taghzirt"(fig 8.17).

Figure 8. 17 : Impacts psychosociologiques des inondations.

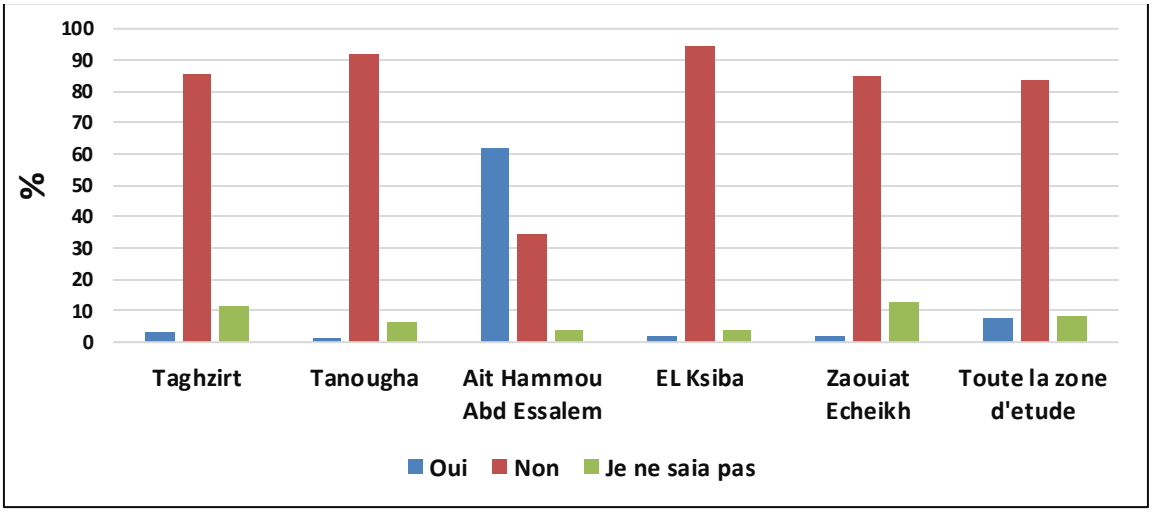


4. Le dédommagement des dégâts:

Vu les dégâts matériels et humains importants enregistrés dans le "Dir" de"Béni-Méllal ", la question se pose avec acuité en ce qui concerne les dédommagements des dégâts. En l'absence

de sensibilisation de la population sur les zones à risque par l'administration et la commune, la responsabilité de chaque acteur doit être déterminée pour dédommager les biens des citoyens touchés par les inondations. La constitution marocaine affirme que l'État soutient et supporte les citoyens dans le cas des catastrophes naturelles. Donc l'Etat doit restituer et dédommager les citoyens dans le cas des catastrophes et des inondations. D'après les enquêtes de terrain, 84 % de la population du"dir" de "Béni-Méllal" confirme qu'elle n'a pas été dédommagée après les inondations. Ce pourcentage atteint 94% à "El-Ksiba", 92% à "Tanougha" et 85% à "Taghzirt". Par contre à "Ait Hammou Abdessalem", 61 % de la population a été dédommagée suite aux inondations de 2010(fig 8.18).

Figure 8. 18 : Dédommagent de la population.



Si nous prenons l'exemple du douar "Ait Abdessalem", le dédommagement des maisons effondrées a été effectué i) par la construction de 16 maisons pour les familles qui ont perdu leur maison, ii) la construction d'autres maisons pour les gens résidant dans les zones exposées aux risques. Cette initiative s'inscrit dans le cadre d'un partenariat entre la municipalité de "Béni-Méllal ", la commune de "dir" El-Ksiba et plusieurs investisseurs. Quant aux dégâts relatifs aux récoltes et les pertes de bétail, ils ont été aussi dédommagés (fig 8.19 et les photos (planche photos 8.9)

Figure 8. 19 : Type de dédommagement des dégâts matériels.

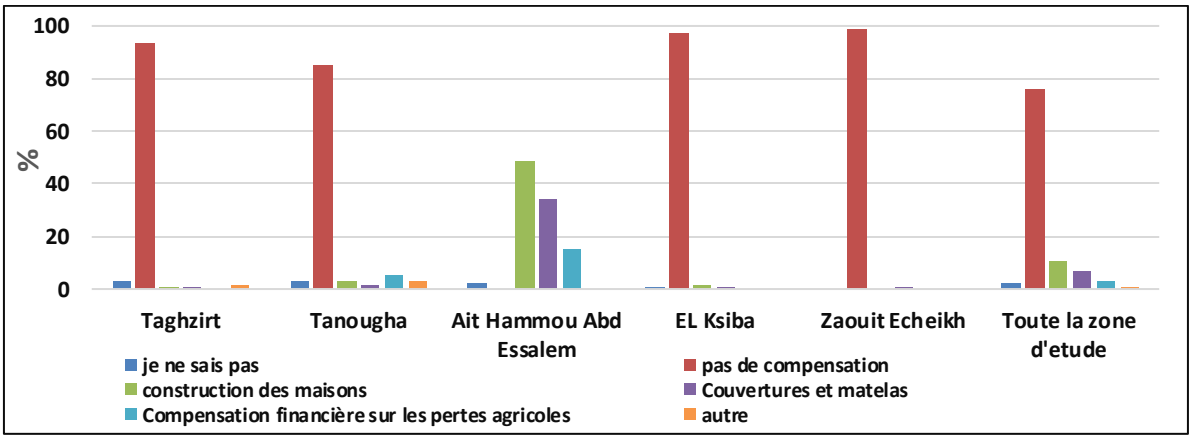


Planche photos 8. 9 : Maisons construites dans le cadre des dédommagements suites aux inondations de 2010 à Ait Abdeslam.



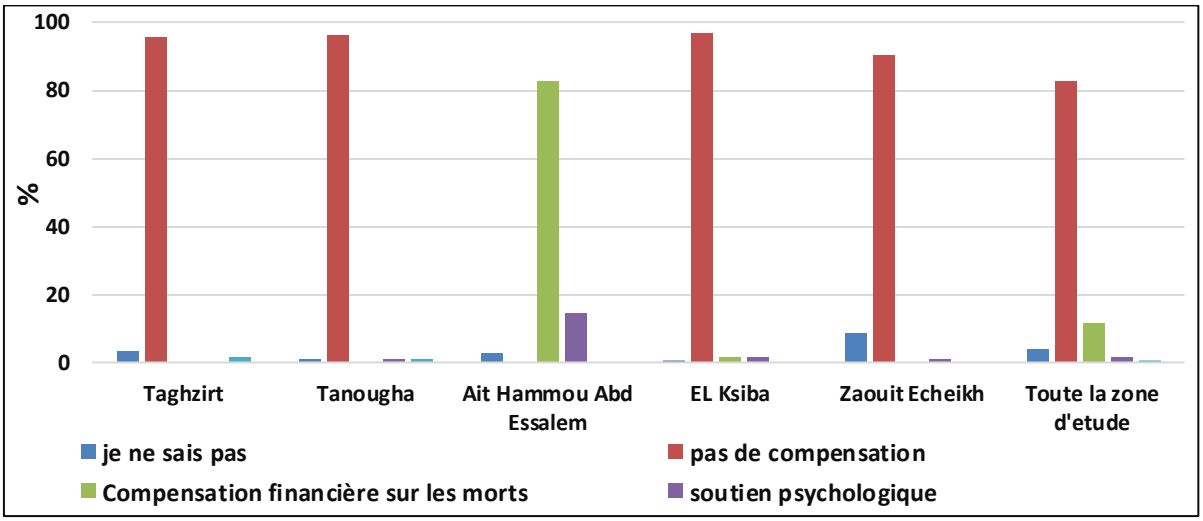
Centre socioculturel



Les 16 maisons construites et le terrain de sport

Pour les dédommagements humains, la municipalité de Béni-Méllal a donné une somme d'argent de 2500 dh pour chaque personne décédée, en plus du paiement du traitement post-traumatique à l'hôpital municipal de Béni-Méllal. A côté de cela, le douar a bénéficié des autres mesures entreprises par la municipalité en partenariat avec l'Union des Association d'Ait Echkounda et la collectivité du "dir" à travers la construction d'un centre socio-culturel à Ait Hammou Abdessalem.

Figure 8. 20 : Types de dédommagement sur les dègât humains.



A l'exception du Douar d'Ait Hammou Abdessalem", le reste de la population du dir, à savoir 90% de la population de la zone de l'étude, avoir confirmé qu'elle n'a reçu aucun dédommagement. Même au douar d'"Ait Hammou Abdessalem", 34% de la population a déclaré que les dédommagements étaient sélectifs ou insuffisants et que les maisons construites ne sont pas reliées aux réseaux d'assainissement et d'électricité. En effet, 7% des familles qui

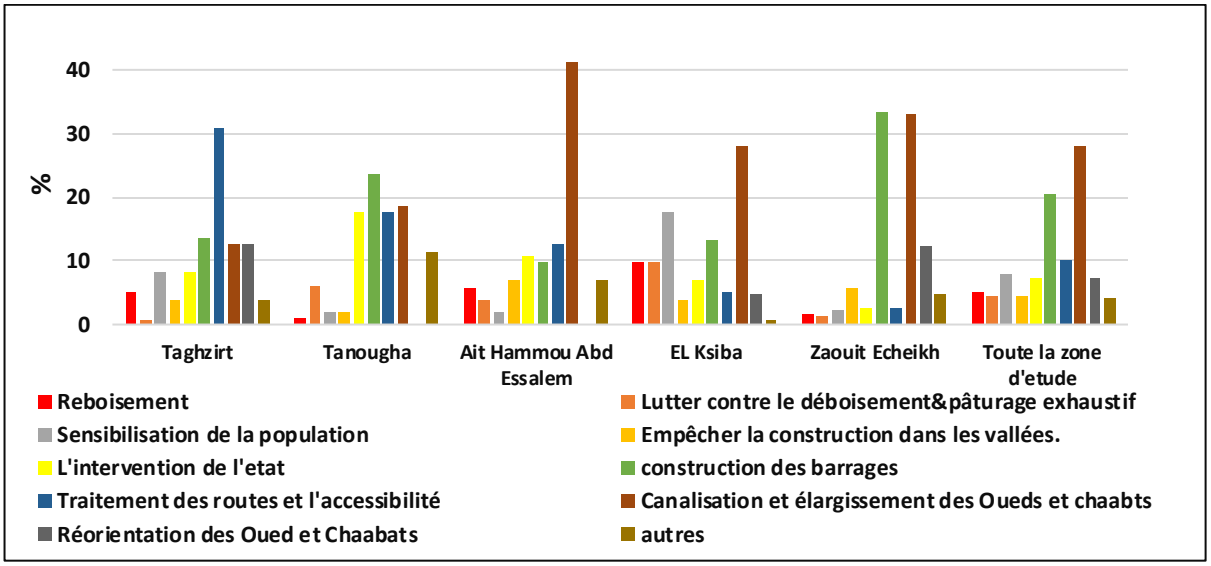
ont reçues ces maisons ont dû les quitter pour réparer et vivre dans leur ancienne demeure.

On peut conclure que la municipalité et les collectivités locales ne disposent pas d'un budget spécial pour le dédommagement en cas de catastrophes. Les dons ont été offerts par quelques investisseurs dans le secteur de l'immobilier ou par de simples bienfaiteurs, suite à la couverture par les médias de cette catastrophe.

5. Les solutions attendues et les aspirations de la population locale:

D'après les enquêtes de terrain et les différentes rencontres avec la population locale, cette dernière a proposé plusieurs mesures pour lutter contre les inondations. Parmi ces suggestions on peut noter l'élargissement des vallées et des Chaabats et la construction des barrages collinaires en amont des vallées. Selon les enquêtes, 27% de la population de la zone de l'étude a proposé ces solutions, 41% l'ont aussi demandé pour le douar "d'Ait Hammou Abdessalem", 33%à "Zaouit Echeik", 28% à "El-Ksiba", ET entre 12 et 18% à "Tanougha" et "Taghzirt".Par contre, 20% de la population du "dir" a suggéré la construction de barrages en amont des bassins versants, 7% de la population a proposé la réorientation des cours d'eau et 27% ont suggéré l'aménagement et le pavage des routes surtout à "Taghzirt", Tanougha et "Ait HammouAbdessalem"(fig 8.21).

Figure 8. 21 : Besoins et aspirations de la population locale.



On peut énumérer les autres attentes de la population comme suit :

- 7% demandé de bien sensibiliser la population aux différents types de risques, y compris inondation,
- 5% propose la nécessité de reboisement des bassins versants,
- 4% propose de minimiser le surpâturage et l'interdiction de construire dans les zones à risques.

Conclusion:

Le travail de terrain constitue un vrai outil pour le géographe pour identifier les besoins et attentes de la population locale. Comme, il permet de faire le diagnostic de toutes les problématiques spatiales tels que les risques des inondations.

Généralement et face à l'absence de toutes formes de prévention et des interventions efficaces ainsi que de projets d'aménagement luttant contre les inondations, la population poussée par sa situation socio-économique vulnérable à s'installer dans les zones exposées aux inondations, se trouve sans protection, devant la force dévastatrice des inondations

L'absence du rôle des institutions publiques au niveau de la prévention et de la gestion des inondations, pousse cette dernière à prendre l'initiative dans la lutte contre les inondations, en s'appuyant sur ses expériences, ses connaissances et ses relations sociales solidaires.

L'absence de toutes formes de prévision, d'aménagements et d'interventions efficaces, empêche les populations de sauver leurs biens et d'atteindre le développement nécessaire. En effet, la population subit des contraintes d'ordre économique et sociale qui les rendent très vulnérable dans un milieu également fragile. Ce qui entraine des dégâts sur les infrastructures, la perte de bétail, l'effondrement des maisons, les décès des personnes sans oublier l'impact psychologique lié à ces catastrophes naturelles. Ce qui rend la situation difficile pour la population est l'absence ou l'insuffisance de toutes formes de dédommagement de la part de l'Etat.

Dans ce cadre plusieurs questions peuvent être posées: Comment justifier l'absence de l'Etat dans ce domaine? Est-ce que l'Etat n'a pas promulgué des lois et des statuts ? Elle a aussi, mis en place plusieurs institutions locales et régionales pour l'aménagement du territoire. Malgré les inondations fréquentes dans le "dir" de Béni-Méllal et dans le Maroc entier, l'État n'a pas pris les mesures nécessaires pour la lutte contre ce phénomène ? Si l'Etat a pris ces mesures, comment justifier l'absence de ces mesures dans le "dir" de Béni-Méllal? Quelles sont les mesures prises par les institutions pour organiser le secteur de l'urbanisme ? Comment et pourquoi les constructions et l'extension urbaine continuent dans les zones exposées aux inondations ?

Nous allons essayer de répondre à toutes ces questions le long du chapitre 9.

Chapitre 9 : La politique de gestion des inondations : acteurs, institutions et réglementation:

Sommaire

Introduction:

I) Méthodologie de travail : enquêtes auprès des acteurs:

II) Dépouillement et outils utilisés:

III) Les politiques publiques et la gestion des risques inondation:

1) La politique des barrages:
2) La loi sur l'eau:
3) Plans national de protection contre les inondations:
4) Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (CSEC):
5) La Direction de la Météorologie Nationale (DMN):
6) Les lois d'urbanisme:

IV) La gestion du danger des inondations au niveau régional:

1) L'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Ebia(ABHOR):
2) Le Haut Commissariat du Eaux et Forêt et la Lutte contre la Désertifications, Béni-Méllal:
3) L'Agence Urbaine de Béni-Méllal:
4) La Directions Régionales de la Protection Civile et ses centres de secours:
5) La Direction Régionale de la Santé (DRS):
6) La Province de Béni-Méllal:

V) La gestion du risque des inondations au niveau local:

1) Les collectivités locales:
2) Les documents d'urbanisme:
3) Les associations locales:

Conclusion:

Introduction :

Les inondations sont considérées parmi les phénomènes naturels les plus fréquents au Maroc en général, et dans la région de Béni-Méllal khénifra en particulier. Ceci est dû à l'interaction entre les facteurs naturels (la dégradation de la couverture forestière, les changements climatiques, les précipitations concentrées…) et les facteurs humains (installation de la population dans les zones inondables, déboisement, agriculture…). Ces inondations ont des conséquences directes sur les installations urbaines et l'infrastructure sans oublier les dégâts humains et les effets traumatiques qui restent gravés dans la mémoire de la population sinistrée. Ce qui impose des investissements importants et une politique de gestion intégrée afin de de lutter contre ce fléau.

Pour faire face à cette situation, le législateur marocain a promulgué plusieurs lois et plans (schémas), ainsi que la mise en place de plusieurs établissements nationaux, locaux et régionaux afin de contrôler et gérer l'eau d'une manière équilibrée. Ceci pour éviter les effets négatifs dans le cas de rareté ou d'abondance.

On va essayer dans ce chapitre d'étudier la problématique des inondations dans sa dimension nationale, régionale et locale à travers la réglementation, les schémas et les institutions qui s'occupent de la question en générale et de la gestion des risques inondations en particulier. Sans oublier le rôle fourni par les associations dans ce domaine. Dans ce chapitre, nous allons essayer de répondre à des questions bien précises, telles que : quelles sont les institutions chargées de la gestion des inondations au niveau national, régional et local ? Est-ce que le Maroc posséder une stratégie nationale, régionale et locale pour lutter contre le phénomène des inondations ? Quel est le degré de coordination entre les différents acteurs intervenant dans la gestion des risques inondations ? Comment se font les interventions et qui est le responsable de cette coordination ? Comment les documents d'urbanisme traitent la question des risques ? Quel est le rôle de la société civile ?

I) Méthodologie de travail : enquêtes auprès des acteurs:

Pour répondre à ces questions et faire un diagnostic général du cadre juridique et les rôles joués par les institutions, nous avons étudiés, les résultats, issus des questionnaires destinés aux différents acteurs locaux ;

526 questions concernant la problématique des inondations, sous forme de 12 questionnaires destinés aux acteurs locaux concernée par cette problématique. Le tableau suivant (tableau 9.1) nous renseigne sur le nombre de questionnaire et les acteurs à qui est adressé le questionnaire (annexe 10.6, 10.7 ;10.8, 10.9 ,10.12, 10.13, 10.14, 10.15,10.16 et10.17)..

Tableau 9. 1 : Distribution des questionnaires selon les acteurs.

Acteurs	Nombre de questionnaires
Institutions publiques régionales	8
Associations	27
Collectivités locales	5
Secteur privé (bureaux d'études)	5
Population locale	811
Total	856

1. Les collectivités locales :

Un questionnaire de 44 questions (annexe 10.2) est destiné aux collectivités locales et rurales dans le dir. Il cible quatre collectivités (Taghzirt, Tanougha, "dir" El-Ksiba, El-Ksiba, Zouiat Echiekh). Le but est de comprendre :

- Leur manière de gérer ces inondations surtout au niveau du financement et d'équipement, en plus du diagnostic et des projets d'aménagement contre les inondations
- S'intéresser à la recherche et la coopération entre les opérateurs que nous avons ciblés par nos questions
- S'occuper aussi de l'extension urbaine et l'occupation du domaine forestier et hydraulique,

2. L'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia:

Le questionnaire adressé à cette agence contient 39 questions (annexe 10.1), dont la majorité concerne les partenaires du bassin hydraulique dans la gestion des ressources en eau. Et la coopération entre eux sachant que l'agence est responsable de la gestion des inondations en particulier d'un point de vue des études et d'orientation comme elle contrôle les projets dédiés à la lutte contre les inondations.

3. L'Agence Urbaine de Béni-Méllal:

Cette agence est responsable de la réalisation des documents d' urbanismes et le contrôle de la croissance du tissu urbain et les agglomérations au "dir" d'Atlas de Beni-Mellal. C'est pourquoi qu'on lui adresser un questionnaire contenant 43 questions (annexe 10.8) concernant l'extension urbaine en relation avec les documents d'urbanisme, de même, les problématiques d'inondations ainsi, que le degré de la coopération entre cette agence et les autres partenaires.

4. La Direction Régionale des Eaux et Forêts et la Lutte contre la Désertification de Béni-Méllal Khnéfra:

Grâce au rôle primordial que joue la couverture végétale dans le fonctionnement hydrologique des Oueds, nous avons ciblé cette direction pour remplir un questionnaire de 36 questions (annexe 10.11). Notre but est de trouver des réponses relatives aux facteurs de dégradation de la forêt et aussi à l'application des différentes lois et circulaires qui protègent le domaine public forestier. Nous voulons également via ces questionnaires connaitre les actions menées par cette direction pour lutter contre les inondations.

5. La Direction Régionale de la Météorologie de Beni-Mellal :

Un questionnaire de 40 questions (annexe 10.10) Adressé à cette direction. Notre objectif est de connaître la politique préventive de cette direction et le degré de la diffusion de l'information sur le risque à l'échelle régionale.

6. La Délégation Régionale de l'Agriculture de Beni-Mellal :

Le secteur Agricole est le secteur qui subit aussi les conséquences néfastes des inondations qui impactent négativement les produits agricoles du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal. C'est dans ce sens nous avons ciblé cette institution via un questionnaire de 36 questions (annexe 10.12). Notre objectif est de connaitre les différentes actions concrètes menées par cette direction pour minimiser les dégâts en matière de pertes des terrains et produits agricoles.

7. La Direction Régionale de la Protection Civile de Béni-Méllal(DRPC):

La DRPC est un organisme qui joue un rôle fondamental au niveau du sauvetage de la population et leurs biens lors des dangers des inondations ; de même pour les soins d'urgence et l'évacuation de la population vers des zones sécurisées. Un questionnaire de 53 (annexe 10.9) questions est destiné à cette institution pour bien connaitre ses interventions, ses potentialités, les potentialités logistiques, ses outils de prévision, sa coopération et ses techniques de communication, utilisés dans le but de limiter les dégâts relatifs aux inondations.

8. La Province de Béni-Méllal:

La province de Béni-Méllal a un rôle primordial en matière de communication, intervention et coordination entre les divers acteurs surtout lors des inondations qui menacent le "dir" de Béni-Méllal. Pour cela, un questionnaire de 52 questions (annexe 10.15) est destiné à cette province pour identifier son rôle dans le domaine des risques inondations.

9. La Délégation Provinciale de la Santé de Béni-Méllal :

Vu que les zones inondables nécessitent des interventions sanitaires pour donner des premiers soins d'urgence aux personnes sinistrées, nous avons également ciblé cette délégation. Un questionnaire de 19 questions (annexe 10.13) lui a été adressé pour bien identifier les différentes mesures menées dans ce domaine.

10. Secteur privé (bureaux d'études):

Grâce au rôle que peut jouer le secteur privé dans la gestion de l'espace et surtout en matière d'aménagement urbain et rural, un questionnaire de 27 questions a été adressé aux différents acteurs de ce secteur (5 bureaux d'études), notre objectif est de savoir à quel point ces bureaux sont capables d'entamer des études tout en prenant en considération la problématique des inondations et les études hydrauliques dans les projets d'aménagement (annexe 10.17).

11. Associations de la société civile:

Vu les rôles progressifs que jouent les associations dans le domaine de sensibilisation, nous avons adressé un questionnaire de 58 questions (annexe 10.16). A travers ce questionnaire, nous voulons connaitre le travail associatif et ses contraintes, tels que le soutien et les formes d'intervention de la part de la société civile au niveau de la sensibilisation sur les conséquences négatives de ce fléau naturel. Dans ce cadre 27 questionnaires ont été destinés à 27 associations

(Annexe 10.18) répartis sur 5 collectivités territoriales :

- La collectivité d'El-Ksiba: 5 questionnaires.
- La collectivité de "dir" El-Ksiba: 10 questionnaires.
- La collectivité de Tanougha: 3 questionnaires.
- La collectivité de Taghzirt: 4 questionnaires.
- La collectivité de Zaouit Echiekh : 5 questionnaires.

Il faut aussi noter qu'il existe plusieurs associations dans notre zone d'étude, mais nous avons choisi celles qui sont actives et travaillent dans le domaine de l'environnement. Nous avons considéré également le caractère de la diversité, socioprofessionnelle et culturelle de ces associations afin de mieux cerner la problématique posée par les inondations (annexe 9.11).

12. La population locale:

Grâce aussi au rôle important que la population peut jouer dans la lutte contre les inondations, la connaissance de sa perception à l'égard de ce risque naturel est plus fondamental. Car cette dimension sociale du risque va nous permettre de bien saisir les différentes perceptions de la population locale sur cette question du risque. Et delà, souligner aussi la culture du risque chez cette population. C'est dans ce sens qu'un questionnaire de 70 questions (annexe 10.6) a été adressé aussi à la population locale.

II) Dépouillement et outils utilisés

Le dépouillement et l'analyse des informations obtenues s'est fait à partir du logiciel de traitement et d'analyse statistique, SPSS 12. L'étape préalable a été le codage des réponses dans le format du logiciel (annexe 10.19) ainsi que l'identification statistiques des variables, car au moment de la saisie, notre préoccupation majeure est d'assurer la simplicité des tris (Chardon, 1981). Les résultats obtenus ont fait l'objet de représentation graphique avec le même logiciel ou bien avec Excel.

III) Les politiques publiques et la gestion des risques inondation :

1. La politique des barrages :

Depuis l'Independence, le Maroc a opté pour l'agriculture comme un levier de développement économique et social global. En effet, l'état à équiper plusieurs périmètres irrigués dans le cadre de l'aménagement hydro-agricole à travers une politique basée sur la construction des barrages. Cette politique permet de contrôler l'eau et ses effets parfois néfastes, à récupérer les eaux de surface pour des périodes de sécheresse, de créer un équilibre entre les zones de carence en eau et vice-versa. Cette stratégie permet de stocker des milliards de mètres cubes dans diverses régions du Maroc. Aujourd'hui, le pays dispose de 130 barrages d'une capacité de 17.2 milliards m³ (l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia (ABHOR). L'oued Oum Er Rbia dispose de 15 grands barrages d'une capacité de 5.1 milliard de m^3. Aussi d'un système de canalisation d'eau d'une longueur de 600 km. L'ABHOR envisage aussi la construction de plusieurs autres barrages pour lutter contre les inondations, dans ce cadre on compte plus de 100 localisations de petits et moyens barrages (ABHOR, 2015).

Cependant, selon (ABHOR, 2015), le bassin de l'Oued Derna compte plusieurs futurs petits et moyens barrages afin de lutter contre les inondations fréquentes. Aussi pour bien contrôler l'eau

et renforcer le système de l'irrigation dans cette zone, d'autres barrages d'une grande capacité ont été proposés (tableau 9.2) sur lesquels des études ont été déjà réalisés :

Tableau 9. 2 : Barrages en cours de réalisation.

Barrage	Oued	(mNGM)	Volume (Mm3)	Volume Mm3/an	Objectifs
Taghzirt	Derna	1090	84.8	40.0	Lutter contre les inondations et le renforcement des systèmes d'irrigation existant
Tiogahza	Tassaout	1545	138.7	27.0	Renfoncement de la capacité de stockage d'eau
Ouzoud	Ouzoud	1035	16	8	Lutter contre les inondations et création du micro irrigation
Ouintaz	Ouintaz	1140	3	2	Modernisation et renforcement du système d'irrigation

Source : ABHOR, 2015

Cette politique menée par le Maroc a visé non seulement l'irrigation d'un million d'hectares et la production de l'énergie hydroélectrique, mais aussi la lutte contre les inondations. Cependant, les inondations récentes ont soulevé beaucoup de questions quant à l'efficacité des barrages pour résoudre ce problème. Surtout dans les petits bassins et les chaäbats qui provoquent des inondations catastrophiques dans les différentes parties du territoire et spécialement dans la zone du dir, comme c'est le cas du "dir" de Béni-Méllal.

2. La loi sur l'eau:

Depuis le début du 20e siècle jusqu'à nos jours, le Maroc a promulgué plusieurs lois sur l'eau. La première loi a été promulguée en 1914, c'est le dahir chérifien proclamé le 7 Chaaban 1332 (1er juillet 1914) concernant les biens publics en eau. Cette loi a été complétée par deux autres dahirs celui de 1919 et celui de 1925.

2-1 La loi 10-95:

Avec l'évolution de l'État marocain, d'autres lois ont été promulguées telle que la loi sur l'eau 10.95 (dahir numéro 1.15.154 promulgué le 18 Rabiaa Awal 1416 (18 aout 1995). Cette loi vise l'élaboration d'une politique nationale sur l'eau qui prend en considération l'évolution des ressources en eau d'un côté et les besoins naturels de l'autre. Cette loi a pour objectifs :

- Une planification homogène et flexible pour l'utilisation des ressources en eau au niveau des bassins hydrauliques du pays.
- La gestion des ressources hydrauliques dans le cadre d'une unité géographique qui est le bassin versant.

En effet, l'article premier de chapitre 2 concerne la détermination et la délimitation du domaine public hydraulique (DPH) soit des eaux de surface ou souterraines. De même pour les lacs, les étangs et les rivages avec une largeur de 6 mètres sur les cours d'eau ou une section de cours d'eau défini. Avec une largeur de deux mètres sur les autres cours d'eau ou section d'eau, ce qui signifie que cette loi met fin à l'usage ou l'appropriation de ces domaines publics d'une

façon ou d'une autre.

Dans le chapitre III, cette loi vise la conservation et la protection du (DPH), donc il est interdit d'anticiper de quelque manière que ce soit, notamment par des constructions dans les fonds des cours d'eau temporaires ou permanents, des séguias, des lacs, aires que les limites d'eau prises des aqueducs, des conduites d'eau, des canaux de navigation, d'irrigation ou d'assainissement faisant partie du domaine public hydraulique. Aussi, il est interdit de placer à l'intérieur des limites du domaine public hydraulique tous les obstacles embâcles la navigation, l'écoulement libre des eaux et les circulations...

Dans le chapitre XI, on trouve tout ce qui est en relation avec la lutte contre les inondations, on constate qu'il est interdit d'installer, sans autorisation, sur les terrains submersibles des digues, levées et autres aménagements susceptibles de gêner l'écoulement des eaux d'inondation, sauf pour la protection des habitations et propriétés privées attenantes. Dans l'article 95, les digues, remblais, construction ou autres ouvrages quel que soit leur statut juridique et qui gênent l'écoulement des eaux et le champ des inondations peuvent, sur décision de l'Agence du Bassin Hydraulique, faire l'objet de modifications ou suppression moyennant le paiement d'indemnités à titre de dédommagement. Dans l'article 96, si l'intérêt public l'exige l'Agence du Bassin d'Hydraulique peut exiger aux propriétaires riverains des cours d'eau de procéder à la construction de digues destinées à la protection de leurs biens contre les débordements des cours d'eau.

Dans la fin de l'article 97, il est mentionné qu'il est interdit d'effectuer des plantations, des constructions ou laisser des dépôts entre les cours d'eau et les murs de protection construites en bordure immédiate de ce cours d'eau. D'après cela, cette loi est destinée à la protection du domaine public hydraulique, la population et ses biens. Cependant, on relève un certain nombre de non-respect de cette loi puisqu'on remarque une transgression qu'on remarque nettement la transgression du domaine public hydraulique pour construire ou utiliser les eaux, De même, la loi définie Le DPH des cours d'eau ou les sections de cours d'eau sur une largeur de 6 mètres ce que la population ne respecte pas sur le terrain. Il est temps de faire respecter la réglementation pour pouvoir maitriser les infractions commises par la population riveraine. Ainsi que l'adoption de nouveaux concepts compatibles avec le changement climatique telle que l'adaptation des schémas de prévision contre les inondations et la réalisation d'un atlas des zones inondables. En effet, seulement quelques textes de cette loi promettent son application, ce qui la rend paralysée contre là sur-explication des eaux de toutes sortes. En ce qui concerne les mesures contre les inondations décrites dans le deuxième chapitre de cette loi, elles semblent être inefficaces surtout lors des inondations que le royaume a connues en 2014. De ce fait, la promulgation d'une nouvelle loi est devenue nécessaire pour répondre efficacement aux défis concernant la protection contre les inondations.

Le ministère chargé de l'eau et de l'environnement a bien répondu à cette contrainte en proposant une nouvelle loi qui est la loi 36-15 sur l'eau.

2-2 La nouvelle loi sur l'eau : la loi 15-36 :

La loi n°15-36 se compose de 162 articles repartis sur 12 chapitres :

1) Sujet, principes généraux, définitions

2) La structuration et la délimitation du domaine publique hydraulique
3) L'usage et l'exploitation du domaine public hydraulique,
4) L'évaluation et l'exploitation des eaux pluviales,
5) La gouvernance et la gestion de l'eau,
6) La planification hydraulique,
7) La conservation de l'eau,
8) La gestion des dangers liés à l'eau,
9) Les systèmes informatiques en eau
10) La police de l'eau, infractions et penalties
11) Contraintes transitoires et conclusives concernant les nouveaux traits de ce projet à l'échelle :

3. Plans national de protection contre les inondations:

L'aggravation du phénomène des inondations au Maroc et ses conséquences et dommages matériels et humains durant les dernières années ont poussé l'État marocain à mettre en place plusieurs plans et études qui ont pour but de lutter contre cette catastrophe naturelle. Parmi ces plans, on cite le plan national de la protection contre les inondations de 2002 ; il est considéré parmi les plans les plus importants destinés à lutter contre les inondations. Il comprend plusieurs études qui déterminent les zones menacées par les inondations (Atlas des zones Inondables). Ces études ont été lancées après les inondations d'oueds Ourika au Haut Atlas de Marrakech en 1995 qui ont causé la mort de 200 personnes, et plus de 88 millions de dirhams de dégâts et la destruction de plusieurs maisons et terrains agricoles. Par conséquence, le secteur touristique qui est la base de l'économie de la vallée a été aussi endommagé. Ce qui a poussé le gouvernement à demandé au Japon de réaliser un plan de prévision anticipée pour la lutte contre les inondations dans le cadre d'un don de la part du gouvernement japonais au Maroc.

Le reste du Maroc a été couvert par des études de protection contre les inondations pour distinguer les régions inondables selon le degré du danger. L'étude a recensé plus de 390 sites inondables, 13% d'entre eux sont extrêmement dangereux, 40% d'une gravité moyenne, et 130 sites sont menacés par des inondations de degrés différents, parmi eux 52 sites à Béni-Méllal. Mais, cette étude a seulement localisé les régions inondables sans proposer les mesures adéquates qui bannissent la construction dans les zones menacées, sans avoir une base pour la prévision et sans être accompagnées par les PPRI.

4. Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (CSEC):

Conseil créé par décision royale en 1981, le CSEC verra ses prérogatives mieux délimitées avec la loi 10-95 sur l'eau. L'article 3 du chapitre IV note que la création d'un commissariat sous le nom du "CSEC" qui se charge de préserver les orientations globales de la politique nationale dans le secteur de l'eau et du climat. Il vise à :

- Contribuer à élaboration de la stratégie nationale pour bien améliorer la connaissance du climat et le contrôle de ses affects sur les ressources en eau.
- La mise en place d'un schéma national sur l'eau, et contribuer à un développement intégré des ressources en eau pour les bassins hydrauliques, et surtout la distribution de l'eau, les secteurs utilisateurs et les diverses régions du Maroc, plus les opérations

d'exploitation et de protection de l'eau.

Ce conseil se forme de deux types de membres : les représentations de l'Etat et les utilisations de l'eau :

- La représentation de l'État :

- Les Agences des Bassins Hydrauliques (ABH).
- L'Office National de l'Eau et Electricité (ONEE).
- L'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole (ORMVA).

- Les usages de l'eau :

- Les conseils des Provinces.
- Les représentants des institutions d'enseignement supérieur et de la recherche scientifique dans le domaine de l'eau.
- Les représentants de l'expertise nationale au sein des associations professionnelles et scientifiques dans l'ingénierie hydraulique et tous les autres opérateurs dans le secteur.

Ce conseil a proclamé aussi plusieurs recommandations concernant la protection de l'eau contre la pollution et sa distribution sur les secteurs selon l'entraide et la solidarité entre les régions. Cependant, les dernières inondations sont exclues de cette approche malgré l'intérêt des médias nationaux et internationaux.

5. La Direction de la Météorologie Nationale (DMN):

Dans les dernières années, le Maroc a connu comme tous les pays du monde, des changements climatiques confirmés par des experts nationaux et internationaux. Ce qui a provoqué des phénomènes hydrauliques extrêmes accompagnés par des inondations de plus en plus intenses et même des périodes marquées par des années sèches. Pour faire face à cette situation alarmante, le Maroc a créé la DMN pour la prévision météorologique afin de prévenir et alarmer les populations dans les zones menacées par des risques hydrologiques avant les catastrophes, et aussi dans le but de limiter les dégâts directs ou indirects. Cette direction, durant les dernières années a pu diffuser les informations climatiques et métrologiques au grande publique, afin de limiter les catastrophes, surtout après les précipitations et l'augmentation anormale du niveau des cours d'eau, cela est dû à un système automatique qui prévoit les précipitations attendues dans un territoire donné. Ces opérations de prévision au Maroc se passent par des phases différentes qui commencent par la DMN, ensuite par les stations régionales pour la collecte des informations avant de diffuser les précipitations prévues qui seront responsables d'une telle catastrophe, ensuite contacter les services et les autorités concernées.

Mais, le problème c'est que les stations terrestres qui donnent les informations concernant la quantité des précipitations ne sont pas installées sur tout le territoire marocain. La province de Béni-Méllal, par exemple, ne dispose que d'une seule station météorologique à la plaine du Tadla, et les autres unités spatiales comme la montagne et le "dir" ne sont pas concernés. Ce qui pose diverses problématiques à propos des données météorologiques dans ces zones, et surtout que les inondations se provoquent surtout dans la région du "dir" et les autes régions montagneuses comme nous l'avons déjà notée (chapitre 3 et 5). Ajoute à cela, la faible coordination entre le service de la météorologie et les autres acteurs territoriaux (travail sur terrain 2015). En plus les annonces de prévision ne sont pas efficaces dans les zones reculées

et isolées (Ait Hammou Abdessalem, Tanougha, Taghzirt…).

6. Les lois d'urbanisme:

Les différents documents d'urbanisme (SDAU, PA) jouent un rôle important dans L'organisation de l'espace, vu l'extension urbaine et la croissance démographique que connaissent les villes et les agglomérations urbaines dans les pays en voie de développement. Pour faire face à cette dynamique urbaine, l'application d'une politique adéquate aux conditions économiques, sociales et environnementales est nécessaire. L'urbanisme pose plusieurs défis au niveau de la localisation des villes et ses relations avec les autres domaines. Aussi, vu sa relation avec les besoins quotidiens des personnes et les besoins de base, ceci exige une gestion et des décisions adéquate, pour ne pas reproduire des espaces urbains menacés par des endommagements et des risques naturels. Dans ce cadre, la loi d'urbanisme promulguée le 17 juin 1992 propose une base juridique pour mieux contrôler le secteur de construction et ses implications au sein des cercles urbains et des agglomérations rurales. En effet, le législateur marocain a promulgué divers textes juridiques compatibles avec les changements économiques et sociaux des agglomérations. Les articles 2 et 3 de cette loi soulignaient l'interdiction de la mise en place d'un lotissement immobilier sans une autorisation préalable. En plus de la loi sur l'urbanisme, l'État a procédé sur divers niveaux pour garantir un développement équilibré de l'espace équipé par des conditions de sécurité contre les dangers naturels.

Toute cette législation n'arrive pas à lutter efficacement contre les dangers naturels aggravés par une extension urbaine non contrôlée. Sachant que la plupart des villes s'agrandissent d'une manière aléatoire à travers l'occupation illégale de l'espace forestier et du domaine public hydraulique ce qui a provoqué l'extension et l'aggravation des risques des inondations d'une façon générale.

IV) La gestion du danger des inondations au niveau régional:

1. L'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Ebia(ABHOR):

La loi de l'eau 10-95 est parmi les lois les plus importantes qui ont apporté de nouvelles orientations dans le domaine de la gestion du secteur hydraulique au Maroc. Elle comprend divers articles et chapitres, Avec cette loi, les 9 Agences des bassins hydrauliques ont été créés à l'échelle du Maroc. Parmi ces agences, on peut citer l'ABHOR qui couvre une superficie de 48000 km², 7% du territoire national et s'étale sur 16 provinces. Cette agence Se charge de:

- L'élaboration d'un schéma directeur pour l'aménagement intégré des ressources en eau du bassin de l'oued Oum Er Rbia,
- L'exécution du schéma de l'aménagement des ressources en eau
- Fournir les aides financières et les services techniques pour les personnes publiques et privées sur demande, pour but de protéger les eaux contre la pollution, l'aménagement et la gestion du domaine hydraulique publique.
- L'interdiction des permis et les avantages privés concernant l'utilisation du domaine hydraulique publique.
- La mise en place de toutes les mesures des niveaux d'eau et les études hydrauliques et hydrogéologiques concernant la planification et la gestion aux niveaux qualitatif et quantitatif.

- Proposition est exécution des procédures nécessaires, surtout au niveau de l'organisation pour fournir à la population l'eau potable le cas de décadence.
- La mise en place des infrastructures nécessaires pour la lutte contre les inondations.

Comme nous l'avons déjà signalé, une des fonctions de l'agence est la mise en œuvre des études et schémas pour lutter contre les inondations. Dans ce cadre, cette agence a élaboré plusieurs études dans sa zone d'action, elle a identifié 130 sites inondables dont 52 sont dans la province de Béni-Méllal. Cette étude a couvert 17 villes et centres de la province de Béni-Méllal, et s'est déroulée en 3 étapes selon le tableau suivant :

Tableau 9 .3 : Etudes réalisées par l'ABHOR dans le "dir" de Béni-Méllal.

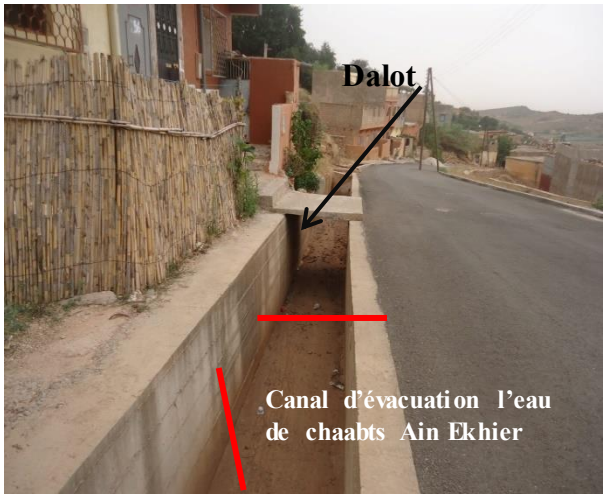
Etude	Commune	Oued et Chaabat	Bureau d'étude	Proposition d'aménagement
Marché N°21/2009	El-Ksiba	Chaâbat ain El kheir Ouest	Étude ABHOER 2004 NOVEC 2009	- Les études Réalisées par l'ABHOR ont touché deux chaabats de Ain Elkhier, mais le problème d'inondation reste c toujours.
Marché N°21/2009		Chaâbat ain El kheir Est		
Marché N°21/2009		Chaâbat Aqaa N'aalabouch		
Marche indéterminé		Chaâbat de Camping	ABRL ingénierie	- Le recalibrage de la chaâbat ; - -Le redimensionnement de l'ouvrage de traversée
		Oued Nouh'Lima	ABRL Ingénierie	-Recalibrage de l'oued avec une largeur qui varie de 4.50 m à 7 12,50 m et une hauteur de mur de protection qui varie de 2.18 et 2.96m. -le redimensionnement de l'ouvrage de traversée
Marché N° 8/2007	Taghzirt	Oued Derna	NOVEC	-Protection du méandre par des gabions grillagés d'une hauteur de 6 m et une longueur de 320 m. -Construction d'un pont de trois travées de 12 m chacune et une hauteur de 7 m.
Marché N° 6/2007	Tanougha	Chaâbat d'Annoufi	NOVEC	Aménager un canal en béton Construire cinq dalots simples
		Chaâbat de Tanougha Centre	NOVEC	Aménager un canal trapézoïdal Construire trois dalots simples
Marché N° 08/2007	Zaouit Echiekh	Oued Ikkour	NOVEC	-Construction d'un mur de protection avec une hauteur qui varie entre 2.5 et3.9m -Mise en place d'un gabion

Source : ABHOR 2004, 2007 et 2009

Les études élaborées par l'ABHOR en 2004 ont intéressé les deux chaabat d'Ain Elkheir. Mais d'après le travail du terrain, ces aménagements n'ont pas résolu les problèmes d'inondations qui touchent les infrastructures publiques dans plusieurs quartiers, ainsi que la population et ses biens. Car cet aménagement est basé sur des études, des diagnostiques, des techniques et des

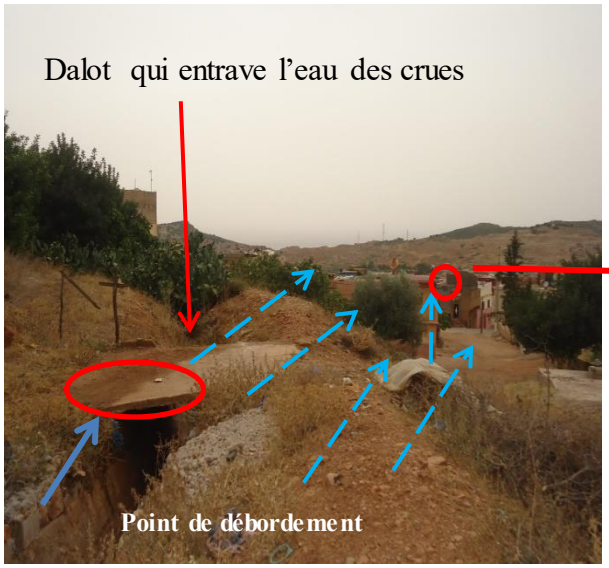
données hydro-climatiques simulées, et ils ne prennent pas les risques d'inondations dans leur contextes hydrologique, environnemental, social, local et régional. De même, ces aménagements se basaient sur des données hydro-climatiques simulées, qui ne représentent pas l'état réel des hauteurs et des débits de chaabats et dalots. Ces derniers ont fonctionné comme des embâcles qui provoquent les inondations graves (fig 9.1), les photos (planche photos 9.1) et (tableau 9.3).

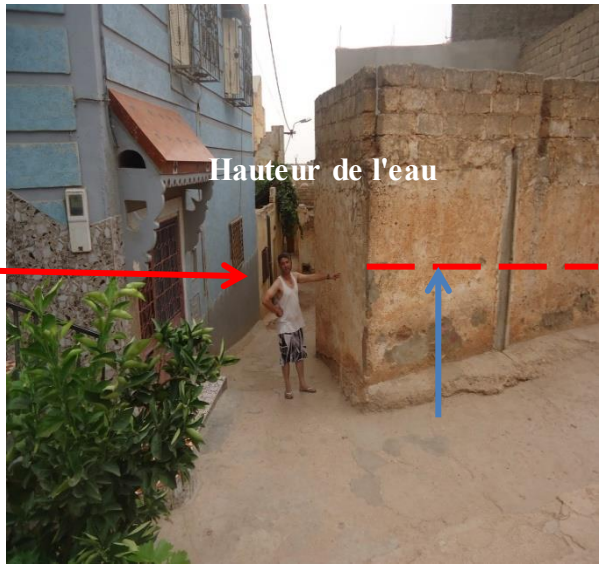
Planche photos 9. 1 : Vue sur les aménagements contre les inondations dans la ville de El-Ksiba.





Type d'aménagements exécutés pour la protection de la ville d'El-Ksiba et ces quartiers contre les Inondations de chaabats Aine elkhier





Le resserrement du lit de chaabat avec les canaux et dalots d'aménagement, ces derniers sont devenus comme des embâcles qui provoquent des inondations.

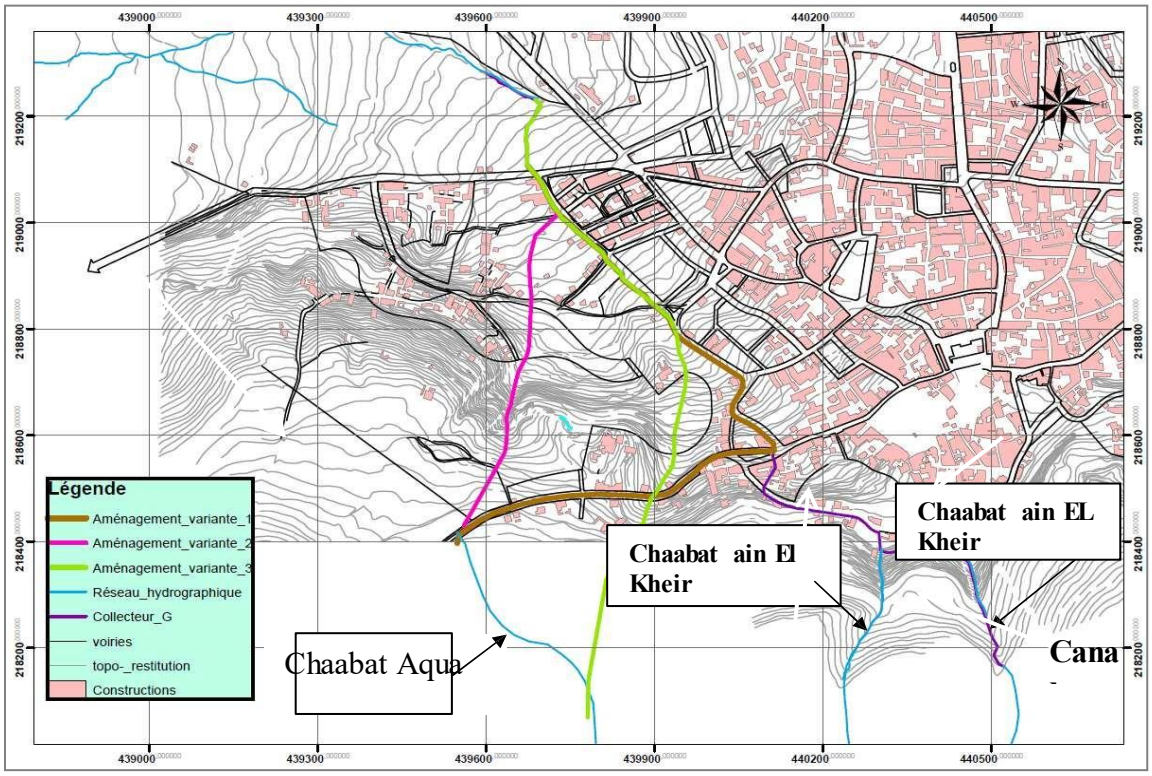




L'insuffisance de la profondeur des canaux pour évacuer l'eau des crues, et protéger la population contre leurs effets négatifs ; la population a construit des murettes de protection pour se protéger et protéger leur bien contre les inondations.

Suite à l'inefficacité des aménagements effectués pour la lutte contre les inondations dans la ville d'El-Ksiba, l'Agence Hydraulique a proposé en 2009 de lancer une étude pour résoudre ce problème. Cette étude a proposé un aménagement en trois étapes, qui prend en considération les trois chaabats : Chaabat Ain Elkhier Est, Ain Elkhier Ouest, Aqua 'Naalabouche (Carte 9.1).

Carte 9. 1 : Aménagement proposé pour lutter contre les inondations dans la ville de El-Ksiba.



✓ **Étape 1 :**

Elle correspond à l'aménagement d'un canal à ciel ouvert en suivant la ligne de thalweg visible sur la restitution. Le canal se raccordera au collecteur G à la sortie de la ville. Il présente un linéaire de 700 m, et implique l'aménagement de 3 ouvrages de traversée de la route Affela N'Ifrane, Rue N°16 et rue N°15 (Carte 9.1).

✓ **Étape 2 :**
cette variante consiste à :

- Intercepter la chaâbat au niveau de la route d'Affela N'Ifrane à travers un ouvrage de déviation;
- Aménager un canal en béton qui longe la route Afella Nifrane de son côté droit jusqu'à sa confluence avec le collecteur G ;
- Rééquilibrer le collecteur G qui devra transiter les crues des trois chaabats à savoir Aïn El kheir Est, Aqqa Nousserare (AqqaNousserare) et Aqaa Nouaalabouch. Le redimensionnement de ce canal se fera sur une longueur de 1700 m (Carte 9.1).

✓ **Étape 3**

Cette étape a été définie en suivant le thalweg naturel de la chaabat jusqu'à la confluence de la chaabat avec le collecteur G au niveau du cimetière. Puis la reprise du collecteur G jusqu'à l'aval du centre El-Ksiba (Carte 9.1).

Il faut aussi noter que cette étude comme toutes les études citées dans le tableau 8.1 est basée sur des données hydrologiques obtenues par la modélisation et les formules empiriques. Aussi les études de la pluviométrie sont basées sur les données de la station météorologique de Béni-Méllal. Il est évident que la station de Béni-Méllal se situe dans le domaine du "dir" à 19 Km de Béni-Méllal et 50 km d'El-Ksiba (de Taghzirt, 27 km, de Tanougha 35 Km, et de 64 Klm de Zaouit Echiekh). Ce qui influence énormément les résultats et bien sûr les propositions d'aménagements, surtout par rapport à tout ce qui est en relation avec les profondeurs et les largeurs des ouvrages, ainsi qu'avec les débits de ces crues et leur capacité à résoudre la problématique d'inondations non seulement dans la ville d'El-Ksiba mais, dans toutes les autres localités de "dir" de Béni-Méllal,

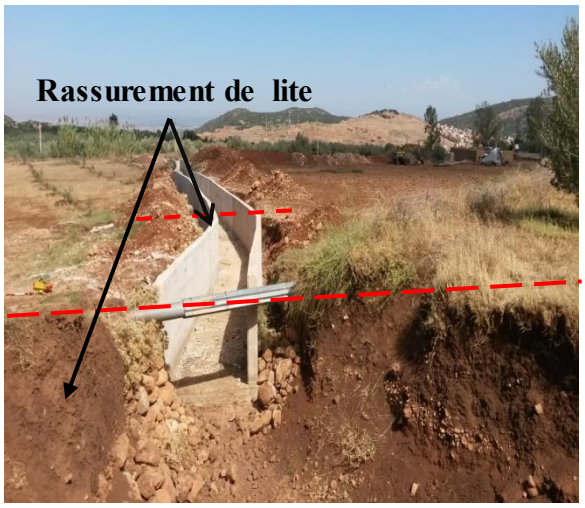
A noter que cette étude technique à écarter la population locale dans la phase de diagnostic pour déterminer les chaabats et les petits bassins versants qui posent des problèmes d'inondations. De même pour l'historique d'inondations avec la détermination des hauteurs d'eau, surtout que ces petits bassins versants ne sont pa jaugés, ce qui donne des études non précises et des aménagements non efficaces, telle que l'étude menée dans le bassin hydraulique d'Oum Er Rbia en 2004. Cette étude n'a pas pris en compte la chaabat d'Aquen'alla, ainsi que les points négatifs au niveau des ouvrages et leur relation avec les débits des crues que nous avons signalé avant. Aussi en 2009, l'étude n'a pas pris en compte les attentes de la population locale dans toutes les phases. Les travaux d'aménagement ont été arrêtés par la population locale qui a demandée des rémunérations en retour afin d'accepter la construction du chaabat qui traverse leurs terrains agricoles, alors qu'elle fait partie du domaine public hydraulique. Ce qui pose des questions sur l'efficacité, l'applicabilité et la crédibilité de la loi de l'eau pour la protection du domaine hydraulique, mentionné dans le projet de loi de l'eau 36-15.

Planche photos 9. 2 : Aménagements de lutte contre les inondations dans la ville d'El-Ksiba.





Canal de protection de la ville d'El-Ksiba contre les crues centennales avec une hauteur de 2 m et une largeur de 1.50m





La route de Affela N'ifrane touchée régulièrement par les inondations

Vus sur les points négatifs en cours d'aménagement



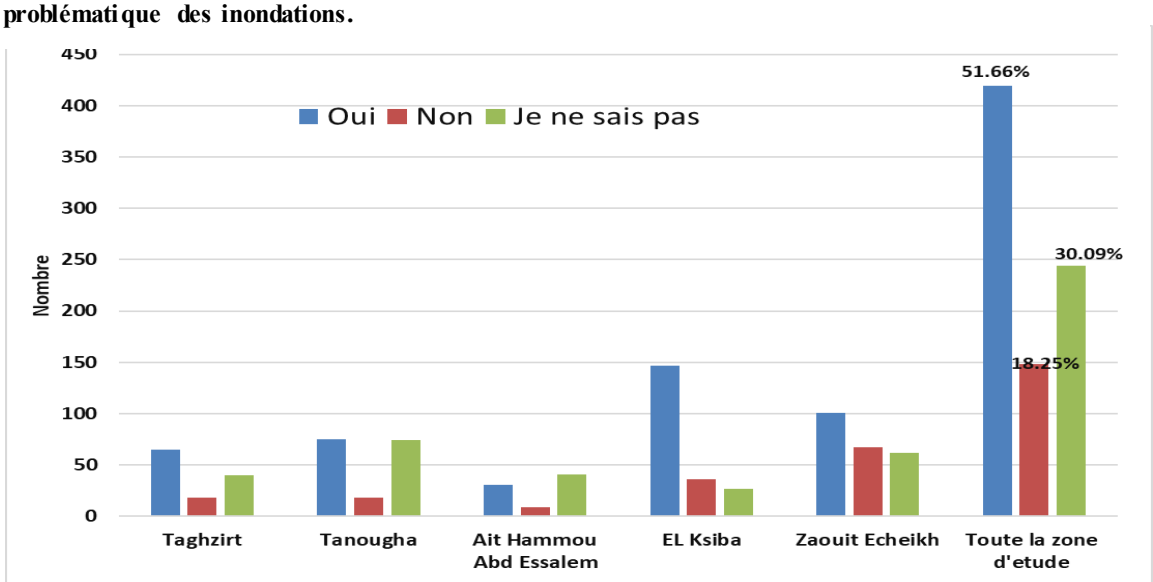
Sédiments déposés sur la route de Affela N'ifrane lors de la crue du janvier 2008.



Opposition de la population et l'arrêt des travaux d'aménagement

Toutes les proportions d'aménagement faites par ces études concernent seulement l'élargissement et la construction des chaabat et des vallons. Ce sont des solutions limitées dans le temps et dans l'espace et ne prennent en considération les problématiques associées à l'érosion. En plus, toutes ces études n'ont pas proposé des solutions, comme par exemple le reboisement de l'amont des bassins versants, ou l'équipement de ces bassins versants par des stations hydro-climatiques afin d'obtenir des données fiables. De même, elles n'ont pas proposé des solutions des secteurs d'urbanisme et d'extension du tissu urbain, surtout dans les zones exposées aux risques d'inondations, tel que Ait Hammou Abde Essalem qui n'est pas concerné par ces études jusqu'à nos jours, alors qu'il a été touché par des inondations catastrophiques (fig 9.1), les photos (planche photos 9.1) et (tableau 9.3).

Figure 9. 1 : La responsabilité de secteur privé (bureau d'études dans l'aménagement de la problématique des inondations.



2. Le Haute Commissariat des Eaux et Forêt et la Lutte contre la Désertifications, Béni-Méllal:

Le couvert végétal, joue un rôle très important dans l'organisation d'écoulement des cours d'eau, Car il réduit la vitesse du ruissellement et favorise l'infiltration des eaux ; comme il protège le sol contre l'érosion et sans parler de son rôle économique, écologique et social Cette ressource naturelle indispensable a connu une dégradation importante dans le "dir" de Béni-Méllal (chapitre I) par des causes naturelles (succussion des années de sécheresse, l'érosion…) et humaines (le surpâturage, la surexploitation des ressources forestières, l'agriculture…)

Pour faire face à cette dégradation, le législateur marocain a promulgué une série de lois et il a mis en place plusieurs institutions afin de protéger cette ressource importante. En effet, le Dahir du 3 janvier 1916 concernant la délimitation des domaines makhzéniens ainsi que le Dahir du 10 octobre 1917 qui fait référence au dahir précédent et qui a confirmé que le domaine forestier est un domaine public sous la tutelle de l'Etat. En plus, l'État a mis en place des établissements régionaux des eaux et forêts, qui se chargent de l'application de la politique du gouvernement au niveau régional. Ainsi l'article 7 insiste sur la mise en place des procédures pour lutter contre la désertification et la protection de la nature à travers l'aménagement des bassins hydrauliques

et la protection du sol contre l'érosion.

L'article 23 de la loi 11.03 concernant la préservation et la restauration de l'environnement proclamé le 12 mai 2003 souligne que : les forêts publiques ou privés sont des propriétés particulières d'un intérêt collectif ce qui exige sa protection de la part des établissements étatiques et les acteurs privés d'une façon durable. De même l'article 24 insiste sur l'exploitation rationnelle des forêts dans un contexte qui prend en considération toutes les démentions : écologiques, économiques, sociales, culturelles, dans les projets d'aménagement. Par contre l'article 25 insiste sur la protection de la forêt contre toutes formes de dégradation, comme la pollution et le déboisement à cause du surpâturage ou l'implantation des espèces inappropriés. Pour ce qui est de l'article 26 il interdit le coupage des arbres sauf dans le cas d'obtention d'un permis de la direction conformément aux textes législatifs de la forêt.

Malgré cet arsenal juridique qui autorise aux services des eaux et forêt d'intervenir pour limiter ou pénaliser les infractions, il reste inefficace pour des raisons objectives et subjectives liées aux nombres insuffisants du personnel, les outils d'intervention et le dysfonctionnement de la loi de protection du domaine public forestier. Ceci est dû également à la situation socio-économique fragile des populations vivant de la forêt, ce qui entraine la consommation du bois de chauffage et le pâturage excessif.

D'après le questionnaire adressé aux eaux et forêts de Béni-Méllal, L'établissement a confirmé que le nombre annuel des infractions forestières et de 29000, et que 65% de ces infractions sont liées aux coupes et à l'exploitation irrationnelle, ainsi que les attaques que subissent les agents forestiers et le manque des cadres appropriés pour le traitement et le suivi des infractions.

Cela mène à l'échec de toute forme d'aménagement appliquée par cet établissement dans les forêts de la Province de Béni-Méllal, ce qui menace la forêt et le domaine forestier d'une façon alarmante. Cette dégradation entraine des problèmes écologiques et économiques… liés à l'envasement des retenus des barrages, perte du potentiel d'irrigation, colmatage des canaux d'assainissement, ce qui provoque des inondations catastrophiques, qui touchent l'aval des bassins versants et les espaces urbains et ruraux, qui augmentent les coûts de gestion et de l'aménagement. C'est le résultat de l'absence de la coordination entre les établissements publics et privés, ainsi que la participation de la population pour trouver une solution ensemble.

3. L'Agence Urbaine de Béni-Méllal:

Depuis la deuxième partie du 20ème siècle, le Maroc a connu une croissance urbaine accélérée ; ceci à cause de la croissance rapide de la population, l'immigration rurale liée essentiellement à la sécheresse dans le monde rural durant des années successives. Le nombre des villes s'est multiplié ainsi que l'apparition de nouveaux centres urbains, et les bidonvilles dans certaines villes. Cette situation anarchique a déclenché un développement non maîtrisé des villes et des villages, ce qui a produit des agglomérations caractérisées par l'extension et l'évolution du tissu urbain vers des zones exposées aux risques, comme le cas des villes et agglomérations situées le long du "dir" de Béni-Méllal (El-Ksiba, Zaouit Echiekh, Aït Hammou Abdessalem, Tanougha et Taghzirt).

Pour contrôler l'extension urbaine, le législateur marocain a proclamé diverses lois (la loi de l'urbanisme…) et a mis en place plusieurs institutions régionales pour encadrer les opérations

de l'urbanisation, et parmi celle-ci, on trouve l'agence urbaine, créé par le dahir n° 1.93.51 promulgué le 10 septembre 1993, dont le premier article proclame la nécessité de créer des institutions publiques appelées les" Agences Urbaines". Selon l'article 3 de la loi organisatrice, ces agences ont plusieurs charges :

- La mise en œuvre des études nécessaires pour préparer les Schémas Directeurs,
- La programmation des projets d'aménagement concernant les buts et la poursuite de ces études,
- La réalisation des documents d'urbanisme tels que les Schémas Directeurs d'Aménagement, les plans d'aménagement et les plans de développement,
- Fournir son aide technique aux collectivités locales dans le domaine de l'urbanisme et de l'aménagement.

Généralement, l'Agence Urbaine est considérée parmi les institutions publiques les plus importantes organisant le développement et l'extension des espaces urbains et ruraux, via les documents d'urbanisme.

Malgré les efforts fournis dans ce domaine, ils restent insuffisants car la ville marocaine tels que les villes et les agglomérations de notre zone de l'étude progressent d'une rapidité remarquable et non compatible avec les plans d'aménagement. Ce qui a produit des villes d'une structure aléatoire, non organisée et menacée par des risques d'inondation.

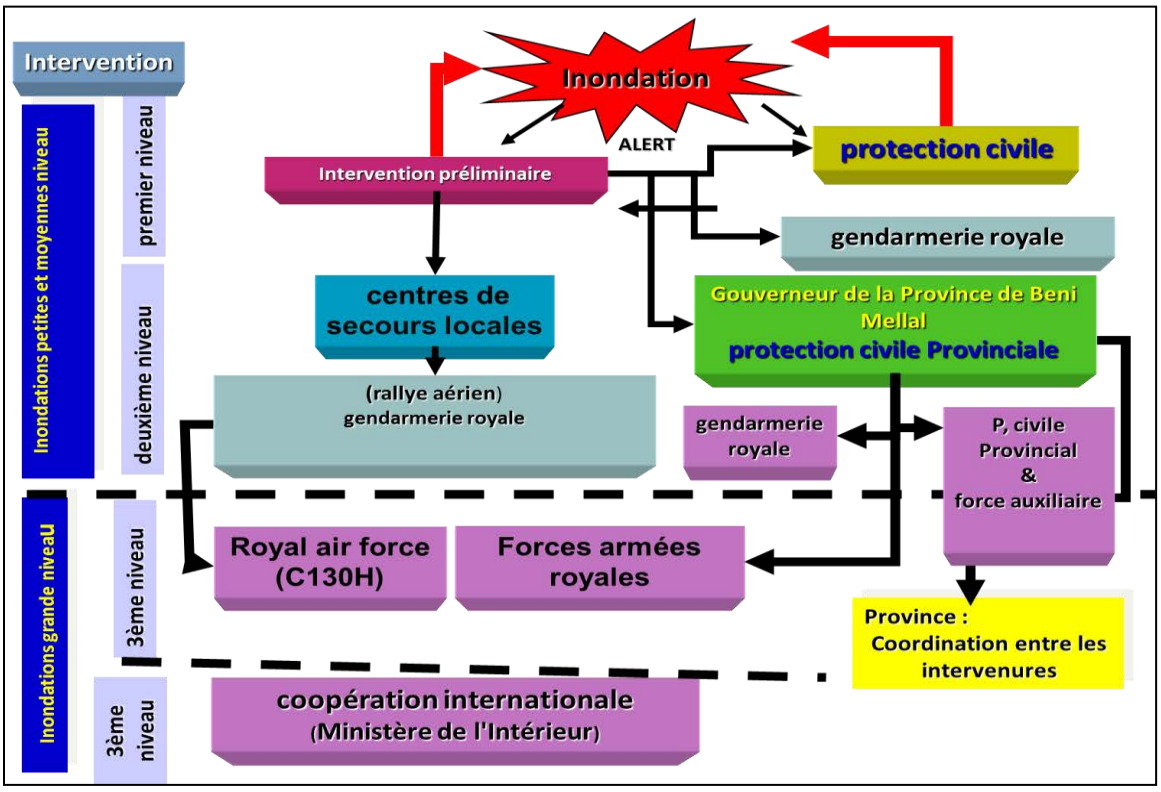
4. La Directions Régionales de la Protection Civile et ses centres de secours :

L'organisme national de la protection civile a été créé conformément au décret royal n°2.83.288 en 09 Jomada alowla1405 (31 janvier 1985). Elle intervient dans les urgences pour sauver les personnes bloquées par les inondations, les feux ou les divers dangers. Ces opérations de sauvetage se déroulent en plusieurs étapes :

A. La distribution des matériaux de sauvetages et d'intervention,
B. Préciser la qualité, la quantité et la période de l'évaluation des dangers,
C. Les capacités et renforts logistiques,
D. L'organisation des points d'interventions et la réalisation d'un schéma de sauvetage et d'intervention.

L'efficacité de cette intervention passe par trois étapes selon le degré de la catastrophe, et le nombre des dégâts (schéma) et les coordinations avec plusieurs institutions locales, régionales, et internationales selon le niveau de danger (Figure 9.2).

Figure 9. 2 : Processus d'interventions de la protection civile et les autres établissements lors des inondations.



Source : La Direction Régionale de la protection civile

L'intervention de la protection civile à l'échelle du "dir" se passe par l'unité de Béni-Méllal et les deux centres de secours, celui de Zaouit Echiekh et celui d'El-Ksiba. Sachant que nous remarquons que ces deux centres de secours ne disposent que d'une seule ambulance et un véhicule pour l'intervention, la protection et la sécurité. Par contre, la grande unité de Béni-Méllal dispose des équipements plus avancés et diversifiés, et d'un effectif important d'agents de secours (tableau 9.4). Ce qui pose la question relative à la distance entre l'unité centrale de Béni-Méllal et les agglomérations qui connaissent des inondations fréquentes.

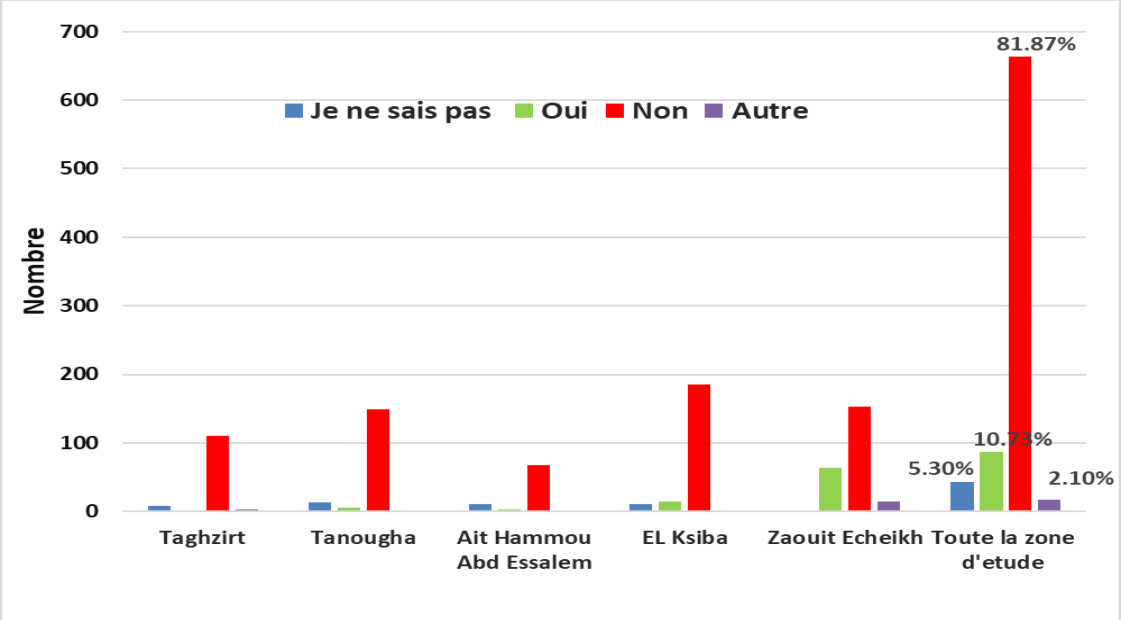
D'après le tableau 9.4, on constate que la majorité des interventions sont faites par l'unité centrale de Béni-Méllal puisqu'elle dispose des effectifs et des équipements plus importants. Mais, le problème réside dans la longue distance et la rapidité des inondations, rendant ces interventions presque inefficaces pour limiter les dommages. Cela a été confirmé par le travail de terrain, plus de 81% de la population du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal ont confirmé que les interventions de la protection civile sont généralement inefficaces à cause des retards dans les opérations du sauvetage (fig 9.3).

Tableau 9 .4 : Equipements logistiques des centres d'intervention de la protection civile.

Centre d' intervention	Equipment		Agents de secours
	Type	Number	
Béni -Méllal	CCR = Camion-citerne rural	01	49
	FPT = Fourgon pompe-tonne	01	
	VP = Véhicule plongeur	01	
	VPS = Véhicule de Protection et de Sécurité	01	
	VRS Véhicule de secours routier	01	
	VSD= Véhicule de Sauvetage - Déblaiement	01	
	VSM = Véhicule de Secours Médical	01	
	AMB= Ambulance	04	
	ZODIAC et Véhicule de Soutien Sanitaire aux Opérations	01	
	MPR= Moto-Pompe Remorquable	01	
Zaouit Echiekh	VPS = Véhicule de Protection et de Sécurité AMP = Ambulance	01	05
El-Ksiba	VPS = Véhicule de Protection et de Sécurité AMP = Ambulance	01	05

Source : La Directions Régionales de la protection civile,2014

Figure 9. 3 : Pensez-vous que les interventions empêchent les pertes matérielles et humaines.



Cette situation délicate pose une fois de plus la question sur les niveaux de la coopération et de la coordination entre la protection civile et les autres établissements responsables de la gestion des risques des inondations et de l'intervention lors des catastrophes. D'après le travail de terrain, nous avons constaté que la Protection Civile, la Direction Régionale de la Météorologie et l'Agence Urbaine ne disposent pas des études élaborées par l'Agence du Bassin Hydraulique couvrant les zones inondables. De ce fait, il est urgent d'installer une commission de coordination entre toutes ces instances, y compris la population locale, et de mettre en place un système efficace de prévision contre les inondations.

5. La Direction Régionale de la Santé (DRS) :

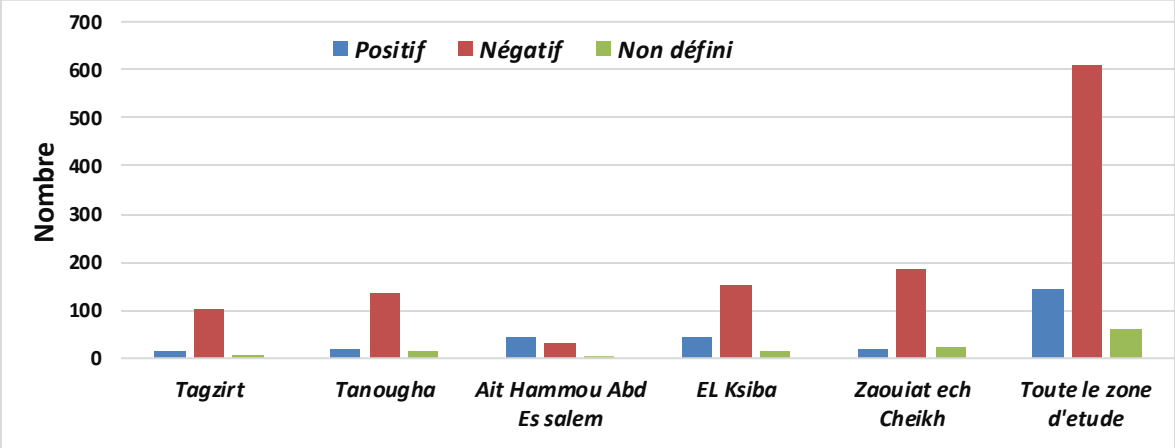
Les équipements et les cadres de la santé jouent un rôle important lors des inondations pour donner et fournir les services sanitaires aux sinistrés. Les services sanitaires deviennent plus efficaces dans le cas où les incidents sont de plus en plus prévisionnels. Le "dir" de Béni-Méllal est malgré sa forte densité de population, ne possède qu'un dispensaire local avec une capacité très limité d'équipement et d'intervention pendant les inondations. Seul l'hôpital régional de Béni-Méllal peut recevoir les sinistrés du "dir" de Béni-Méllal, malgré les problèmes qui caractérisent ses services telles que la fragilité de ses équipements et un personnel très insuffisant. De plus, cette direction de santé ne dispose pas de toutes les études de lutte contre les inondations élaborées par L'ABHOR. La faible coordination entre les différents acteurs complique également la réussite des interventions du personnel médical. Ce qui rend le rôle de cette direction très limitée surtout dans la disposition des informations relatives aux catastrophes naturelles en général et inondation en particulier. D'après le questionnaire adressé à la DRS a Béni-Méllal, à chaque alerte météorologique, elle se prépare à plusieurs mesures de secours, comme la coordination avec la gendarmerie royale pour fournir des services sanitaires lors des précipitations neigeuses dans les zones montagneuses. Mais le caractère soudain et catastrophique des inondations fragilise tout effort d'intervention ce qui rend incomplet tous les services.

6. La Province de Béni-Méllal :

Après l'indépendance du Maroc, l'État a opté pour un découpage régional afin de bien gérer l'héritage colonial. Ce choix a fait l'objet de plusieurs étapes dont le dernier découpage de 2015 ; cependant chaque région comprend plusieurs provinces, et dans ces provinces on trouve diverses collectivités urbaines et rurales qui réjouissent d'une indépendance financière. Ces collectivités sont administrées et gérées par le président qui est le responsable exécutif de toutes les décisions faites par le conseil municipal lors des réunions qui touchent directement tous les projets de développement au niveau communal. Le gouverneur est le responsable de la coordination entre les acteurs spatiaux dans les problématiques relatives aux inondations qui menacent cette zone (52 sites dans la province de Béni-Méllal). Il assure également le suivi et le financement des projets de lutte contre les inondations.

D'après le questionnaire qu'on a réalisé, on remarque la faible coordination, et la carence du rôle de la province dans ce domaine, ainsi que dans toutes les formes de gestion du territoire concernant les inondations. Les faibles fonds des communes rendent difficile l'application de plusieurs décisions et lois luttant contre les inondations. Ainsi, 75% des sondages font apparaitre l'inefficacité des interventions des autorités dans le domaine de la lutte contre les inondations et l'absence des infrastructures publiques pour lutter contre ce danger. Et seulement 17% de la population considère les actions entamées par la province comme efficace (fig 9.4).

Figure 9. 4 : Que pensez-vous de la façon dont la province gère la problématique des inondations.



V) La gestion du risque des inondations au niveau local:

1. Les collectivités locales :

Depuis son indépendance, le Maroc a connu un intérêt progressif consacré au domaine de la décentralisation dans toutes ses dimensions économiques, sociales, politiques et financières. L'année 1960 est considérée comme l'année où le Maroc a instauré la décentralisation et c'est l'année aussi où il y avait la proclamation de la charte communale. En effet, la deuxième phase a commencé en 1976, caractérisée surtout par la proclamation d'une nouvelle loi, du dahir du 30 septembre 1976, considérée comme la loi fondatrice du projet de la décentralisation dans son concept moderne au niveau des municipalités et des communes rurales. Ce qui rend les collectivités locales par la force de cette loi, des corps indépendants aux niveaux financiers,

administratifs, et aussi par plusieurs compétences d'un caractère administratif, social, économique et écologique. Lors des années 70, le rôle des collectivités locales sera forcé après la promulgation de la nouvelle loi n°000.78 concernant la charte communale en 2002, actualisée par la loi 17.08 au 18 février 2009.

Après l'instauration de ces lois, les collectivités publiques ne s'occupent plus seulement de la gestion et la direction du quotidien de la population, mais aussi de l'aménagement de son territoire et de mise en œuvre de son développement. Cependant, dans le cadre de cette étude, nous allons contenter seulement de discuter les grands axes de cette charte et de leur relation écologique et urbaine et le rôle des collectivités locales dans le domaine de la lutte contre les inondations dans le "dir" de Béni-Méllal.

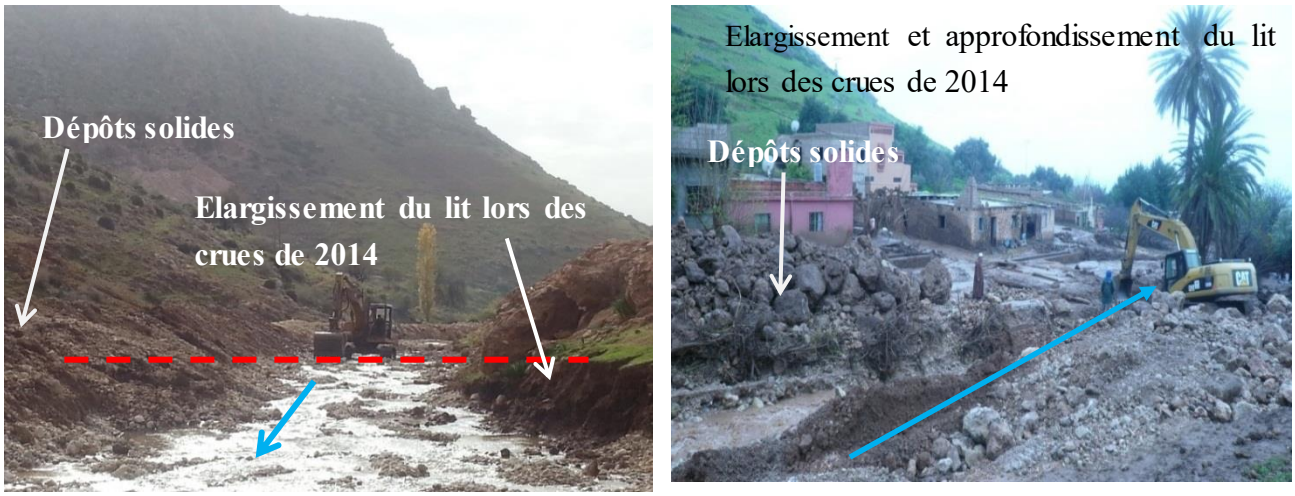
Selon l'article 38 de cette loi liée à l'urbanisme et à l'aménagement du territoire, le conseil communal décide dans les choix et les décisions citées dans les plans d'unification d'aménagement territorial, les plans d'aménagements, les plans de développements, et tous les autres documents d'aménagements du territoire. Par contre l'article 39, concernant les départements et les équipements publics locaux, indique que le conseil est responsable de la création et de la gestion des services publics et communs des secteurs régionaux, il a aussi le droit d'appliquer et de décider selon les lois adaptées dans l'élaboration de :

- L'exécution des équipements et les installations hydrauliques qui contrôlent les eaux de pluies pour lutter contre les inondations.
- L'aménagement des passages côtiers, les lacs, et les rives des oueds, qui se trouvent dans le domaine de la collectivité.

Pourtant, malgré les compétences accordées aux collectivités publiques locales, la réalisation du développement local dans les collectivités du "dir" de Béni-Méllal, dépend en tout premier lieu de la lutte contre les inondations qui porte préjudice à la population, à l'espace, à l'infrastructure, et ralenti considérablement le développement local. Malgré la réalisation de nombreuses études sur les inondations par ABHOR, et bien que le conseil communal en est la responsabilité en ce qui concerne l'aménagement du territoire de la commune contre les inondations (canaux d'évacuation, mur de soutien…), il y avait peu d'efforts déployés pour exécuter les recommandations des études de lutte contre les inondations. Cela est dû à l'insuffisance des fonds de ces collectivités, à l'exception de la commune d'El-Ksiba qui a réalisé les études en 2004, et celles de 2009, qui sont en cours de réalisation. De même, la charte communale oblige les communes à réaliser et appliquer les plans d'aménagement territoriaux, qui consistent à lutter contre les inondations à travers l'interdiction des constructions dans les zones exposées aux risques. Mais vu la faible et l'absence de coordination entre l'Agence Urbaine et l'Agence du Bassin Hydraulique, ces documents n'ont pas été accompagnés par des plans qui délimitent les zones à risques (Annexe 8.6). De plus les études contre les inondations ne couvrent pas toutes les zones à risques dans le dir, comme le village d'Ait Hammou Abdessalem. Et à cause aussi de la fragilité des fonds des collectivités, la commune de "dir" d'El-Ksiba n'a pas encore couvert le village d'Aït Hammou Abdessalem par un document d'urbanisme, malgré les inondations catastrophiques de 2010. Vu que les inondations ne sont pas prioritaires dans les projets d'aménagement de la plupart des collectivités de "dir" de Béni-Méllal, elles se sont contentées seulement d'élargir les oueds et

les chabaats à l'entrée des agglomérations (Planche photo 9.3).

Planche photos 9. 3 : Interventions des collectivités locales pour lutter contre les inondations.



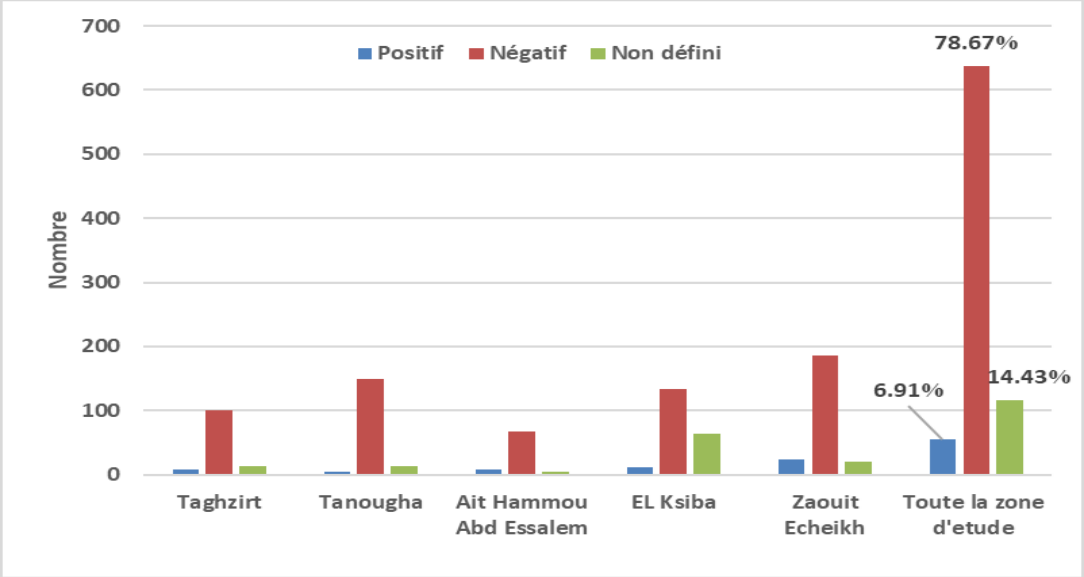
Elargissement du lit de l'Oued Echkhounada et les évacuations des dépôts solides laissés par les crues à l'entrée du village d'Ait Hammou Abdessalem



Evacuations des dépôts solides laissés dans le lit d'Oued IKKOUR par les crues à l'entrée du village de Zaouit Echiekh,

Ainsi pour 79% de la population (fig 9.5) cette situation rend le rôle des collectivités locales du "dir" de Béni-Méllal dans le domaine de lutte contre les inondations inefficaces. Ceci à cause de la faible coordination avec les autres acteurs et du dysfonctionnement de l'application des recommandations des documents d'urbanisme. Surtout que la collectivité locale est responsable aussi des constructions conformément aux documents d'urbanisme qu'elle ne respecte pas et qui, en plus, autorise des constructions dans les zones menacées par les inondations.

Figure 9. 5 : Que pensez-vous de la façon dont la commune gère la problématique des inondations?



2. Les documents d'urbanisme:

Les documents d'urbanisme citées dans la première partie relative aux lois d'urbanisme sont considérés parmi les mesures entamées par l'État marocain pour la gestion des territoires. Ces lois ont servi pour les orientations majeures de la politique d'aménagement du territoire national et régional. Parmi ces documents on trouve :

a) Le Schéma Directeur d'Aménagement Urbain (SDAU):

En ce qui concerne ce type de document mentionné dans le premier chapitre de la loi d'urbanisme, le SDAU précise les zones et les orientations générales d'aménagement du territoire. On ce qui nous concerne dans cette étude, on va citer les actions préconisées par le SDAU et qui visent d'une manière ou d'une autre la lutte contre les inondations, parmi elles, on peut citer :

• Préciser les choix d'aménagement requis pour un développement homogène au niveau économique et sociale des espaces concernées.

• Préciser les nouvelles zones urbaines, en préservant surtout les terrains agricoles et les zones forestières définis par les autorités.

¬ Les zones accompagnées de documents interdisant la construction, ainsi que celles spécifiant la protection des ressources en eau et les zones naturelles, historiques qui nécessitent une protection.

¬Les zones vertes qui doivent également être protégées.

¬ Les grandes installations et équipements comme les réseaux routiers, les aéroports, les ports, les chemins de fer, les institutions principales (de santé, sportives ou éducatives).

¬ Les zones dont l'aménagement demande des règles légales ou juridiques spécifiques.

• Préciser les principaux lieux d'assainissement, les zones d'écoulements et des déchets ménagers.

b) Le plan d'aménagement (PA) :

On peut définir ce plan comme un document d'urbanisme légal puisque le projet de plan d'aménagement est établi à l'initiative de l'administration avec la participation des collectivités locales et approuvé dans les formes et conditions fixées par un décret règlementaire (article 23 de la loi 12-90, ainsi que l'article de loi 2.52.832).

Dans la pratique, on trouve que ses mesures restent d'une efficacité limitée pour ce qui est de l'aménagement des espaces urbains et ruraux, à cause des documents d'urbanisme et autres facteurs variables : politiques ou économique. Ce que l'on peut noter, c'est que le PA de Taghzirt, El-Ksiba, Zaouit Ech Echiek ne précise pas les zones inondables, ce qui a favorisé l'installation de plusieurs quartiers dans ces zones. De plus, ce document ne couvre pas la totalité du territoire étudié comme Aït Hammou Abdessalem et Tanougha, surtout avec les inondations de 2010 qui ont montré la plus grande vulnérabilté de cet espace rural. De ce fait, il faut que cet espace rural du "dir" soit couvert d'un PA et d'un Plan de Prévention contre les Risques Inondation (PPRI).

Ainsi, la réalité de notre zone d'étude a montré plusieurs défaillances au niveau des documents d'urbanisme qui ne prennent pas en considération les zones inondables puisque aucun document n'est accompagné d'un PPRI. Même, les planches cartographiques de ces documents ne délimitent pas ces zones à risque. Et c'est la raison pour laquelle l'objectif final de notre étude est de délimiter ces zones à risques pour minimiser les dégâts matériels et les vies humaines dans cette zone du "dir" de Beni Méllal.

3. Les associations locales:

Les associations sont considérées aujourd'hui comme un espace qui encadre les citoyens, et les encourage pour mieux s'intégrer et participer dans le travail volontaire afin de participer et changer positivement les jeunes pour construire une société responsable et compétente.

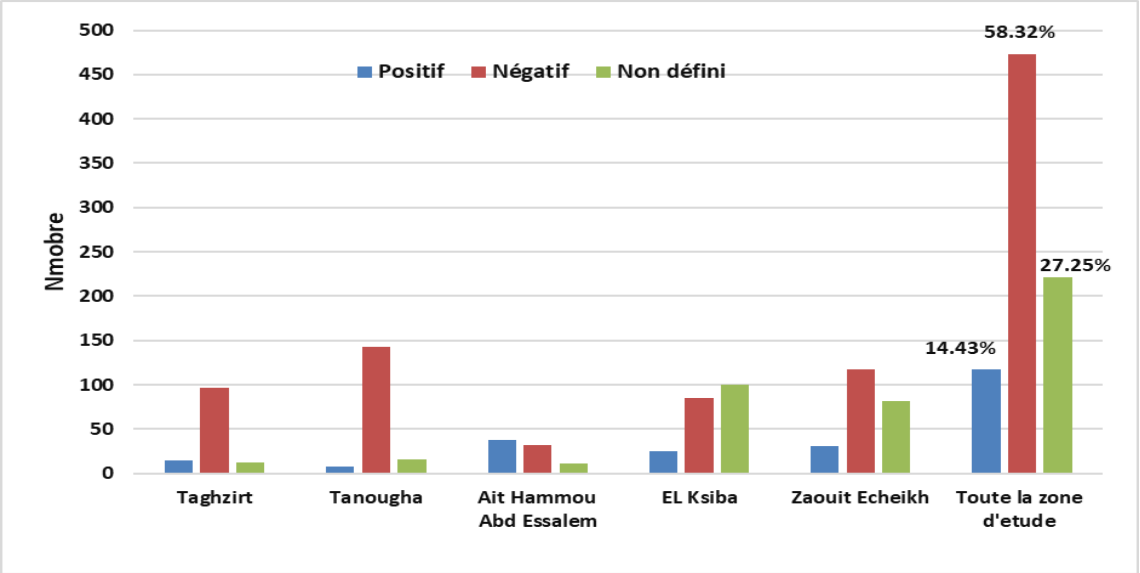
Malgré l'ancienneté de l'encadrement juridique du travail associatif, les différentes associations de la province de Béni-Méllal, surtout celles "dir" de Béni-Méllal, n'arrivent pas à jouer un rôle déterminant dans le développement socioéconomique de leur territoire.

La sensibilisation à la protection de l'environnement est considérée comme étant l'objectif le plus important des associations de "dir" Béni-Méllal avec 53%, vient ensuite les campagnes de plantation des arbres avec 21%. Mais la réalisation des objectifs de ces associations reste inapplicable dans le "dir" de Béni-Méllal. D'après 58% de la population enquêtée les interventions de ces associations lors d'inondations restent négatives. Mais il faut noter qu'une grande part de responsabilité revient aux administrations et aux collectivités locales qui ne soutiennent pas les associations en matière de financement de projets et de formation. Presque 100% de ces associations ont confirmé le manque de soutien de la part des autres acteurs spatiaux en matière de sensibilisation de la population contre les risques d'inondations.

Toutes ces associations ne connaissent pas visées dans les études élaborées par L'ABHOR.

Vu que les associations ne reçoivent pas un budget conséquent, leur rôle en matière de lutte contre les inondations, reste très faible dans notre zone de l'étude (fig 9.6).

Figure 9. 6 : La manière dont les associations de la société civile réagissent à la problématique des inondations.



Conclusion :

Généralement, le Maroc possède un arsenal juridique très important, qui touche aux différents secteurs (urbanisme, eau, environnement…). Cependant, ces mesures juridiques et institutionnelles restent insuffisantes dans un contexte caractérisé par la rapidité et les profondes mutations socio-économiques, écologiques que connait le Maroc.

Dans le contexte régional, la gestion des inondations au sein de la province de Béni-Méllal est marquée par la faible coordination entre les différents acteurs qui interviennent pour lutter contre les inondations.

Au niveau local, le faible soutien financier des associations locales, l'incapacité financière et technique des collectivités locales, et le dysfonctionnement des documents d'urbanisme n'ont pas permis de mener à bien une politique publique efficace et opérationnelle pour lutter contre les inondations.

Chapitre 10 : Extension urbaine : facteurs d'aggravation des inondations:

Sommaire

Introduction:

I) Méthodologie de travail:

II) Extension urbaine et occupation des zones menacées par les inondations: mécanismes et caractéristiques:

1) L'extension urbaine du "dir" et le phénomène des inondations : facteurs et caractéristiques:
2) Extension urbaine anarchique, facteur d'aggravation du risque inondation:

III) Caractéristiques socio-économiques et sociales de la population des zones inondables:

1) L'origine géographique de la population des zones fragiles du "dir" et sa relation avec la culture du danger:
2) Niveau d'éducation de la population des zones menacées par les inondations:
3) Statut professionnel: Importance du chômage:
4) Le logement et la structure des ménages sont des indicateurs importants de la fragilité des populations des zones vulnérables:
5) Les Infrastructures et leur rôle dans l'aggravation des inondations:

IV) La carte de la vulnérabilité:

1) La carte de vulnérabilité du centre de Taghzirte:
2) La carte de vulnérabilité du centre de Tanougha:
3) La carte de vulnérabilité du centre El-Ksiba:
4) Cartes de la vulnérabilité de douar Ait hammou Abdessalem:
5) Cartes de la vulnérabilité de douar Ait hammou Abdessalem:

Conclusion :

Introduction :

Dans ce chapitre, nous examinerons un autre type de vulnérabilité spatiale associée au problème de l'expansion urbaine et les facteurs qui contrôlent cette expansion, ainsi que la vulnérabilité socioéconomique, sociale, juridique et historique et leur rôle dans l'expansion incontrôlée dans les zones menacées par les inondations. Cette étude vise aussi caractériser la population dans les zones inondables.

L'accent sera mis sur l'extension urbaine et l'anthropisation des zones à risque, ainsi que sur la population de ces zones, ce qui vient compléter le diagnostic global de ce phénomène, car il existe un lien étroit entre l'extension urbaine et la problématique des inondations à plusieurs niveaux. L'importance de l'approche participative et la bonne compréhension du phénomène d'inondation, servent pour compléter le diagnostic complet de la vulnérabilité qui est considérée comme l'un des principaux facteurs dans l'équation des inondations.

I) Méthodologie de travail:

Pour atteindre les objectifs de ce chapitre, nous nous sommes appuyés sur une méthodologie, qui tentera de diagnostiquer la relation entre l'extension urbaine et le problème des inondations, sous tous ses aspects et de manière participative.

Ce chapitre a été basé sur le travail du terrain. Dans ce cadre, nous avons procédé à une enquête totale qui vise toute la population située dans les zones à risque, et pour être plus ou moins exhaustif, nous avons remplis 811 questionnaires (annexe 10.6)

Le dépouillement des questionnaires et l'analyse des résultats ont été basés sur le programme SPSS et les systèmes d'information géographique

Notre objectif est de bien identifier l'extension du tissu urbain, surtout dans les zones à risque.

II) Extension urbaine et occupation des zones menacées par les inondations: mécanismes et caractéristiques :

D'après nos investigations de terrain, on a constaté qu'il y a une relation étroite entre l'extension urbaine et l'aggravation des inondations. Cela est très frappant quand la population s'installe dans les zones à risques, c'est-à-dire dans les anciennes zones d'extension de crues. Il faut dire aussi que les inondations sont doublement aggravées d'abord, par un contexte d'une urbanisation anarchique et mal maîtrisée, et ensuite par des bassins versants très anthropisés (matorrals dégradés et ouverts, surpâturage, déboisement ...etc).

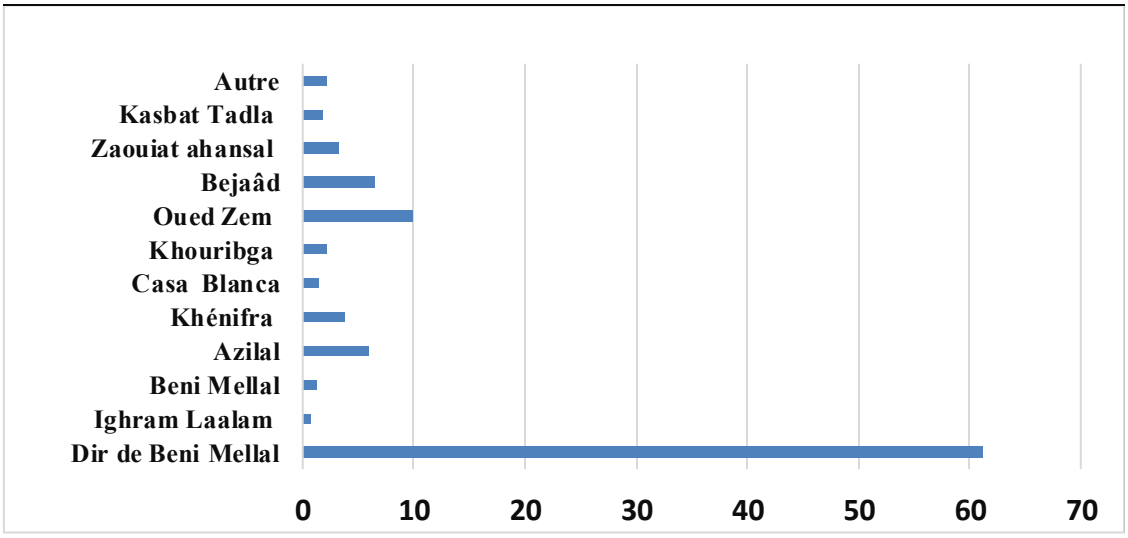
1. L'extension urbaine du "dir" et le phénomène des inondations : facteurs et caractéristiques :

1-1 L'exode rural:

Dans le contexte des déséquilibres spatiaux, sociaux et économiques entre deux domaines distincts la plaine el la montagne, et suite aussi à une longue période de sécheresse, les zones rurales du Tadla ont connu dans les années quatre-vingt des courants migratoires vers le périmètre irrigué. Les villes du "dir" ont constitué une ceinture pour recevoir ces flux migratoires. 38,9% de la population du "dir" ont des origines rurales. La population migrante de l'oued Zem a occupé la première place avec un taux de 9,87%, suivi de celle de Boujaad avec 6,44%, alors que la population migrante vers le "dir" à partir d'Azilal et des régions

voisines, a constitué 5,90 %, Zaouiat Ahansal et les zones adjacentes 3,25%. La migration de la population de certaines zones, comme Casablanca, Khouribga et Béni-Méllal vers ces zones a été favorisée par le travail dans l'usine de ciment récemment crée, en plus d'un groupe de cadres, opérant dans différents domaines. (Fig 10.1).

Figure 10. 1 : l'origine géographique de la population de "dir" de Béni-Méllal.



D'une manière globale, la migration a joué un rôle important dans l'extension urbaine qui a caractérisé et caractérise encore le "dir" en général et le domaine d'étude en particulier. Elle a aussi contribué de manière significative à la propagation des logements anarchiques, moins chères dans les zones menacées par les inondations.

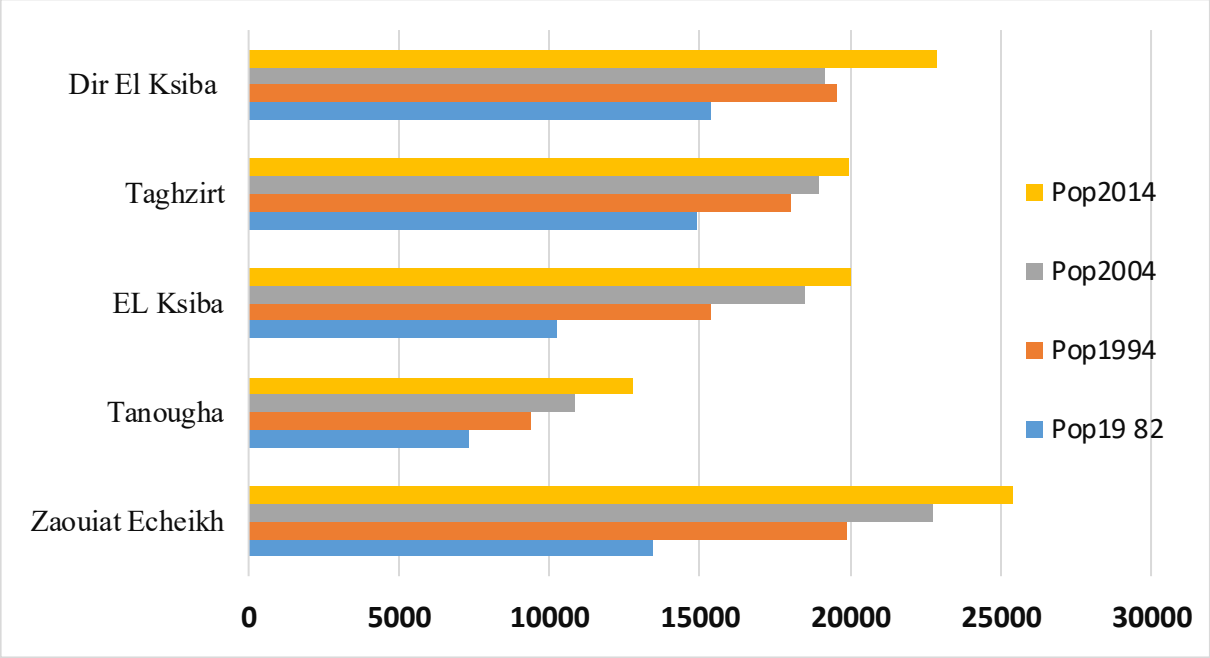
1-2 La croissance démographique et son rôle, dans L'extension urbaine dans le "dir" :

La croissance démographique est l'un des facteurs importants contribuant à l'extension urbaine, et l'un des éléments explicatifs de ce phénomène urbain. Donc nous étions obligés d'aborder cette question démographique afin de parvenir à la compréhension et au diagnostic des mécanismes de l'extension urbaine dans la zone de l'étude. L'analyse de la croissance démographique et sa relation avec l'extension urbaine a été basée sur les données de Recensement Général de la Population et de l'Habitat. (R.G.P.H).

En effet, la population est passée de 13440 habitants de 1982 à 1994, à Zaouit Echiekh, de 7301 à 9412 à Tanougha, de 10226 à 15355 à El-Ksiba, et de 14924 à 18046 à Taghzirt, tandis que la population de la commune du "dir" El-Ksiba, qui comprend le douar Ait Hammou Abdessalem est passée de 15346 à 19559 (Fig 10.2).

La population est passé durant la période de 1994 à 2004 de 19906 à 22 728 à Zaouit Echiekh de 9412 à 10874 habitants à Tanougha, de 15 355 à 184 81 El-Ksiba, et de 18046 à 18 942 habitants à Taghzirt, alors qu'elle est passée de 19130 à 19559 habitants au "dir" El-Ksiba. L'augmentation du rythme de la croissance démographique dans le reste des zones peut être attribué au fait que ces zones ont connu un flux migratoire, suite d'abord à une amélioration du niveau de vie, liée aux différents emplois fournis par le périmètre irrigué du Tadla et aussi par le secteur des travaux publics (bâtiments) et du service, surtout dans Béni-Méllal et les centres du "dir" qui connaissent une pleine extension (fig 10.2).

Figure 10. 2 : l'accroissement de la population de "dir" de Beni Mellal entre 1982 et 2014.



En général, on peut dire que le "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal a connu une croissance démographique variable dans le temps et dans l'espace, croissance contrôlée par un ensemble de facteurs socioéconomiques, qui ont joué un rôle important dans l'extension urbaine du dir, provoquant une forte pression sur l'espace, entre autre, l'occupation des zones menacées par les inondations.

2. Extension urbaine anarchique, facteur d'aggravation du risque inondation:

De nombreuses recherches (El Khalki. 2005, Guabrielle. 2014 et'Oulghazi. 2017.) ont souligné le rôle important de l'urbanisation dans l'aggravation des risques liés aux inondations, soit par l'occupation des vallées et en rétrécissant les cours d'eau, ou en réduisant la surface des zones perméables dans les zones urbaines.

Afin de comprendre clairement l'importance de l'extension urbaine et son rôle dans l'aggravation du phénomène des inondations, nous avons essayé de faire une étude comparative du développement du domaine bâti dans les zones d'étude, entre 1970 et 2016, en s'appuyant sur des photos aériennes et les cartes topographiques (1/50000), les possibilités offertes les différentes fonctionnalités du système d'information géographique (SIG) seront utilisées dans ce domaine. Les résultats obtenus ont montré que La dynamique du tissu urbain du "dir" est marquée par une forte variabilité spatiale.

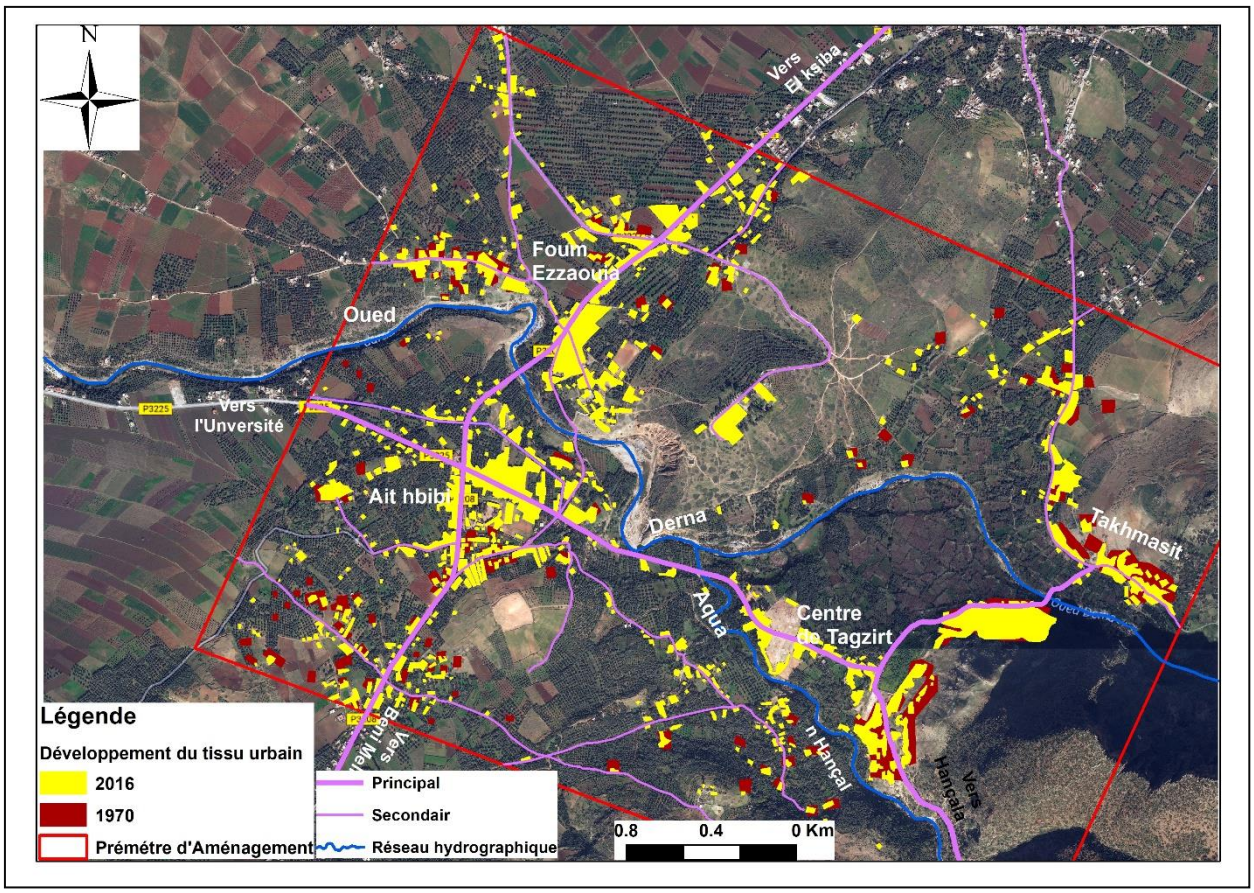
2-1 L'extension urbaine du centre de Taghzirt :

Le centre de Taghzirt a connu une croissance urbaine significative entre 1970 et 2016. La superficie de la zone bâtie est passée de 0,51 km² en 1970 à 0,97 km2 en 2016, soit une augmentation globale de 0,45 km² sur 46 ans. Taux annuel de 0,01 km² (carte 10.1). Alors que le taux de couverture de la zone bâtie est passé de 4% à 7,53% au cours de la Même période (carte 10.1).

A côté de l'augmentation de la superficie de la zone bâtie, on remarque d'après la carte 10.1 que l'extension urbaine a spécialement concerné un ensemble d'axes routiers qui relient Taghzirt, Béni-Méllal et El-Ksiba d'une part et Taghzirt et Hançala d'autre part, en particulier au douar Ait Hbibi et Foum Zaouia et le centre de Taghzirt.

A noter également que cette extension se fait également au niveau des fonds de vallées ; c'est à-dire dans les zones à risque (le long de l'oued Derna et de ses affluents (carte 10.1) :150 maisons menacées par les inondations ont été dénombrés dans le centre de Taghzirt (carte 10.1).

Carte 10. 1 : dynamique du tissu urbain au centre de Taghzirt entre 1970 et 2016.



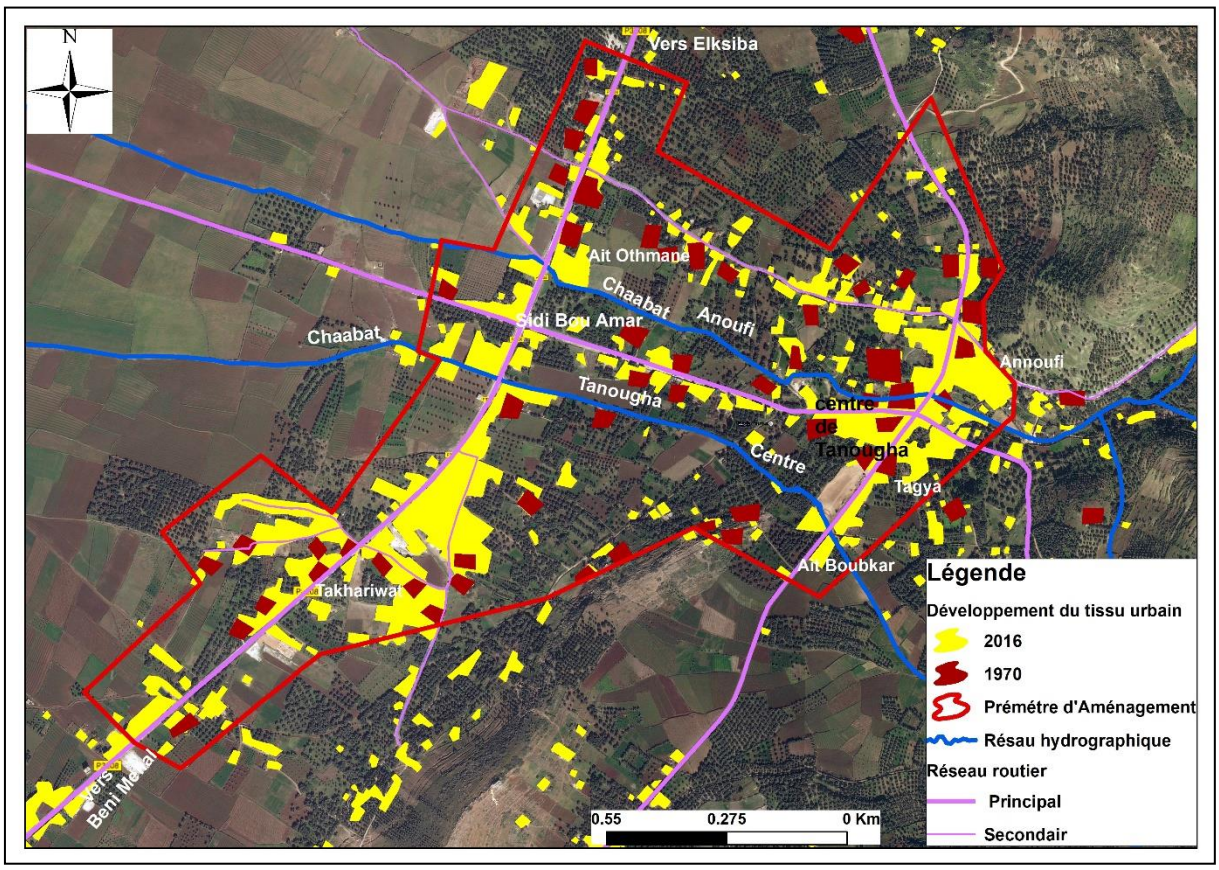
2-2 Extension urbaine du centre de Tanougha :

On remarque à partir de la carte 10.2 que le centre de Tanougha a connu lui aussi, une extension urbaine importante entre 1970 et 2016. La superficie de la zone construite est passée de 0,11 km² en 1970 à 0,6 km² en 2016 ; c'est à dire que la superficie a augmenté en 46 ans de 0,75 km² par an. Quant au taux de couverture de l'espace bâti, il est passée de 7,12% en 1970 à 40,94% en 2016.

Il est à noter d'après la carte 10.2, que le centre de Tanougha a connu un développement urbain variable. Il est également à noter que les chaabats Tanougha Anoufi et Tanougha centre ont connu l'installation d'une population importante, notamment dans le centre de Tanougha, Sidi Bou Atmane et Taghia. Ce qui a aggravé le comportement hydrologique des petits bassins, provoquant de temps en temps, des inondations catastrophiques affectant la population et leurs biens. Nous avons recensé 220 maisons dans cette zone touchée par les inondations, réparties,

sur l'ensemble des quartiers (tableau 10.1) et carte 10.2).

Carte 10. 2 : Dynamique du tissu urbain au centre de Tnougha de 1970 à 2016.



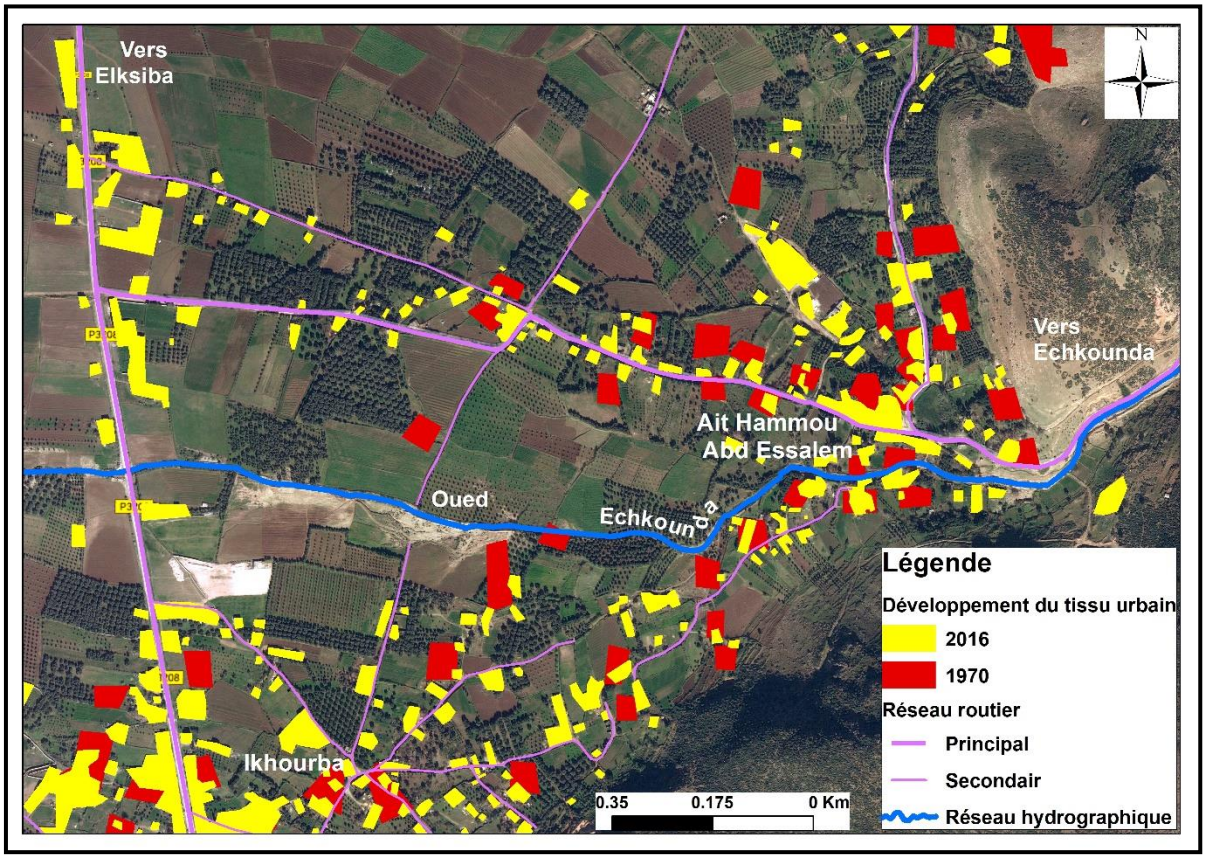
2-3 L'extension urbaine au douar d'Ait Hammou Abdesselam:

En raison de l'absence du périmètre d'aménagement relatif au douar d'Ait Hammou Abdessalem, et en raison de l'absence d'un plan de développement, nous avons limité la comparaison entre 1970 et 2017.

Il est à noter que la superficie de la zone bâtie au douar d'Ait Hammou Abdessalem est passée de 0,2 km² en 1970 à 0,45 km², soit une augmentation de 0,25 km² sur 45 ans, et une augmentation de 0,0025 km2 par an (carte 10.3).

Notons également à partir de la carte 10.3, qu'un nombre important des habitants du douar d'Ait Hammou Abdessalem, soit 32 maisons, se sont installés le long de la vallée de l'oued Echkounda. Ce qui les a exposés constamment aux inondations (tableau 10.1).

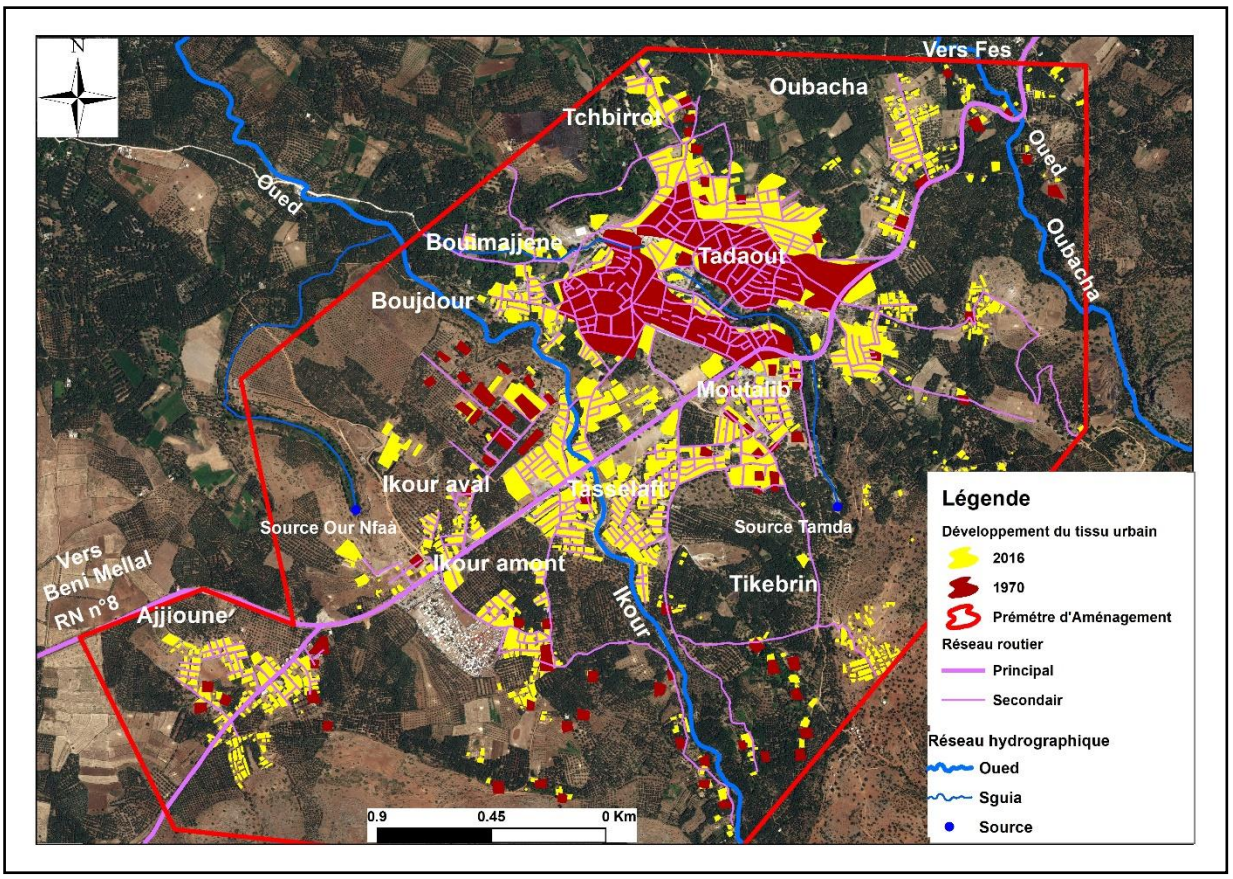
Carte 10. 3 : Dynamique du tissu urbain du Daouar d'Ait Hammou Abdessalem entre 1970 et 2016.



2-4 L'extension urbaine de la ville de Zaouit Echiekh :

Il ressort de la carte 10.4, que la ville de Zaouit Echiekh a connu une extension urbain importante entre 1970 et 2017. La superficie de la zone bâtie est passée de 0,54 km² en 1970 à 1,19 km² en 2017 ; soit une augmentation de 0,65 km², avec une augmentation annuelle de 0,01 km² (. Tandis que le pourcentage de la zone couverte de 1970 à 2017 est passé de 4,42% à 9,72%. Cette extension urbaine a particulièrement intéressé les quartiers menacés par les inondations des oueds et les chaabats. 331 maisons ont été recensées dans les quartiers : Ikkour amont et aval, Taslaft et Boujddou, le douar Oubacha (carte 10 .4).

Carte 10. 4 : Dynamique du tissu urbain de la ville de Zaouit Echiekh entre 1970 et 2016.



2-5 L'extension urbaine de la ville d'El-Ksiba:

La dynamique spatiale de la ville d'El-Ksiba a connu le même développement que les autres zones de l'étude puisqu'elle a augmenté de 0,63 km² en 1970 à 2,2 km2 en 2016, soit une augmentation de 21,37 km durant 45 ans. Le taux de la superficie couverte par le bâti a été de 6,76% en 1970 et a atteint 23,64% en 2014. Cette extension urbaine importante a été accompagnée par l'installation d'environ 350 maisons menacées par les inondations des chaabats Ain El-Khair, et chaabat Aqqa Nouaallabouch et l'oued Aghbalo-Nuhalima. Les quartiers d'Abd ElAli, d'Al-Mahrak, d'Al-Nasr, d'Afkuk, d'Ait Chobbat et de Sarif sont parmi les quartiers les plus touchés par les inondations (tableau 10.1) et (carte 10 .5).

Carte 10. 5 : Dynamique du tissu urbain à la ville d'El-Ksiba entre 1970 et 2016.

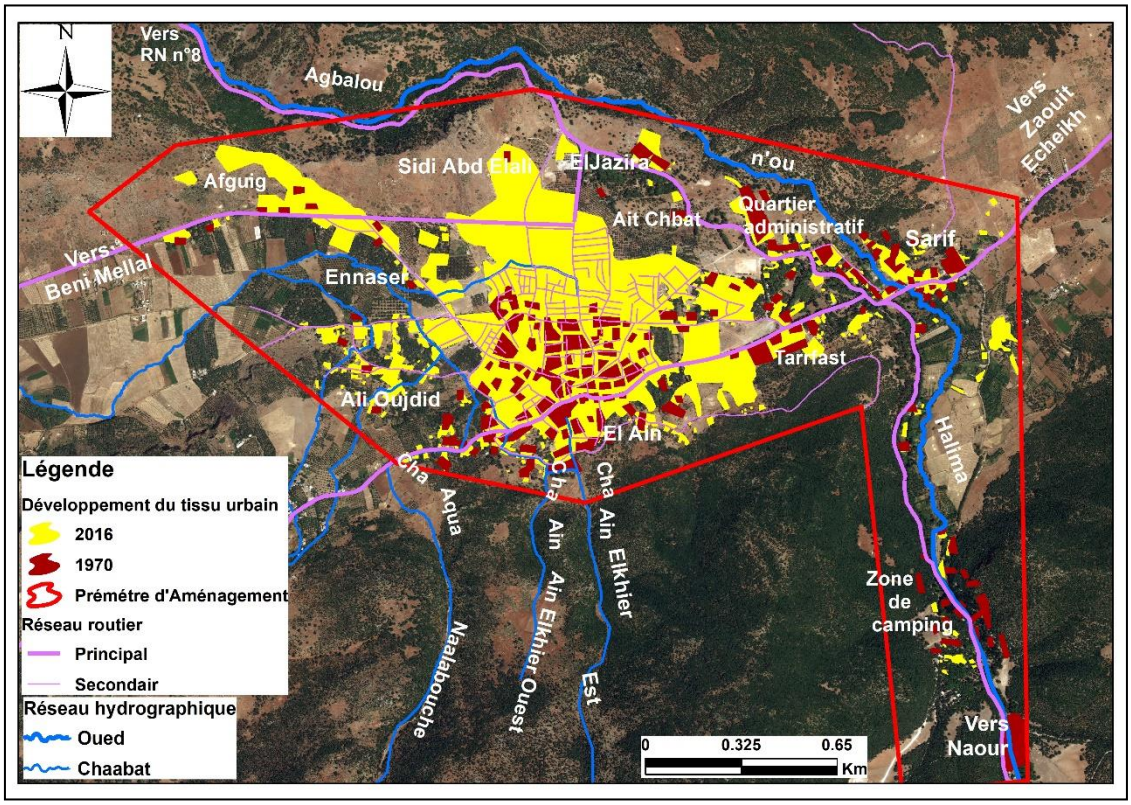


Tableau 10. 1 : les quartiers et les maisons menacées par les inondations dans le "dir" de Béni-Méllal .

Localités	Oued /Chaabat	Quartiers	Nombre de maisons menacées par les inondations
Taghzirt	Aqua n'Hançal & Derna	Ait Audi	150
		Sidi boudom	
		Tmachat	
		Amarir	
		Ait Ahmed	
		Takhmasit	
		Hancala	
		Ait Ali Ohssein	
		Thagya	
Tanougha	Anoufi	Tanougha centre	220
		Ait Ammar	
	Tanougha Centre	Tagya	
		Tamodjot	
		Alhassat	
		Ait Othmane	

Tableau 10. 2 : les quartiers et les maisons menacées par les inondations dans le "dir" de Béni-Méllal .

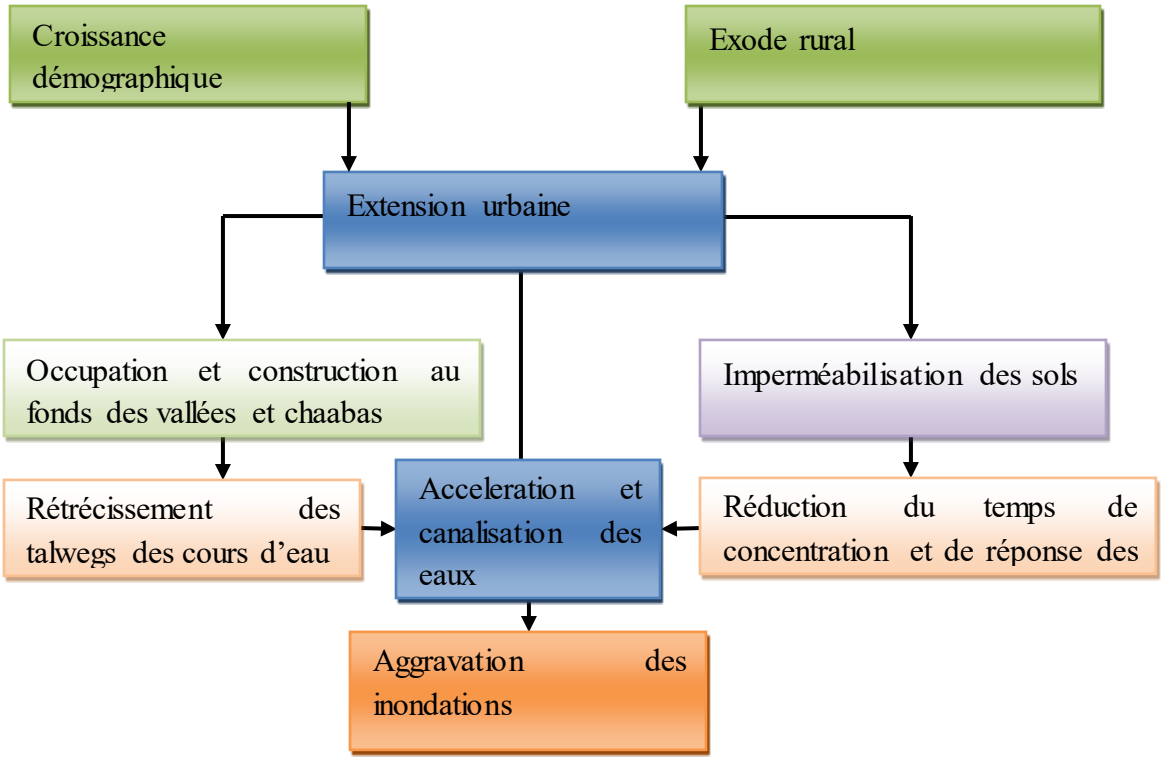
Localités	Oued /Chaabat	Quartiers	Nombre de maisons menacées par les inondations
Ait Hammou Abd Essalem	Echkounda	Ait Hammou	32
		Ikhourba	
El-Ksiba	Chaabat Ain El khier EST	El Ain	350
		Sidi Abd Elali	
	Chaabat Ain El khier Ouest	El mahrak	
		Tagrout	
	Aqqa n'allabouhe	Ennaser	
		Ifguge	
	Agbalou n'ou Halima	Ait chabat	
		Sarif	
Zaouit Echiekh	Ikour	Ikkour amont	311
		Ikkour aval	
		Tasallaft	
		Boujdour	
	Oubacha	Oubacha	

En général, le "dir" Béni-Méllal a connu une extension urbaine variable. Elle varie d'une ville à l'autre et d'un centre à l'autre au cours de la période de 1970 et 2016. La ville de Zaouit Echiekh a enregistré le taux de croissance urbaine le plus élevé avec 1,57 km^2 ; suivi par la ville d'El-Ksiba avec 0,65 km^2. Puis vient le centre de Tanougha avec 0,49 km^2, et Taghzirt avec 0,46 km^2, tandis que le douar Ait Hammou Abdessalem a occupé la dernière place avec 0,25 km^2, Cette variabilité dans la dynamique spatiale urbaine peut-être attribuée aux facteurs historiques, d'une part, et à d'autres facteurs liés à l'infrastructure et aux équipements d'autre part. Faisant ainsi des villes d'El-Ksiba et de Zaouit Echiekh des villes qui exercent une attractivité sur les populations rurales et montagnardes de l'Atlas de Béni-Méllal.

Cette urbanisation croissante des villes et des centres du "dir" de Béni-Méllal a joué un rôle important dans l'aggravation du phénomène des inondations par La construction dans les zones inondables. Cette urbanisation a contribué à l'imperméabilisation des sols ; ce qui a influencé, d'une part, le temps de réponse et de concentration des oueds et chaabats., et de l'autre, l'intensité et la vitesse du débit instantané (chapitre 6), et causant d'énormes inondations.

On peut résumer l'aggravation des inondations par l'extension urbaine par le schéma suivant (figure 10.4) :

Figure 10.3 : Extension urbaine et aggravation des risques d'inondations dans le "dir" de Béni-Méllal.



2-6 Facteurs d'installation de la population dans les zones inondables:

Un ensemble de facteurs poussent la population à s'installer dans les zones menacées par les inondations. Parmi ceux-ci, on trouve les facteurs économiques et les motivations sociales.

D'après la figure 9.5, on peut noter que les facteurs déterminants dans l'installation de la population dans les zones inondables du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal se répartissent entre des motifs économiques liés à la faiblesse des prix de l'immobilier et à la pauvreté, et entre des motifs historiques se rapportant à l'héritage et au sentiment d'appartenance. Ajouter à cela, d'autres facteurs d'ordre culturel qui interviennent également dans ce choix.

La faiblesse des prix de l'immobilier dans les zones menacées par les inondations est le motif le plus important dans l'installation d'environ 44% de la population dans ces zones. Vient ensuite, le facteur de l'héritage et du sentiment d'appartenance chez 19% de la population. C'est la population qui a possédé son lot de terrain via le processus d'héritage. Par contre, 17% de la population du "dir" a été poussée par la pauvreté. En effet l'indice de pauvreté a enregistré un pourcentage important dans ces zones, atteignant 21,2% à Tanougha, 15,6% de la population du "dir" El-Ksiba, 12,6% à Zaouit Echiekh et 10% à Taghzirt et El-Ksiba (tableau 10.2) et (fig 10.5).

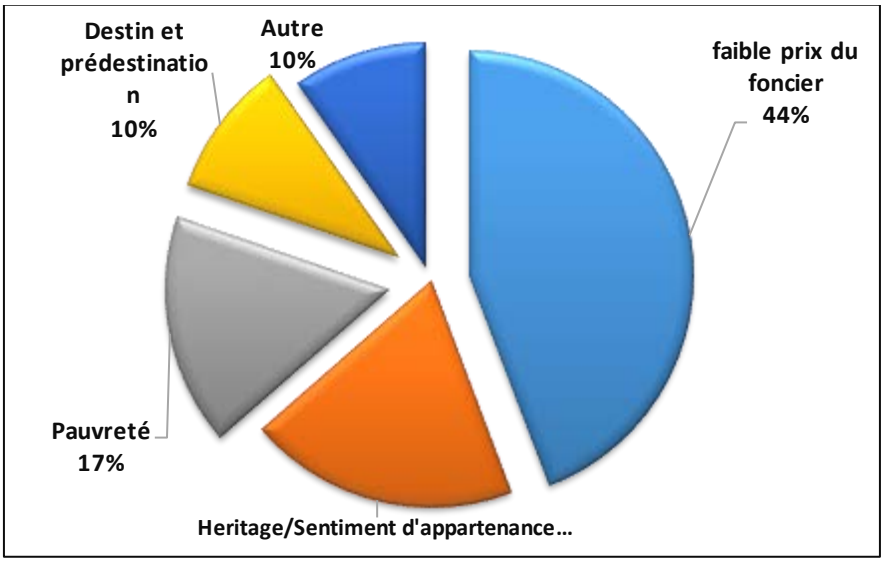
Tableau 10. 3 : indice de la pauvreté dans les communes de "dir" de Béni-Méllal .

Commune	pauvreté	Indice (%) de	
		volumétrique de la pauvreté	sévérité de la pauvreté
Tanougha	21,2	2,3	0,8
El-Ksiba	10,9	0,4	0,1
Zaouiat Echiekh	12,6	0,3	0,1
"dir" El-Ksiba	15,6	0,8	0,3
Tagzhirt	10,2	0,6	0,2

Source :HCP de Béni-Méllal, 2018

Alors que 10% de la population enquêtée a dit que le destin l'a poussé à s'installer dans ces zones à risque. De même, 10% de la population a confirmé que la complexité des procédures administratives et l'éclatement de la famille élargie qui l'a poussé à s'installer dans ces zones à risque (fig 10.5).

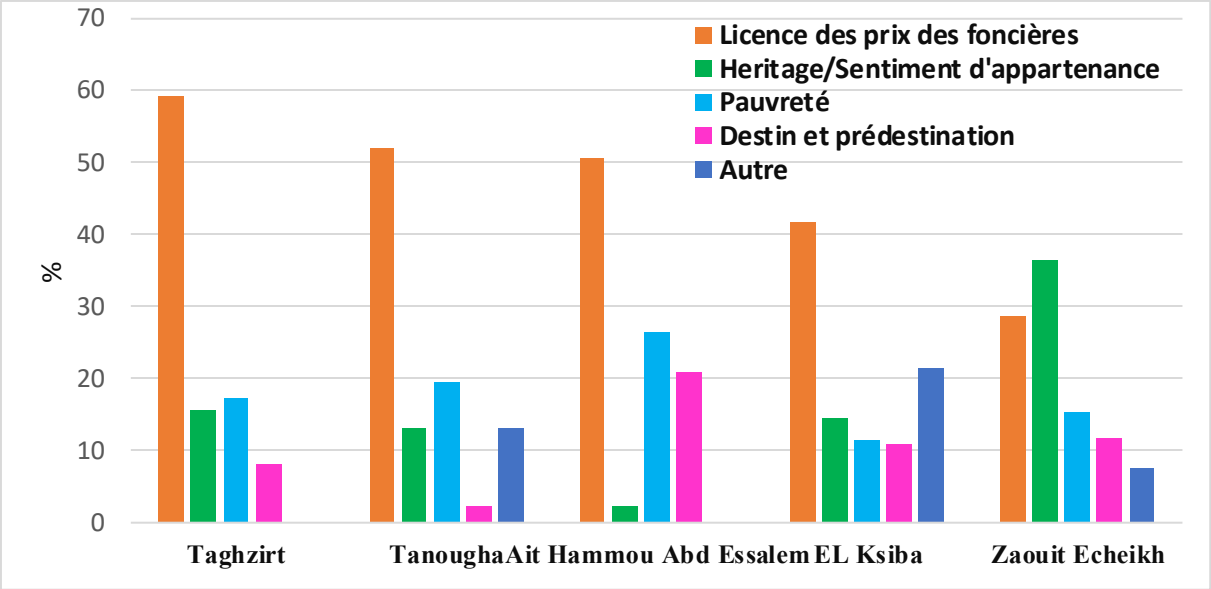
Figure 10. 4 : les facteurs qui ont poussé la population à s'installer dans les zones à risques dans le "dir" de Béni-Méllal .



Si nous voulons détailler les motivations économiques au niveau de chaque collectivité, on peut dire que la facilité d'accès à l'immobilier (prix bas du lot de terrain) est le principal motif chez environ 60% des habitants de Taghzirt, 52% de la population de Tanouga, 41,82% des habitants d'El-Ksiba et 28,74% de la population de Zaouit Echiekh. Le facteur de la pauvreté a poussé 17,24% de la population de Taghzirt, 19,43% de la population du Tanougha, 26,37% de la population d'Ait Hammou Abdessalem, de 11,36% de la population d'El-Ksiba et 15 ,033 % de Zaouit Echiekh à s'installer dans les zones menacées par les inondations.

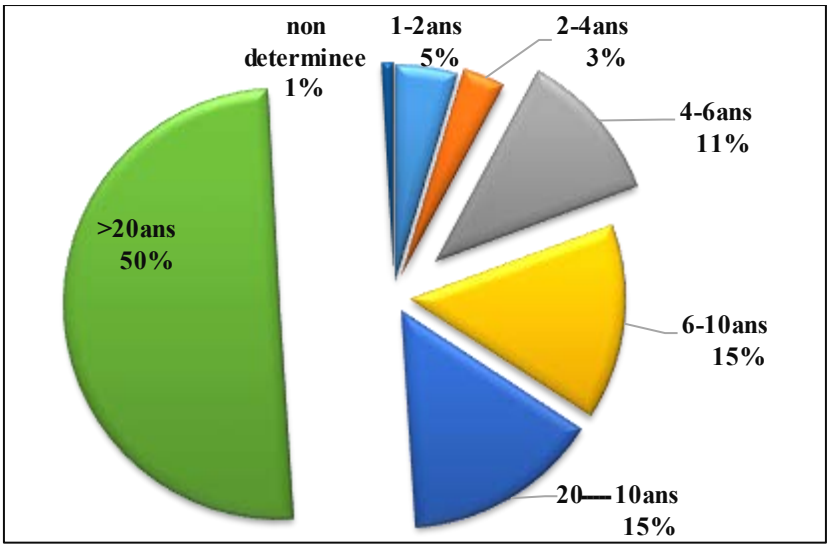
L'appartenance à l'espace et l'héritage sont liés à l'ancienneté de l'urbanisation de cet espace. Ce fut la motivation pour environ 15,52% de la population de Taghzirt, 13,14% de celle de Tanougha, 2,2% de la population d'Ait Hammou Abdessalem, 14,55% de celle d'El-Ksiba et 36,40% de la population de Zaouit Echiekh, Le pourcentage élevé à la fois à Zaouit Echiekh et à Taghzirt peut être attribué à l'ancienneté de l'urbanisation dans ces zones (fig 10.6).

Figure 10. 5 : Les motivations qui ont poussé la population des agglomérations de "dir" de Béni-Méllal à s'installer dans les zones à risques .



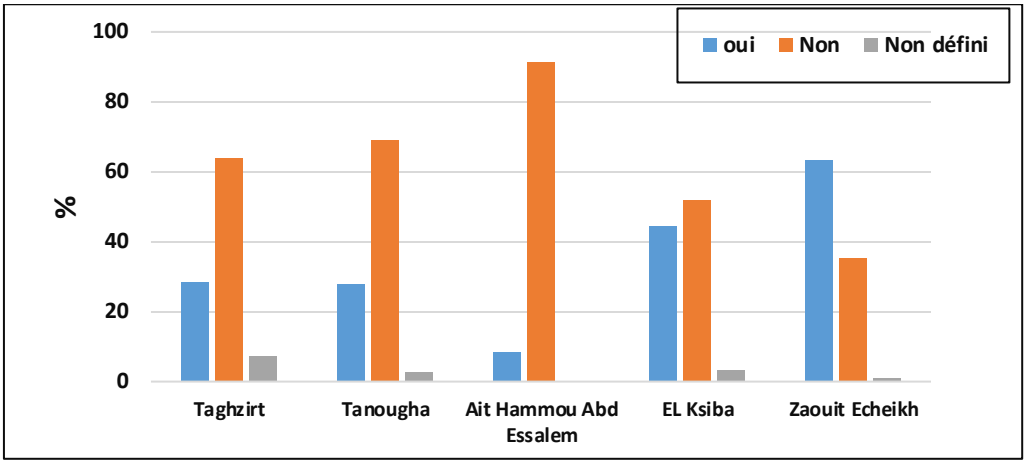
Les facteurs cités ci-dessus ont poussé les gens à subir les effets négatifs des inondations. Ainsi environ 50% de la population de ces régions s'y sont installées depuis plus de 20 ans, 15% depuis 10-20 ans et environ 15% depuis une période allant de 4 à 6 ans (fig 10.6).

Figure 10. 6 : Périodes de l'installation de la population dans les zones à risque dans le "dir" de Béni-Méllal.



Outre les facteurs mentionnés ci-dessus, on trouve d'autres facteurs qui sont liés à l'absence de l'application de la loi de l'urbanisation et de la loi sur l'eau, car ces zones relèvent du domaine public de l'eau d'une part et sont des zones menacées par les inondations, d'autre part. Donc, sont des zones interdites à la construction. En effet, d'après les enquêtes de terrain, 56% de la population du "dir" de Béni-Méllal n'ont pas de permis de construire (fig 10.7). Le pourcentage des non autorisés à construire à Ait Hammou Abdessalem est d'environ 91,4%, 64,2% à Taqhzirt, 51,9% à Zaouit Echiekh, 35,2% à El-Ksiba et 68,8% à Tanougha.

Figure 10. 7 : Disponibilité des permis de construire chez la population de les zones à risque.



D'un côté, on peut dire que la responsabilité est partagée entre tous les acteurs ; d'une part, les institutions de l'Etat, soit, elles délivrent un permis de construire dans les zones inondables, donc à risque, soit, elles n'appliquent pas la loi afin d'interdire tous types de construction dans ces types de zones à risque. D'autre part, par la population qui s'installe dans ces zones à risque, malgré la fréquence et la répétitivité des crues inondables.

D'un autre côté, la combinaison des facteurs historiques et socio-économiques a fait de ces zones inondables, des zones refuges pour une population pauvre, fragile et vulnérable et des espaces attractifs pour ce type de population. Toutes ces constatations, nous ont poussé à mieux connaitre les caractéristiques socioéconomiques de cette population installée dans les zones à risque.

III) Caractéristiques socio-économiques et sociales de la population des zones inondables:

Notre approche de la problématique des inondations est une approche globale qui donne de l'importance à toutes les dimensions naturelles, sociales, économiques et environnementales, d'où l'obligation d'étudier les caractéristiques socio-économiques de cette catégorie de la population du dir, comme étant un des facteurs explicatifs de la vulnérabilité, et comme étant aussi un moyen pour compléter le diagnostic participatif.

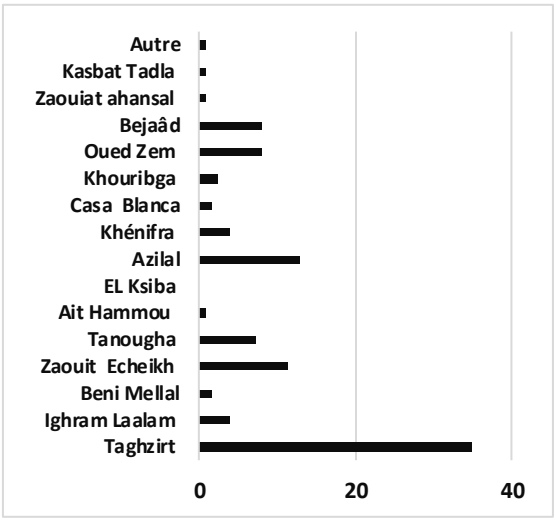
1. L'origine géographique de la population des zones fragiles du "dir" et sa relation avec la culture du danger :

Comme nous l'avons signalé auparavant, le "dir" de Béni-Méllal a reçu une population immigrante importante des régions voisines, qui a atteint 61,15%, tandis que 38,15% de cette population appartenait aux villes et centres urbains, objet de cette étude.

1-1 L'origine géographique de la population des zones menacées dans le centre de Taghzirt :

Les zones inondables dans le centre de Taghzirt ont attiré une population importante de migrants de l'extérieur du centre avec 65,04%, tandis que le pourcentage de la population vivant dans les quartiers menacés appartenant au centre n'est que de 34,96%. La population qui a migré vers ce centre appartient à la ville d'Azilal et à ses Douars 13,01%, Boujaad et Oued Zem avec 8%, Zaouit Echiekh avec 11,38%, Tanougha avec 7,32% et Ighrem Lalam 4,07%, suivi par la population venant de Beni Mellal et Ait Hammou Abdessalem, Khenifra, Khouribga et Casablanca (fig 10.8).

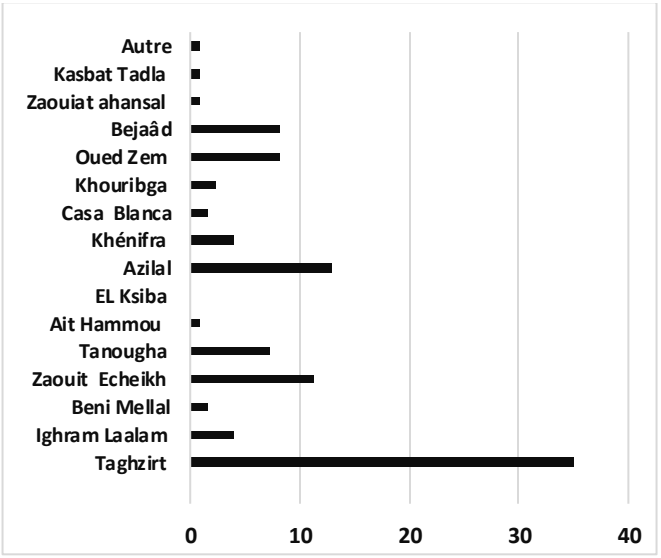
Figure 10. 8 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans la commune celui de Taghzirt :



1-2 L'origine géographique de la population des zones menacées dans le centre de Tanougha:

Les zones menacées du centre de Tanougha par les inondations sont habitées par 56,86% de la population originaire du centre, tandis que 43,11% de population vient de l'extérieur du Tanougha, à savoir Béni-Méllal, Azilal, Khenifra, Khouribga, Oued Zem, Boujaad, Kasba Tadla et Zaouiat Ahancal, avec des proportions variables (fig 10.9).

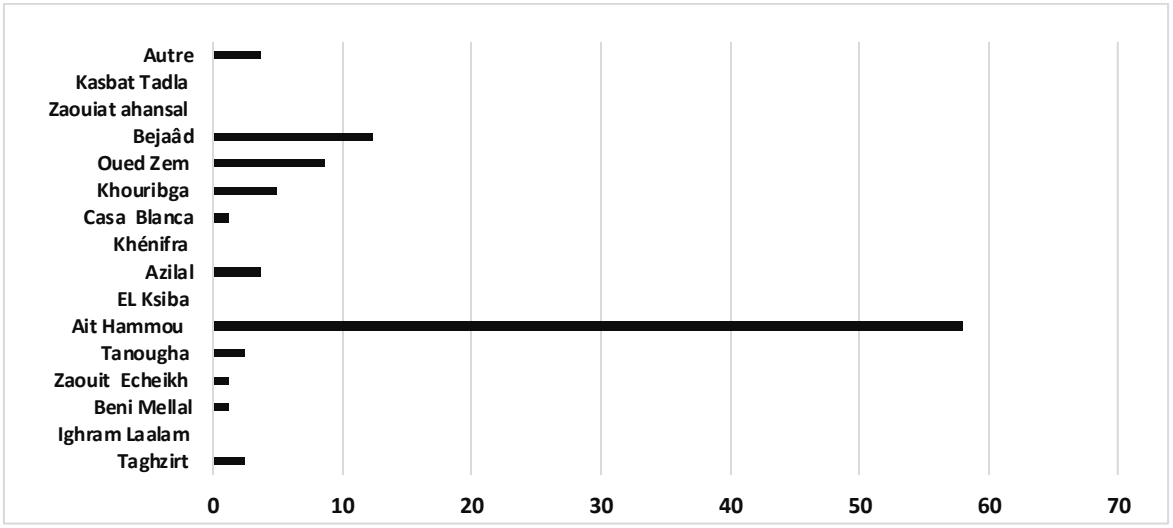
Figure 10. 9 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans la commune de Tanougha



1-3 L'origine géographique de la population des zones menacées dans le douar d'Ait Hammou Abdessalem :

Les zones inondables dans le douar d'Ait Hammou Abdessalem ont attiré une population importante de migrants de l'extérieur du douar avec 41,08%. La population qui a migré vers ces douars appartient aux villes d'Oued Zem, Zaouit Echiekh, Centre de Tanougha, Centre d'Ighrem Lalamn et la ville de Béni-Mélla1 (fig 10.10).

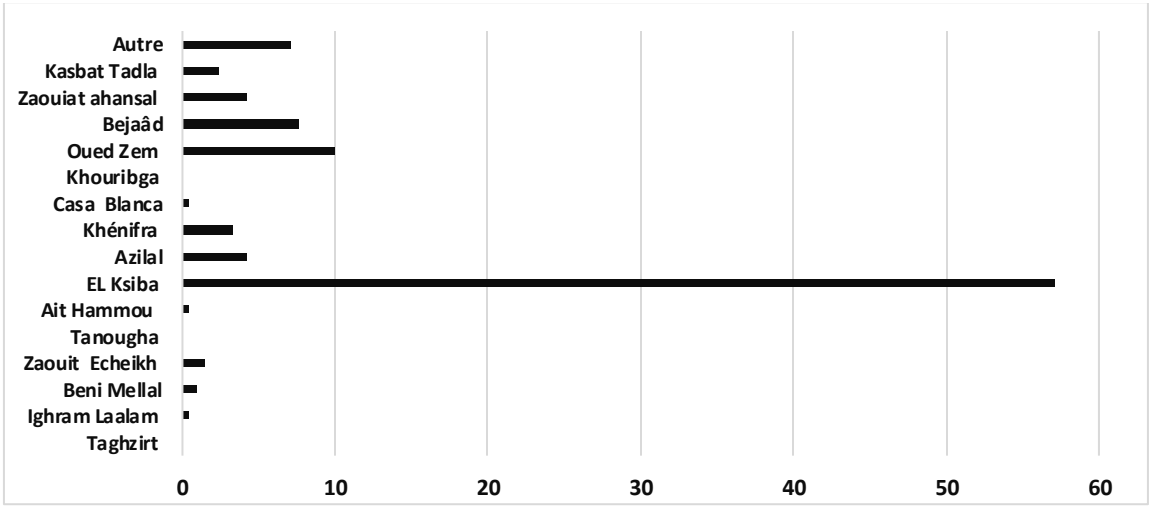
Figure 10. 10 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans le douar de Ait Hammou Abdessalem.



1-4 L'origine géographique de la population des zones menacées dans la ville d'El-ksiba:

D'apres le figure 9.11, on peut noter qu'environ 57,14% de la population des quartiers menacés par les inondations dans la ville d'El-ksiba sont originaires de la même ville et 42,86% de la population viennent de l'extérieur d'El-Ksiba, avec 10% de cette population originaire d'Oued Zem, 4,29% d'Azila1 et de Zaouiat Ahancal, 3,33% de Khenifra, 2,38% de Tadla, et d'autres zones telles que Ait Hammou Abdessalem, Zaouit Echiekh et Casablanca avec des faibles pourcentages.

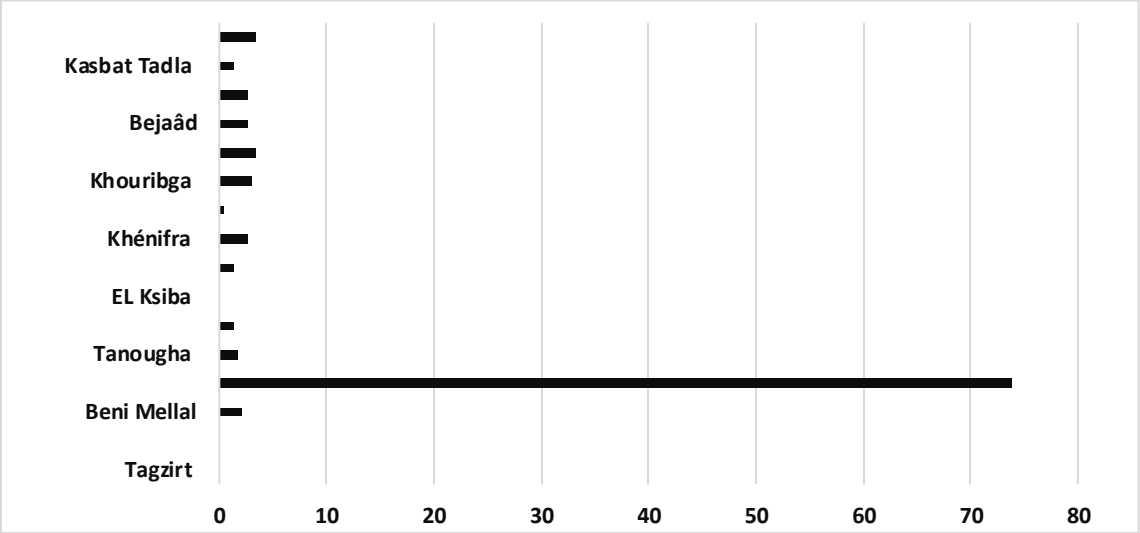
Figure 10. 11 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans la ville de El-Ksiba.



1-5 Origine géographique de la population des zones menacées dans la ville de Zaouit Echiekh :

L'origine géographique de la population des zones menacées par les inondations dans la ville de Zaouit Echiekh est variable. Elle se compose de 26,09% originaire de l'extérieur de la ville. Les zones de Béni-Méllal, Tanougha, Azilal, Khénifra, Khouribga, Oued Zem, Boujaad, Kasba Tadla et Zaouiat Ahancal, sont parmi les zones les plus importantes qui chassent la population vers cette ville avec des pourcentages variables (fig 10.12).

Figure 10.12 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans la ville de Zaouit Echiekh.



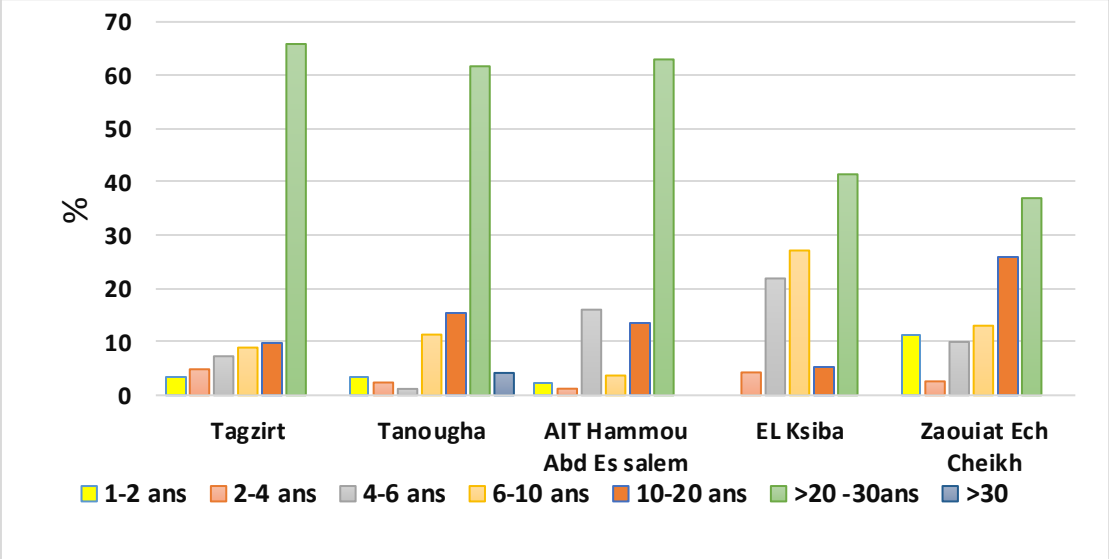
Globalement, les zones menacées par les inondations dans le "dir" de Béni-Méllal connaissent une nette différence entre les différents domaines de la zone de l'étude en termes de l'origine géographique de la population immigrante. Mais on remarque que la majorité des habitants qui s'installent dans les zones menacées sont originaires du dir.

Le pourcentage de la population venue dans ces centres de l'extérieur de la zone d'étude est de 26,09% à Zaouit Echiekh, 42,86% à El-Ksiba, 41,8% à Ait Hammou Abdessalem, 41,11% à Tanougha, et 65,04% à Taghzirt.

Quant à la durée d'installation de la population dans ces zones à risques, on constate que la majorité de la population enquêtée ne dépasse pas une année :65,8% à Taghzirt, 61,6% à Tanogha, 96% à Ait Hammou Abdessalem. La population dont la durée d'installation se situe entre une année et deux est constituée de 3% à Taghzirt, 3,6% à Tanougha, 2,47% à Ait Hammou Abdessalem et 11,3% à Zaouit Echiekh. Alors que la population, dont la durée de résidence varie 10 ans et 30 ans, représente 41,43% et 36,96% Respectivement à El-Ksiba et à Zaouit Echiekh, et entre 61% et 65% à Tanougha, Ait Hammou Abdessalem et Taghzirt (fig 10.14).

Cela montre que ces zones ont attiré et continuent d'attirer Une catégorie sociale fragile de l'intérieur, comme de l'extérieur du domaine de l'étude. Ce qui fait de ces zones à risques des espaces d'auto-urbanisation anarchique par excellence, Et cela avec une carence en termes de suivi, de contrôle et d'application de la loi.

Figure 10. 13 : Durée de l'installation de la population dans les zones à risques.

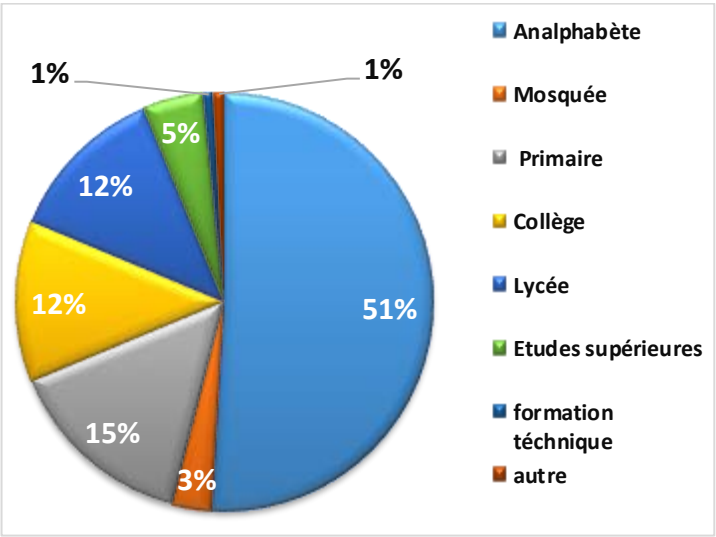


2. Niveau d'éducation de la population des zones menacées par les inondations:

Le niveau d'éducation joue un rôle important dans la prise de conscience par la population des risques qui la menacent, ainsi que certains comportements qui lui font assumer la responsabilité dans la gestion de leur espace, et dans la façon dont elle l'exploite.

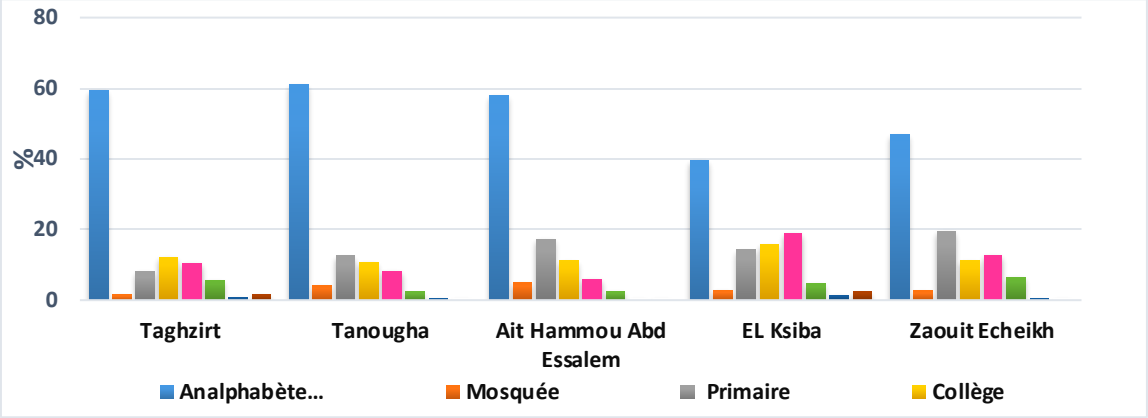
Il apparait clair à travers le graphe 9.14 que l'analphabétisation est de 51% dans la population totale du dir. Ce pourcentage atteint 61,08% à Tanougha, 59,35% à Taghzirt 58,02% à Ait Hammou Abdessalem, 39,52% et 46,96% à El-Ksiba et Zaouit Echiekh. Cependant, seulement 3% de la population du "dir" a été éduqué dans les mosquées, 15% dans l'enseignement primaire, 15% dans l'enseignement collégiale, et 12% de l'enseignement secondaire, alors que seulement 5% étaient inscrits dans l'enseignement supérieur et 1% dans l'enseignement technique (fig 10.14) et (fig 10.15).

Figure 10. 14 : Le niveau d'éducation de la population des zones menacées.



Le niveau élevé de l'analphabétisation est attribué au taux élevé de l'abondance scolaire, Et au facteur d'isolement, qui empêche une proportion importante de la population de bénéficier des services éducatifs disponibles.

Figure 10. 15 : Le niveau d'éducation de la population des zones menacées.



En général, le taux élevé de l'analphabétisme dans la population des zones menacées, contribue d'une manière ou d'une autre à l'aggravation des inondations et à l'augmentation des dégâts. Ceci et du aux plusieurs facteurs : absence de la culture du risque ; accès plus ou moins facile au lot de terrain ; absence de sensibilisation ; manque d'information relative aux zones à risques.

3. Statut professionnel: Importance du chômage:

Le statut professionnel est considéré comme un indicateur important qui doit être étudié pour aborder les caractéristiques socio-économiques de la population de l'aire de l'étude. D'après la figure 9.16, on remarque que le taux de chômage à l'intérieur de la population des zones fragiles du "dir" de Béni-Mélla1 est élevé, avec un taux de 8% chez les hommes et 16% chez les femmes. Ce taux de chômage varie aussi d'une zone à l'autre, avec 21,95% à Taghzirt, 32,93% à Tanougha, 33,33% à Ait Hammou Abdessalem, 19,05% à El-Ksiba et 22,61% à Zaouit Echiekh. L'augmentation de ce taux de chômage dans certaines zones fragiles est due à l'augmentation du pourcentage de femmes-chefs de familles au chômage (fig 10.16). En second lieu, On trouve les professions liées à l'agriculture avec 12%, 13% de saisonniers dans le domaine agricole sous forme des ouvriers agricoles. Ainsi l'agriculture est l'activité principale de la population (25%).

D'une manière générale, on constate au niveau des activités une différence entre les populations des zones d'études. Les activités agricoles et activités annexes représentent 35,77% à Taghzirt, 26,95% à Tanougha, 34,56% à Ait Hammou Abdessalem, 18,58% à El-Ksiba et 21,3% à Zaouit Echiekh. Il est clair que l'agriculture est l'activité principale de la population de ces zones fragiles surtout pour les centres de Taghzirt, Tanougha et Ait Hammou Abdessalem, et elle est moins importante dans les villes d'El-Ksiba et Zaouit Echiekh (fig 10.16).

Les autres professions sont réparties entre employés (8%), commerçants (8%) fonctionnaires (4%), conducteurs (3%), immigrants (4%), personnel militaire (6%), travailleurs de la construction (7%), techniciens (2%), (fig 10.16). Notons aussi que le pourcentage de la population qui travaille dans l'agriculture à El-Ksiba et Zaouit Echiekh est en recul en faveur d'autres professions, tels que le commerce et les services techniques.

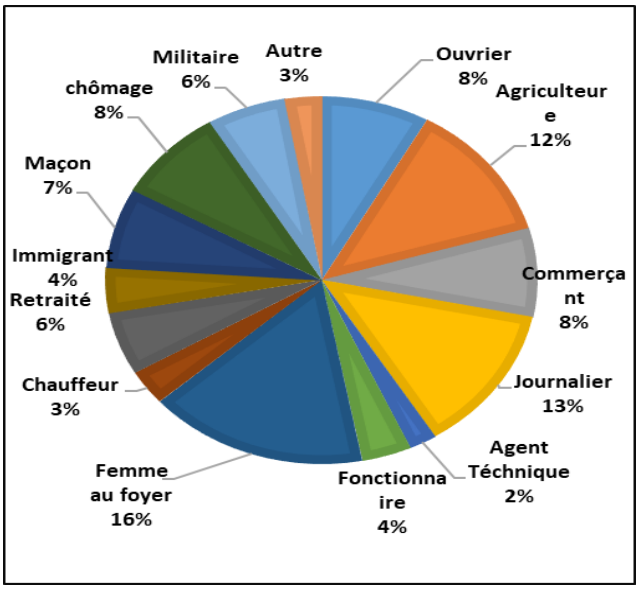


Figure 10.16 : statut professionnel de la population des zones à risques dans le "dir" de Beni Mellal.

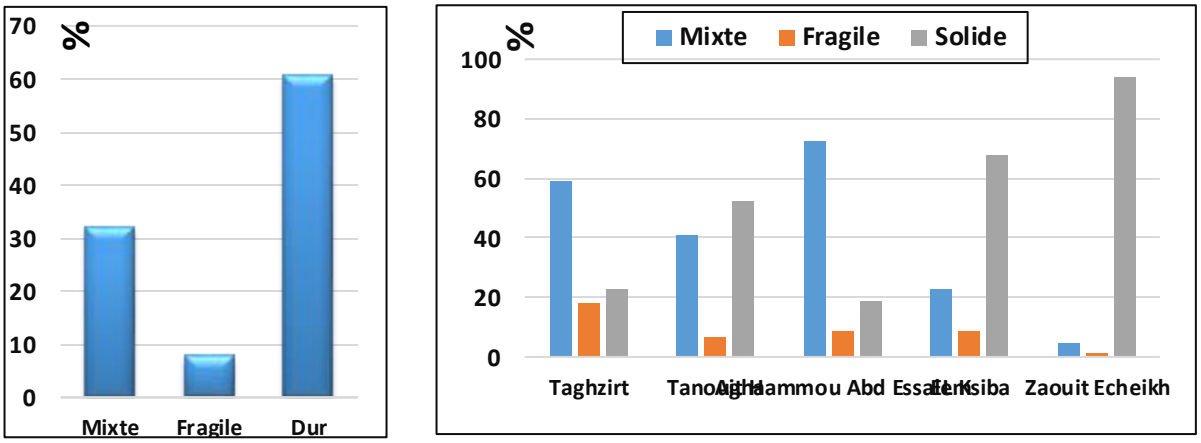
En général, les zones fragiles du "dir" de Béni-Méllal attirent une population travaillant dans des professions diversifiées et dans tous les secteurs ; ceci confirme que ces zones attirent une population qui souffre de la fragilité socio-économique.

4. Le logement et la structure des ménages sont des indicateurs importants de la fragilité des populations des zones vulnérables :

Le logement résume les caractéristiques socio-économiques de la population, ainsi que les méthodes de planification adoptées par les institutions, comme il témoigne de la vulnérabilité ou le bien-être de la population, et par conséquent, son étude nous permet de comprendre la réalité du vécu de la population, ainsi que les vrais motifs de l'installation des populations dans ces domaines, et leur capacité à résister à la menace continue des inondations.

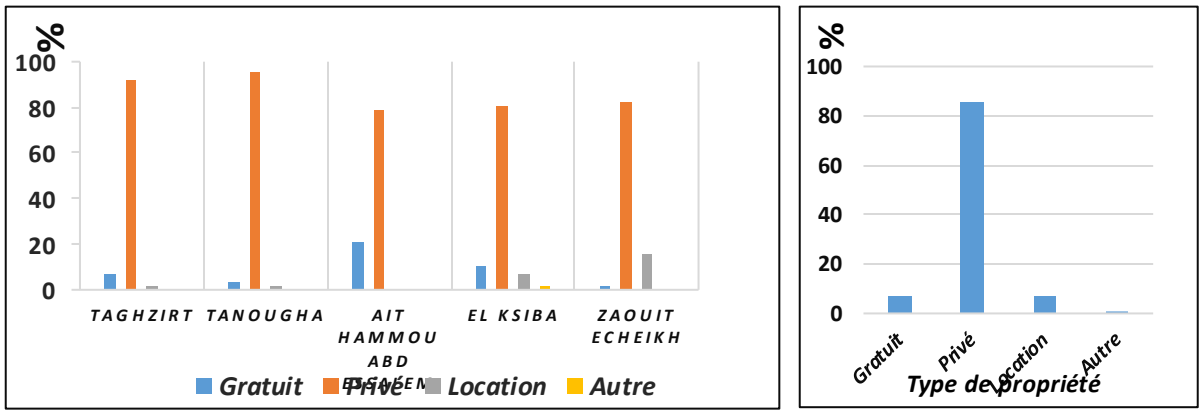
Le logement dans les zones menacées du "dir" de Béni-Méllal est constitué de 60,42% de des constructions en dur (fig 9.18). Les taux les plus élevés de ce type de logement ont été enregistrés à Zaouit Echiekh avec un taux de 93,91%, 68,10% à El-Ksiba et 52,69% à Tanougha alors que seulement 18,52% a été enregistré à Ait Hammou Abdessalem et 22,76% à Taghzirt (fig 10.17). Cependant les constructions mixtes enregistrent 31,94% à Ait Hammou Abdessalem, 72,84%, Taghzirt avec 59,35% et Tanougha avec 40,72%. Alors que ce type de logement ne représente que 4,78% à Taghzirt et 22,86% à El-Ksiba. Quant au logement vétuste, il enregistre 7,64% dans les zones menacées du "dir" avec un pourcentage de 17,89% à Taghzirt, alors qu'il est de 6,59% à Tanougha, 8,64% à Ait HammouAbdessalem, 9,05% à El-Ksiba, 1,30% à Zaouit Echiekh.

Figure 10. 17 : type de logement dans les zones inondables.



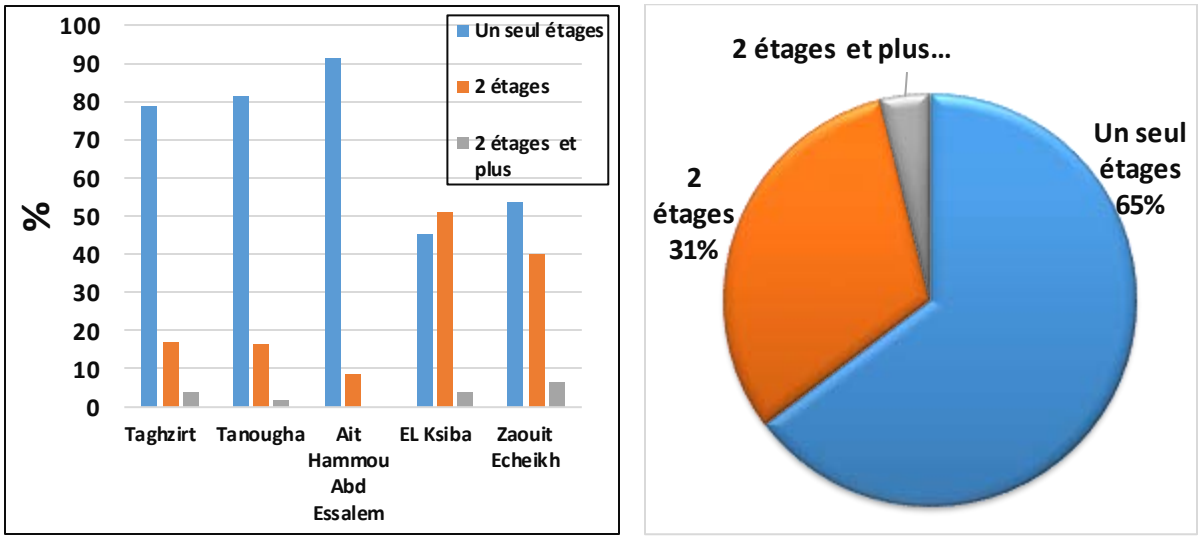
Le taux élevé des constructions en dur dans ces zones est attribué à sa capacité de résistance, comme il est choisi par la population pour se protéger des inondations. Ce type de logement souligne également l'existence d'une population avec un statut social stable ou aisé. Par contre, l'existence de logements mixtes et de logements vétustes confirme la fragilité socio-économique de la population et sa vulnérabilité aux risques d'inondation. La propriété privée domine le statut de propriété du logement avec un taux moyen de 85,82%, soit 91,87% à Taghzirt, 95,21% à Tanougha, 82,61% à Zaouit Echiekh, 79,01% à Ait HammouAbdessalem et 80,95% à El-Ksiba. La location vient en deuxième position avec un moyen de 6,91% et le logement gratuit avec 6,78% comme moyen (fig 10.18).

Figure 10. 18 : Type de propriété des maisons dans les zones à risques.



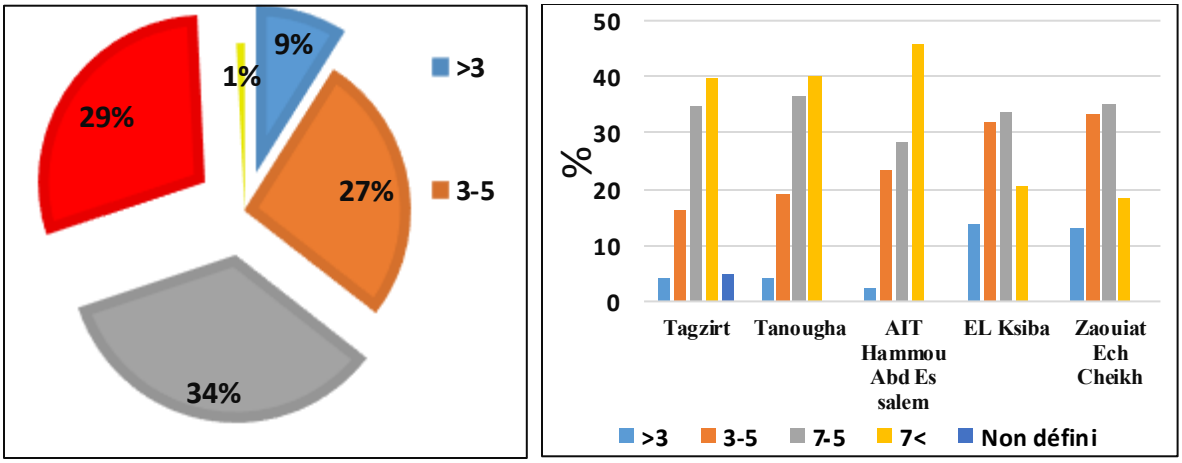
On peut noter aussi que 65% des maisons ont un seul étage, 31% ont deux étages et 4% sont des maisons avec trois étages. Ces pourcentages diffèrent d'une commune à l'autre, ainsi les logements à un seul étage atteignent un pourcentage de 91,36% à Ait Hammou Abdessalem, 81,44% à Tanougha et 78% à Taghzirt. Alors que ce pourcentage n'est que de 45,24% à El-Ksiba et 53,48% à Zaouit Echiekh, en faveur des logements à deux étages qui représentent dans les deux zones, un pourcentage de 50,59% à El-Ksiba et 40% à Zaouit Echiekh (fig 10.19).

Figure 10. 19 : Nombre d'étages des logements dans les zones menacees.



Ceci indique que ces zones sont caractérisées par le logement individuel, (une seule famille,). Il est à noter aussi que le nombre des membres de la famille dans ces zones est de 5 à 7 personnes. 34% de l'ensemble de la zone d'étude, ont des familles avec 3 à 5 individus (fig 10.20).

Figure 10. 20 : Nombre des membres de familles dans les zones à risques.

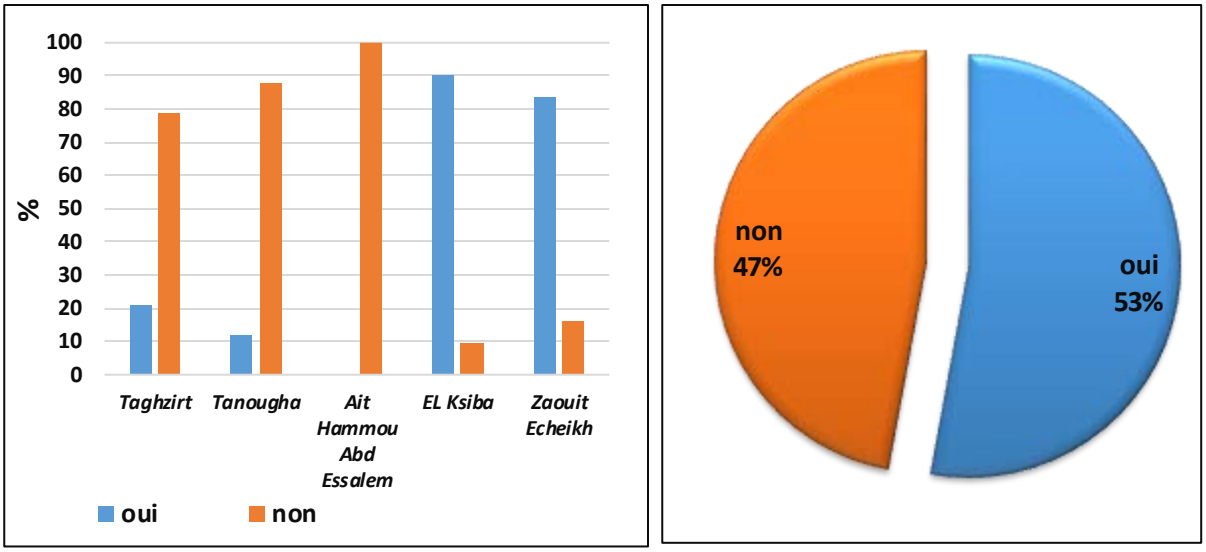


5. Infrastructures et leur rôle dans l'aggravation des inondations :

Les infrastructures jouent un rôle important dans l'aggravation ou dans l'atténuation des inondations. L'assainissement liquide est considéré comme une des installations directement liées au problème des inondations car il joue un rôle important dans le drainage des eaux pluviales dans les zones bâties. Cependant, son absence ou son inadéquation avec le nombre d'habitants et le volume des précipitations pluviales font des vallées et des chaabats, des espaces d'évacuation des eaux usées. Et d'autre part, l'absence de l'assainissement liquide aggrave également les inondations.

On peut noter, d'après la figure 9.21 que 47% de la population des zones menacées par les inondations dans le "dir" ne bénéficient pas d'un réseau d'assainissement. Ce réseau fait défaut dans le douar douar d'Ait Hammou Abdessalem ; 88 % à Tanougha, 79% à Taghzirt de la population enquêtée ne possède pas ce srvice d'assainissement. Par contre, la population de la ville d'El-Ksiba et celle de Zaouit Echiekh bénéficie respectivement de ce service à hauteur de 90% et 80%.

Figure 10. 21 : La disponibilité du réseau d'assainissements chez la population des zones à risques.



Le réseau d'assainissement unitaire ou séparé (eaux usées et eaux pluviales) représente donc l'un des facteurs les plus importants pour atténuer l'intensité des inondations. Comme, il permet le drainage des eaux pluviales. Les centres ruraux de la zone d'étude ne possèdent pas un réseau d'assainissement qui peut absorber les pluies reçues par l'espace urbain imperméabilisé par une urbanisation anarchique et non maitrisée. On note également que les deux villes, El-Ksiba et Zaouit Echiekh, même s'elles possèdent un réseau d'assainissement, ce dernier souffre du problème d'envasement lié aux sédiments charriés par les eaux de crues à cause de l'érosion des sols à l'échelle des bassins versants. Le problème est aggravé aussi par l'accumulation des déchets solides dans ce réseau d'assainissement. Ce qui entrave l'écoulement normal des eaux et aggrave ainsi les inondations.

5-1 Les infrastructures associées à l'évacuation des eaux pluviales :

D'après les investigations du terrain, on a constaté que les villes et centres ruraux ne bénéficient pas d'une manière uniforme de l'installation de canaux d'évacuation des eaux pluviales. Ait Hammou Abdessalem, par exemple, n'est pas équipé de ce type de canaux. A Taghzirt, deux canaux longeant la route des deux côtés, droit et gauche, ont été réalisés pour évacuer l'eau de pluie. Mais, on a remarqué que ces canaux ne jouaient pas leur rôle. Car au moment de pluie ces canaux restent vides et l'eau prend une autre direction.

Dans le centre de Tanougha, et à l'exception de la construction du canal Tanougha hérité de la période coloniale, on a noté l'absence quasi-totale de ce type de canaux. Dans ce centre les canaux d'irrigation jouent un rôle important dans l'évacuation d'une partie importante des eaux

de pluie vers les zones agricoles. Il en est de même au douar d'Ait Hammou Abdessalem où les canaux d'irrigation jouent le même rôle d'évacuation des eaux de pluie.

En revanche, la ville d'El-Ksiba a bénéficié de la réalisation d'un ensemble d'équipements liés à l'évacuation des eaux des chaabats comme la chaabat Al Mokhaem, chaabat el Khaer, et la chaabat aqqa Nouallabouch, où les travaux ont été arrêtés à cause de l'opposition de la population. Mais ces canaux d'évacuations des eaux de pluie souffrent également de l'envasement et de l'accumulation des déchets solides. Ce qui entrave la circulation normale des eaux et aggrave ainsi les inondations dans ces espaces urbains. La ville de Zaouit Echiekh connait également l'absence quasi-totale des équipements de l'évacuation des eaux pluviales, à l'exception de quelques obstacles érigés par les habitants pour protéger leurs habitations des inondations de l'oued Ikkuor.

IV) La carte de la vulnérabilité :

L'identification des éléments menacés par le risque des inondations constituent une étape primordiale dans la stratégie d'aménagement qui vise la diminution de la vulnérabilité.

Plusieurs composantes de l'espace sont prises en considération en particulier les habitants, leurs patrimoines et leurs activités situées dans les zones des inondations. Le recensement de ces éléments leur catégorisation et leur classification permet l'identification des priorités dans les plans d'aménagement.

Diverses méthodes de constitution des cartes de vulnérabilité existent en partant de l'approche hydro-morphologique à l'approche historique, le travail de terrain où la modélisation hydrologique.

Dans la présente étude nous nous somme base sur deux approches qui se complètent : la modélisation hydrologique pour la détermination des zones vulnérables dans les localités de Zaouit Echiekh et Ait Hammou Abdessalem vue la disponibilité des données hydrométriques et l'existence d'un model numériques de terraine à haute résolution. Alors que dans les autres localités (El-Ksiba, Taghzirt, Tanogha) nous nous base sur les résultats du travail de terrain.

Cette diversification des approches nous permet la possibilité d'établir la comparaison des résultats des deux méthodes du point de vue de la précision d'une part, et de l'autre part de la couverture de l'ensemble des centres du "dir" dans la carte de vulnérabilité.

Afin d'évaluer et cartographier le degré de la vulnérabilité des riverains et les déférents composante de l'espaces face aux inondations, nous nous sommes appuyés sur des enquêtes par questionnaires (Annexe 8). Nous avons visé tous les riverains et toutes les acteurs locaux (856) et les établissements vulnérables implantés dans les zones inondables de tous les oueds et chaabtas traversant les agglomérations de "dir" :

Pour évaluer la vulnérabilité des riverains, les établissements vulnérables, les activités économiques et les déférentes infrastructures publiques nous nous sommes basés sur cinq critères :

- La position de l'enjeu par rapport à l'oued ou chaabta (éloignement et hauteur par rapport à l'oued) ;
- La fréquence des débordements de l'oued ;

- Les dommages (matériels) causés et/ou éventuels ;
- Nombre de la population en danger et leur degré de vulnérabilité (enfants, adultes...)
- Matérielles de constructions.

Grace aux résultats des différents aspects de la vulnérabilité recueillis d'après les questionnaires, nous avons pu évaluer le degré de vulnérabilité de chaque « enjeu » enquêté, classé en trois niveaux (faible, moyen, élevé) comme suit :

- **-L'habitat** : est le principal élément menacé par les inondations dans toutes les zones de l'étude.
- **Les activités économiques :** englobent les activités agricoles, l'industrie, le commerce et les services.
- **Les institutions publiques:** regroupent divers établissements publics dont notamment les établissements scolaires et les centres de santé.
- **Les équipements et les infrastructures:** constitués des réseaux des routes principales et secondaires, des ponts, du réseau d'irrigation et l'éclairage public.

Nous visons à travers la carte de vulnérabilité l'exposition des principaux éléments menacés par les inondations ainsi que la classification des zones selon le degré de leur vulnérabilité : (faible, moyen, fort).

1. La carte de vulnérabilité du centre de Taghzirte :

La carte 10.6, nous permet de constater que les activités agricoles dans la zone du delta restent les plus exposées aux risques d'inondations vue leur position dans le lieu de rencontre du l'Oued Aqq'a n'Hancale et l'Oued Derna.

En ce qui concerne les infrastructures de base, les ponts et le réseau routier sont considérés les plus exposés aux risques de démolition, ainsi les ponts reliant Douar Ait Hbibi et Taghzirte, Taghzirte et Ait Takhmiste, Ait Hbibi et Douar Zaouia restent les ponts les plus menacés.

2. La carte de vulnérabilité du centre de Tanougha:

Au niveau Chaabat Tanougha Centre : les exploitations agricoles situées le long de la Chaabat sont considérées les plus exposées aux risques des inondations, en effet les inondations se propagent pour couvrir toutes les terres agricoles les structures et services publics (siège de la commune, terrain de sport de proximité) en plus des infrastructures de base présentées dans la route provinciale et son pont.

Au niveau de Chaâbat Anoufi : les principaux éléments menacés sont situés à Tanougha centre et concernent les activités agricoles et leurs infrastructures cde base (canaux d'irrigations Saguia) en plus des constructions d'habitation, outre ces éléments on trouve les ponts et le réseau routier. Le centre Tanougha, Douar Taghia et Sidi Bouameur sont considérés les plus menacés (carte 10.7)..

3. La carte de vulnérabilité du centre d'El-Ksiba:

- Au niveau de l'Oued Aghbalou Nouhlima

En ce qui concerne les infrastructures de base, les constructions du centre national d'estivage sont considérées parmi les zones les plus exposées aux inondations en plus du pont reliant Laksiba, Zaouit Echiekh et le centre de transfert d'énergie.

Pour les activités agricoles : les activités agricoles menacées se situent le long du l'oued dont le niveau augmente pour couvrir toutes les terres agricoles limitrophes. En plus des éléments qui sont mentionnés les constructions d'habitations sont concentrées au fond de l'Oued, en particulier dans la zone qui s'étend entre la route provinciale et la chaâbat de Tanogha centre d'estivage faisant d'elles une zone vulnérable permanente aux risques des inondations.

- Au niveau du Chaâbat Ain El Khair de droite et Ain El Khaid de gauche et Chaâbat Aqq'a n'ou allbouche :

Il est clair que les éléments les plus exposés aux risques des inondations concernent tous les espaces situés en bas des Chaâbats précitées et intéressent en particulier : les quartiers Al Khir, Ouali, Jadid Mahrak, le quartier du battoir jusqu'au quartier Annasr. Les inondations s'étendent dans ces quartiers pour couvrir toutes les constructions d'habitation, le Souk hebdomadaire et les terres agricoles en plus de l'école Tarik Ibn Ziyad (carte 10.8).

4. Cartes de la vulnérabilité de douar Ait hammou Abdessalem :

La carte montre clairement que les éléments les plus exposés aux risques des inondations concernent tous les espaces situés en bas dès l'oued Ikkour précitées et intéressent en particulier : les quartiers Ikkour amont, ikkour avale, tasslaft et Boujdour,

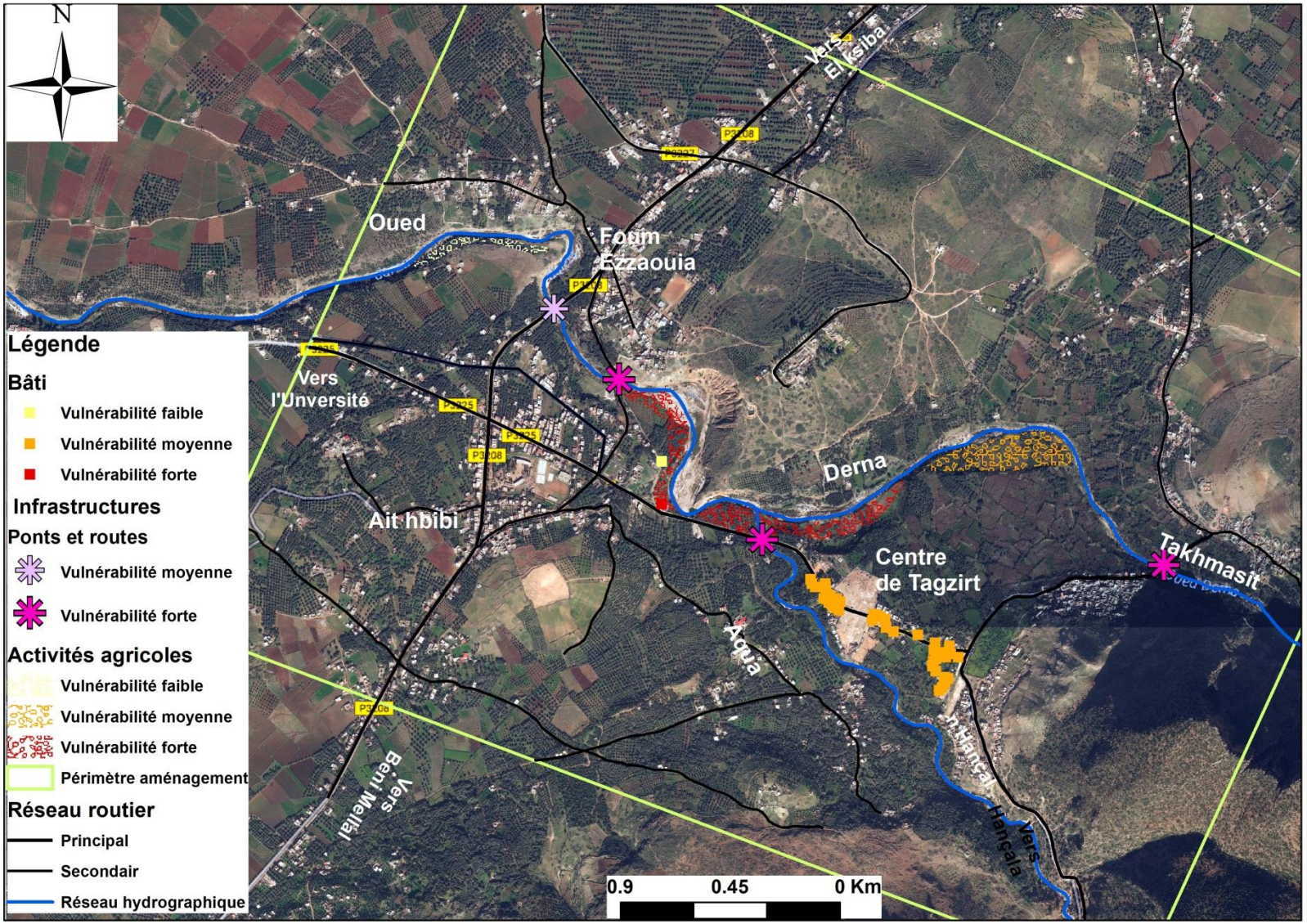
En ce qui concerne les infrastructures de base, les ponts et le réseau routier sont considérés les plus exposés aux risques des inondations (carte 10.9).

5. Carte de la vulnérabilité de Zaouit Echiekh:

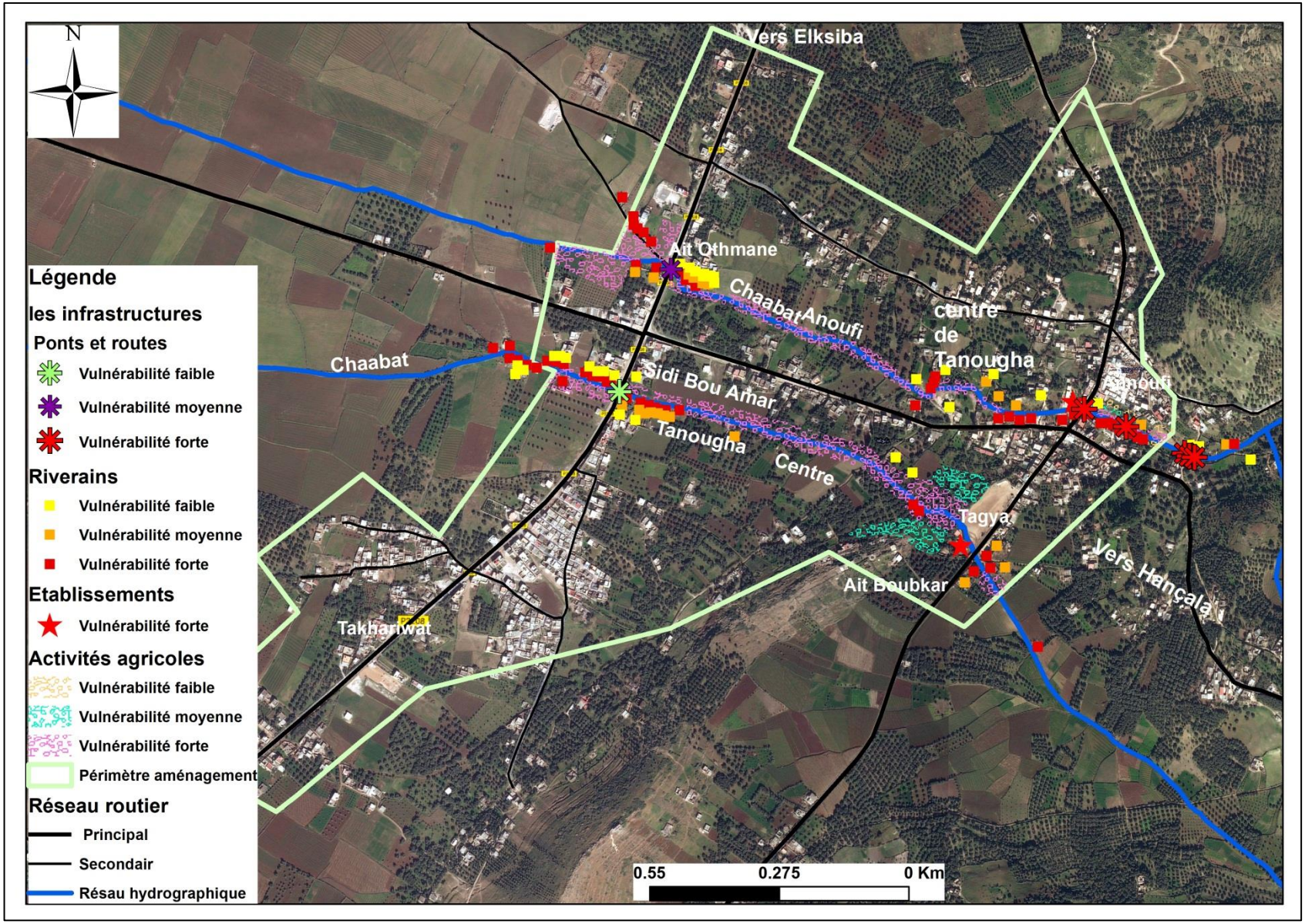
La carte montre clairement que les éléments les plus exposés aux risques des inondations concernent tous les espaces situés en bas dès l'oued Ikkour précitées et intéressent en particulier : les quartiers Ikkour amont, ikkour avale, tasslaft et Boujdour,

En ce qui concerne les infrastructures de base, les ponts et le réseau routier sont considérés les plus exposés aux risques des inondations (carte 10.10).

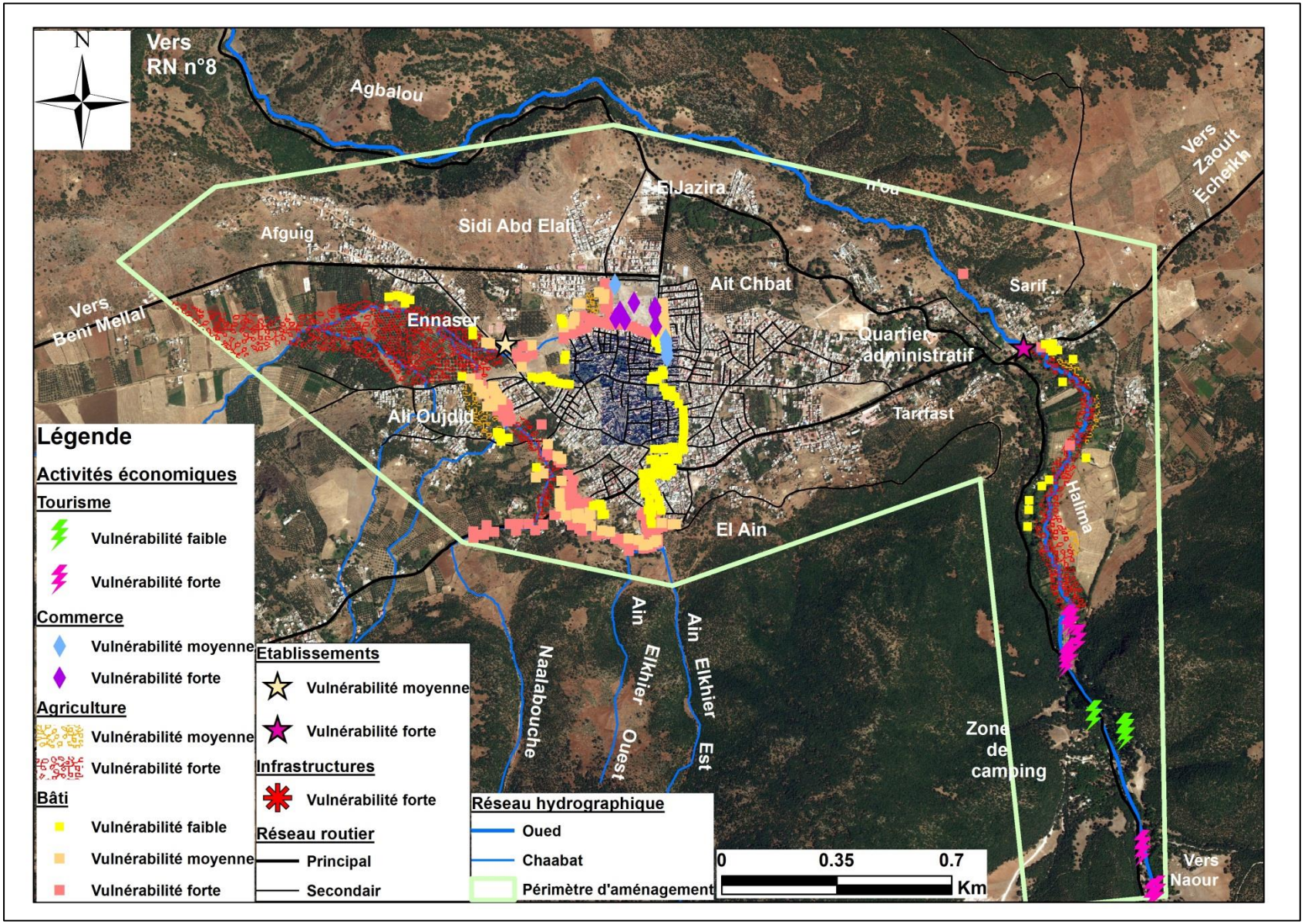
Carte 10. 6 : vulnérabilité du centre de Taghzirt.



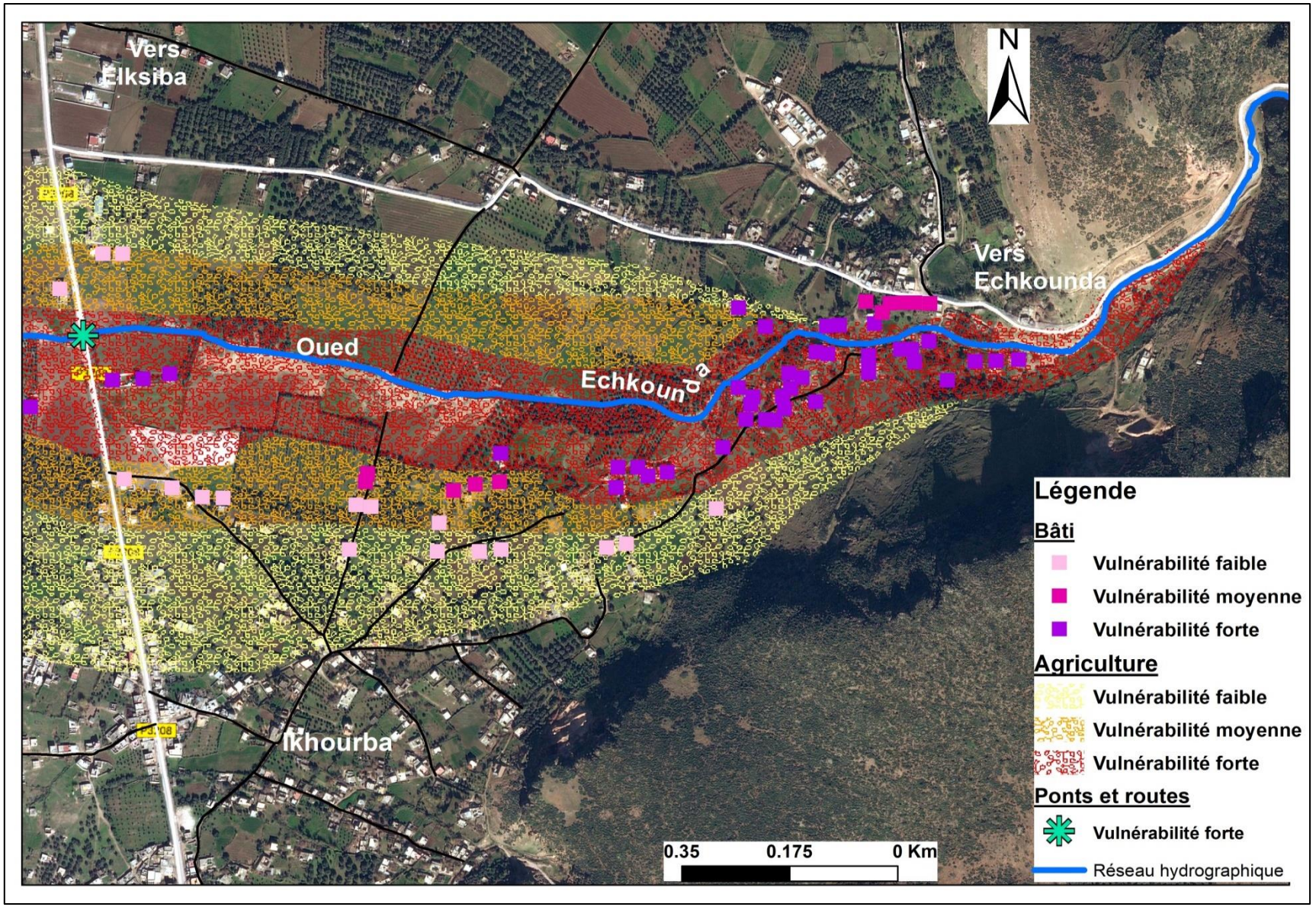
Carte 10. 7 : vulnérabilité du centre de Tanougha.



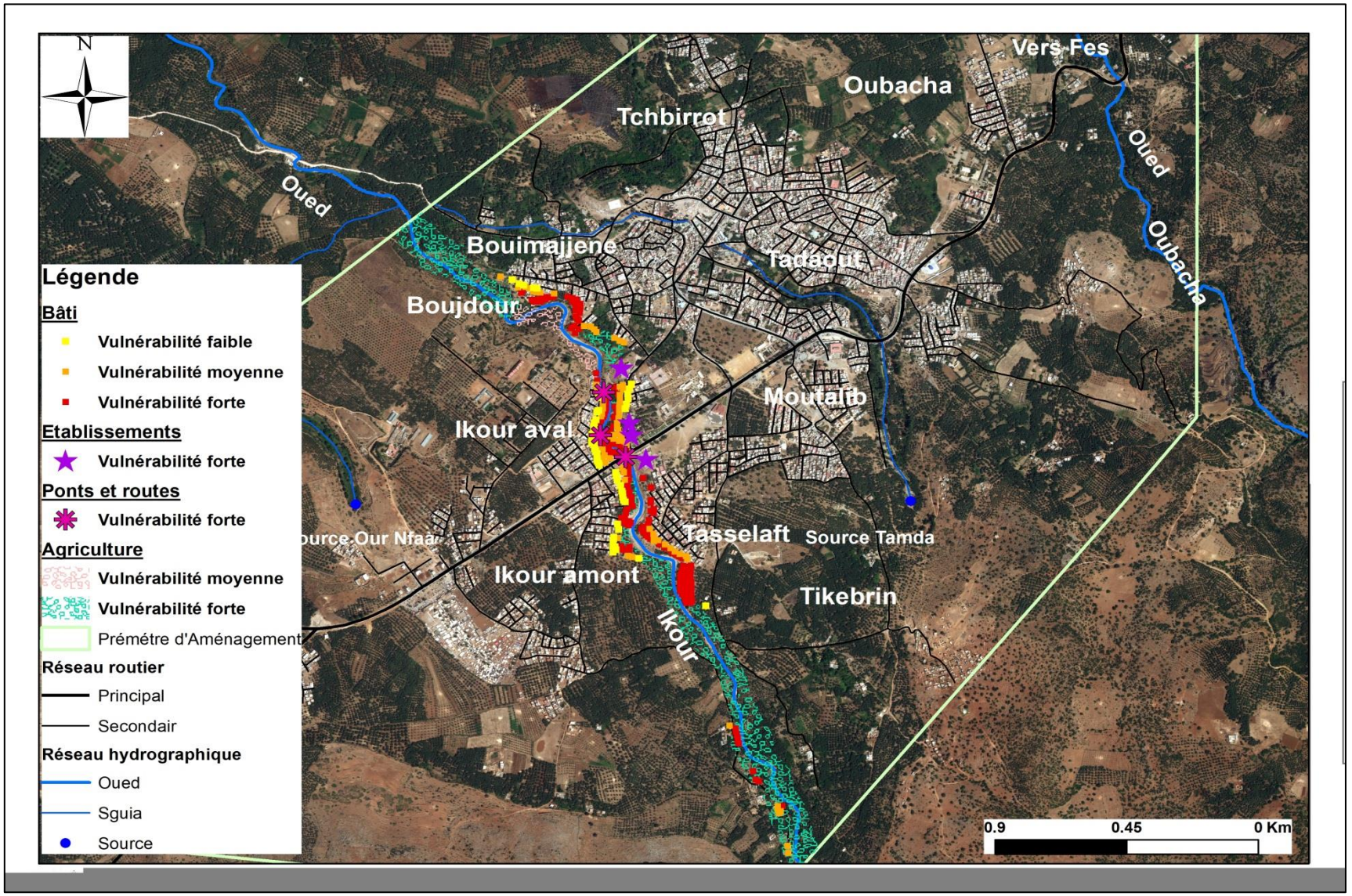
Carte 10. 8 : vulnérabilité de la villes de El-Ksiba.



Carte 10.9 : carte de vulnérabilité de Ait Hammou Abdessalem



carte 10.10 : carte de vulnérabilité de Zaouit Echiekh



Conclusion du chapitre 9:

En guise de conclusion, on peut dire que :

Un certain nombre de facteurs (historiques et économiques…) ont joué leurs rôles pour faire du "dir" de Béni-Méllal une zone qui a connu une urbanisation ancienne.

- La migration a joué un rôle important dans l'extension urbaine qui caractérise le dir, et a aussi contribué de manière significative à la propagation des logements anarchiques dans les zones menacées par les inondations.
- L'urbanisation croissante des villes et des centres du "dir" de Béni-Méllal a joué un rôle important dans l'aggravation du phénomène des inondations par le peuplement des zones inondables et l'influence sur le comportement hydrologique des Oueds et les chaabat d'une part et sur le facteur de perméabilité d'autre part. Ce qui a affecté les temps de réponse et de concentration des eaux dans les bassins fluviaux.
- Nous pourrons conclure également, que la pauvreté et les prix bas de l'immobilier dans les zones menacées par les inondations ont encouragé une grande partie de la population à s'installer dans ces zones, en plus de la croyance au destin, et d'autres facteurs qui sont liés à la situation juridique et aux procédures administratives, pour faire de ces zones des zones d'attraction.
- Les zones à risque du "dir" de Béni-Méllal attirent une population caractérisée par des taux élevés de chômage. Ceci confirme que ces zones attirent une population qui souffre de la fragilité socio-économique à s'installer dans ces zones. Elles attirent aussi d'autres populations qui exploitent l'absence de l'Etat et de ses institutions pour bénéficier des avantages économiques et immobiliers, notamment en ce qui concerne les prix de l'immobilier et les règles juridiques et administratives liées au bâtiment.
- Le taux élevé d'analphabétisme de la population des zones menacées contribue d'une manière ou d'une autre à l'aggravation des inondations.
- Les zone à risques souffrent de l'absence des infrastructures d'assainissement liquide. Ce qui rend les vallées et les chaabats des espaces d'évacuation des eaux usées, et l'évacuation des eaux pluviales à la fois.
- La conjugaison de tous ces facteurs fait du "dir" de Béni-Méllal un espace fragile et vulnérable devant les risques d'inondation. De nombreuses questions peuvent être posées, notamment celles liées aux représentations que fait la population des zones menacées. Quel est le degré de conscience de la population face aux risques d'inondations ? La population locale possède - t- elle une culture de risque ?

Nous allons essayer de répondre à toutes ces questions le long du chapitre 11.

Chapitre 11 : La culture du risque : caractérisation et perception:

Sommaire

Introduction:

I) Le cadre conceptuel et l'importance de l'étude des perceptions dans le diagnostic de la culture du risque:

1) La perception/représentation :
2) Le concept de la pratique :

II) Méthodologie et population cible :

III) Résultats et discussions:

1) La culture du risque à travers la carte mentale : une forte présence des inondations dans la vie quotidienne des habitants:
2) La culture du risque à travers le questionnaire : une diversité de comportements liés aux inondations:

Conclusion :

Introduction :

D'après le travail de terrain, nous avons compris que les approches hydrologiques (bassins versants, études statistiques de la pluviométrie et des débits…etc), et techniques (modélisation) ne sont pas suffisantes pour bien comprendre comment la population traite la question du risque inondation et quelle est sa réaction en cas de crise ? Cela dit que les études hydrologiques, couplées avec la dimension humaine, côté perception du risque, vont nous permettre de trouver des solutions efficaces pour lutter contre les inondations. Dans le même sens d'iddée, la compréhension du risque englober aussi la culture de risque, le comportement et la perception des habitants. Donc, l'étude de la culture du risque (perception et comportement) chez la population locale est considérée comme une étape importante dans le processus de l'étude des inondations et des facteurs de leur aggravation.

Dans l'objectif d'approfondir la recherche sur la question du risque des inondations, il convient d'aborder l'étude de la culture du risque basée sur l'analyse et l'étude des perceptions et des comportements des populations, comme étape préalable pour comprendre la culture du risque, et ses rôles dans l'aggravation du risque d'inondation dans le "dir" de Béni-Méllal.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats de l'étude de la culture du risque chez la population du "dir" de Beni- Mellal. Pour ce faire, nous avons utilisé deux outils, à savoir l'enquête et la carte mentale afin de décortiquer les éléments qui construisent cette culture, tels que les comportements de la population lors et après les inondations, la notion de risque ainsi que les perceptions.

Nous présentons également dans ce chapitre les cartes de vulnérabilité des agglomérations étudiées.

I) Le cadre conceptuel et l'importance de l'étude des perceptions dans le diagnostic de la culture du risque :

Pour pouvoir étudier la culture du risque, et ses influences sur l'aggravation du risque, il s'avère nécessaire de disposer dans un premier temps des outils cognitifs qui encadrent cette culture. Il est impossible de cerner la compréhension de la culture du risque sans avoir conscience des concepts qui l'encadrent tels que les perceptions, les pratiques et les comportements.

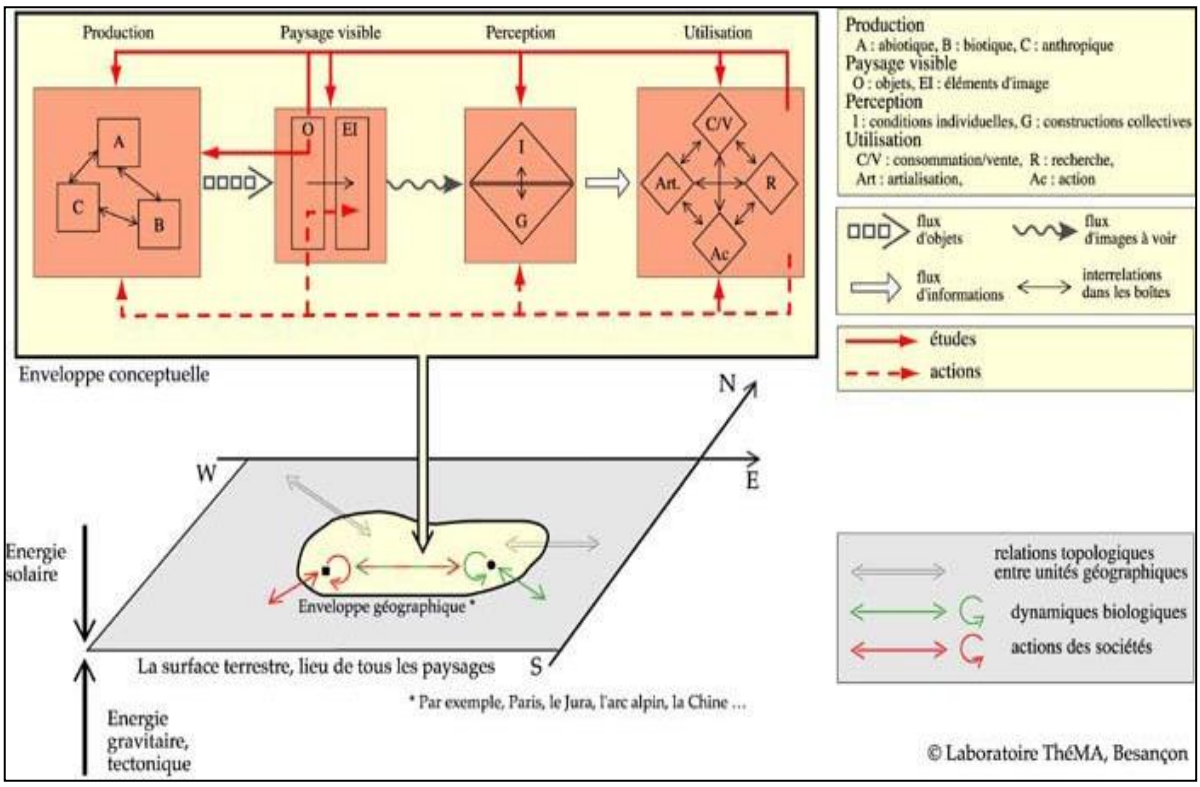
Dans ce cadre conceptuel, nous allons traiter ces concepts fondamentaux pour bien saisir l'importance des perceptions vis-à-vis de la culture du risque.

1. La perception/représentation :

L'étude des perceptions sociales est une approche importante pour comprendre les conceptions et les idées que les personnes portent envers leurs réalités sociales et le milieu dans lequel ils vivent, ainsi que leurs luttes contre les risques naturels. Pour pouvoir comprendre le problème des inondations, il ne suffit pas seulement de prendre en compte les aspects techniques (cartes, modélisations…), mais, il faut aborder également la culture du risque chez la population. D'où l'intérêt d'évoquer le concept de perception. Selon « le grand Larousse », le terme « représentation » signifie la présence d'un objet, d'une façon concrète ou imaginaire à travers la sculpture, la peinture ou le langage. Quant à Durkheim, 1889, il confirme que les représentations chez les individus diffèrent selon les valeurs culturelles qu'ils ont acquis de la société, selon leurs dispositions émotionnelles, physiques et intellectuelles. Fisher(1980) croit

que la représentation est la formulation mentale et consciente de la réalité qui transforme les sujets sociaux (personnes, contextes, positions) aux modèles symboliques (valeurs, croyances, idéologies), en lui donnant une position, qui permet d'apprécier les traits de la vie normale, à travers la reformulation de nos attitudes dans le domaine des interactions sociales (fig 11.1).

Figure 11. 1 : la porcessue de la perceptions et la carte mental (Paulet J.P, 2002).



De ce qui précède, nous pouvons dire que la représentation est le résultat des activités mentales pratiquées par l'individu et le groupe, et ce à travers des outils intellectuels, psychologiques et socioculturels dans l'objectif de reconstruire la réalité, en lui donnant une dimension sémiologique et symbolique. Aussi, nous pouvons considérer la représentation comme une série d'étapes commençant par l'observation, la sélection, la classification et la condensation ou ce que l'on appelle "l'image mentale ". Enfin, nous pouvons dire que la représentation reflète le pouvoir de l'individu d'être conscient et de contrôler son milieu de vie. Cette conscience dépend de plusieurs facteurs, qui'ls soient personnels, tel que l'âge, ou les caractères culturels, les facteurs de l'intégration et les capacités économiques. De plus, elle dépend de ce qui est purement extérieur, tels que la couleur, la forme, la taille, le positionnement, la situation, la valeur, la qualité …etc.

2. Le concept de la pratique :

La pratique, englobe deux dimensions : une dimension culturelle, c'est-à-dire les comportements de l'individu, tels que le mode de vie, coutumes et traditions, les liens sociaux…etc. et une autre dimension matérielle et territoriale, qui s'intéresse à l'étude de l'activité de l'individu dans son milieu, tel que l'activité professionnelle, l'habitat, des déplacements divers, la distraction et l'échange de visites …

Bailly A.S(1990) appelle cette opération enchaînée, le cycle du comportement de l'homme.

Elle commence et finit dans le même tissu urbain et elle passe par les valeurs, les objectifs socio- économiques, les besoins, les désirs, les choix et les décisions finales.

De cela, nous constatons que la relation entre la pratique et la perception est une relation entre l'homme et l'espace. Donc, notre intérêt aux comportements des habitants du "dir" naît de notre conviction que les comportements de ces habitants par rapport aux inondations (avant, lors, et après) sont gouvernés par ce qui est culturel (valeurs, croyances, sociales), et socio-économique. Cela nous nous conduit à étudier les représentations, et les relations qui organisent l'homme et son milieu.

II) Méthodologie et population cible :

L'étude des représentations sociales pose diverses contraintes méthodologiques dans le domaine géographique. Nous trouvons celles liées aux outils et moyens utilisés, et celles liées aux difficultés qui imposent le travail de terrain, en plus de celles liées à l'analyse et l'expression de la carte mentale.

Il faut noter qu'il existe deux types des cartes mentales : carte mentale 'sketch-map' et carte mentale 'interprétative'. Nous avons utilisé le deuxième type pour diverses raisons : le taux élevé de l'analphabétisme des habitants ainsi que le travail avec ce type de cartes exigent un savoir pscycosociologique qui permet de lire les cartes mentales.

Devant cette contrainte, nous avons utilisé 'le questionnaire', à côté des 'cartes mentales', pour étudier d'une manière profonde la culture et la notion du risque chez les familles étudiées puisqu'elles sont habituées à participer à remplir les questionnaires lors des différents Recensements Généraux de la Population et de l'Habitat (RGPH) (tab 11.2 et annexe 10.6).

Ceci dit, la carte mentale offre un regard sur la façon dont les gens produisent et expérimentent l'espace, les formes d'intelligence spatiale, et la dynamique des relations entre l'homme et l'environnement. La cartographie mentale est alors la représentation de la carte cognitive d'un individu ou d'un groupe, esquissée à la main et / ou assistée par ordinateur (Jen Jack, 2013). Pourtant, l'utilisation de la carte mentale a posé beaucoup de difficultés surtout celles liées au taux élevé de l'analphabétisme et celles liées à la communication avec les habitants en langue Amazigh. De plus, des difficultés liées au manque de collaboration, surtout parmi les responsables et les présidents des associations civiles, qui ont refusé de produire des cartes mentales, selon la question posée et la méthodologie suivie.

Dans ce cadre, nous avons adressé les cartes mentales aux élèves du Primaire, du Collège et du Lycée. L'absence de ces établissements à Ait Hammou Abdessalem et Tanougha, Nous a obligé à s'adresser aux établissements d'Igherm Laalam.Ces derniers sont les plus proches des zones étudiées, et les élèves de Tanogha et d'Ait Hammou Abdessalem se dirigent vers Ighrem Laalam pour poursuivre leurs études (tableau 10.1 et annexe 11.3). Nous avons également adressé des cartes mentales aux chefs des ménages des familles touchées par les différentes inondations qu'a connu la zone de l'étude.

La carte mentale contient diverses données liées aux données géographiques, tels que l'âge, l'origine géographique, le sexe, la profession. Il faut noter que ces informations ont une très grande importance dans l'interprétation de quelques représentations. Ces cartes ont contenu aussi la question : « Dessinez un schéma qui représente les risques qui ont touché votre ville ou

votre village ». Ensuite, 'rédigez en quelques lignes les principaux risques et dangers qui menacent votre ville ou votre village (annexe 11.1)

Après la collecte de toutes les cartes mentales, nous avons calasser les différents symboles figurants dans chaque carte selon le milieu urbain, rural et aussi ceux liés aux comportements de la population.

705 cartes mentales ont été remplies dans le "dir" de Béni-Méllal. Elles sont réparties comme suit : 139 à Taghzirt, 53 aux élèves à Tanougha, 23 aux élèves à Ait HammouAbd Salam, 159 à Lksiba, 136 à Zaouiat Echiekh, 134 à Ighrem Laalam, 42 des chefs de familles, et plus de 19 cartes mentales destinées aux étudiants de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Béni-Méllal (tableau 11.1, tableau 11.2), et annexe 11) annexe 11.2, annexe 11.3, annexe 11.4, annexe 11.5 et annexe 11.6).

Tableau 11. 1 : Distribution du questionnaire destiné à la population du "dir" de Beni Mellal.

Ville/Centre /Village	Nombre de questionnaire remplis
Taghzirt	123
Tanougha	167
Ait Hammou Abdesslem	81
El Ksiba	210
Zaouit Echiekh	230
Total	811

Tableau 11. 2 : Distribution des cartes mentales destinées à la population du "dir" de Beni Mellal.

Ville/Centre /Village	Nombre de cartes mentales remplies
Taghzirt	139
Tanougha	53
Ait Hammou Abdess	23
El Ksiba	159
Zaouit Echiekh	134
Igram lalam	136
dir de Béni-Méllal	61
Total	705

III) Résultats et discussions :

Cet axe a pour objectif d'éclaircir les perceptions et les représentations des habitants du "dir" de Béni-Méllal à propos des inondations. Nous voullons découvrir, d'une part, la culture du risque et les éléments naturels et humains attachés à cette culture et d'autre part, la manière et le style de vie quotidien des habitants en fonction des différentescouches sociales du dir. De plus, nous cherchons à bien comprendre le degré de l'impact de ces phénomènes sur la vie de la population ainsi que sur le comportement individuel et collectif de ces habitants.

1. La culture du risque à travers la carte mentale : une forte présence des inondations dans la vie quotidienne des habitants:

Comme nous l'avons déjà mentionné, nous avons dépouillé les cartes mentales selon la 'méthode quantitative' basée sur le compte des éléments naturels et les éléments indiquant l'espace urbain ; en plus du comportement de l'être humain. Il faut tenir en compte aussi la complémentarité de ces éléments dans les cartes mentales, car la deuxième méthode qualitative demande un savoir-faire permettant la compréhension des comportements psychologiques.

1-1 Les éléments naturels : la présence importante des inondations :

D'après les figures 11.1 et 11.3 nous constatons la forte présence des inondations et des éléments naturels liées aux inondations dans la carte mentale des habitants de la zone d'étude. Nous trouvons que les éléments naturels présents dans les représentations des habitants de Béni-Méllal sont les Oueds, les inondations, les arbres, le soleil, le tonnerre, les pluies, la sécheresse et les montagnes. Tous ces éléments naturels ont un rapport avec la problématique des inondations.

Les premiers éléments présents dans ces cartes mentales sont les « arbres ». Ils sont présents chez :

- 31.10% des habitants âgés entre 05 et 10 ans,
- 36.72% parmi ceux âgés de 10 à 15 ans,
- 36,67% parmi ceux âgés entre 20 et 25 ans,
- 23.13% parmi ceux âgés de plus de 25 ans.

Les arbres sont présents dans les perceptions de la population et sont liés à la dégradation des éléments naturels et aux risques d'inondations. D'autres cartes mentales ont montré que la population assume la responsabilité de la dégradation de la forêt. Tandis que, d'autres ont montré le rôle primordial de la forêt dans la protection contre les inondations.

La forte présence de la couverture végétale dans les cartes mentales montre que la population est consciente de l'importance de la couverture végétale dans la vie de la population. De plus, elle reflète que les habitants sont conscients de la forte dégradation de cette couverture végétale dans le zone du dir.

D'après la figure 11.2 nous constatons aussi qu'il y a une différence de la présence de la forêt dans les perceptions de la population, d'un âge à un autre et d'un espace à un autre. Cela est dû à la relation étroite entre la forêt et la vie quotidienne des habitants. Dans le cas du village 'd'Ait Hammou Abdessalem', nous constatons ce fait chez 26% (fig 11.2) pour des habitants âgés entre 05 et 10 ans, car cette catégorie, considère la forêt comme un champ de jeu d'un côté et un lieu de pâturage, d'un autre côté.

Les oueds et les Chaabats sont le deuxième élément naturel présent dans les perceptions des habitants du dir. Ils sont présents dans les perceptions de la population chez 46.15% des habitants âgés de plus de 25 ans, chez 23% âgés entre 20 et 25 ans, chez 19.21% âgés de 10 à 15ans et chez 17.31% âgés de 5 à 10 ans.

Nous constatons aussi que la population a fait une liaison entre les oueds et les chaabats et les risques des inondations. Elle considère aussi les oueds, comme l'origine des dégâts matériels et humains et comme espace d'accumulations de tous les types de déchet.

Globalement la population du "dir" est consciente que les oueds et les Chaabats représentent un risque menaçant A la fois leur vie et leurs biens. (Les champs agricoles, les récoltes…). Cependant, Les élèves âgées de 5 à 10 ans ont lié la dégradation des routes à l'impact négatif des inondations ; ce qui les empêche d'aller à l'école, surtout à Tanogha, à El-Ksiba et à Ait Hammou Abdessalem.

Une partie importante de la population a lié les risques menaçants aux précipitations. Ces

précipitations ont été représentées sous forme de neige, de tempêtes et de cyclones. Elles sont présentes chez 20.13% de la population âgée de 5 et 10 ans, chez 11.86% de la population âgée entre 10 et 15 ans, chez 1.49% de la population âgée entre 15 et 20 ans et chez 23.07 % âgée de plus de 20 ans.

D'après les entretiens avec les habitants et d'après les cartes mentales, les précipitations (surtout les neiges et les pluies torrentielles), sont considérées par la population, parmi les risques majeurs menaçant leur vie. Elles les considèrent aussi comme facteur très important favorisant les risques des inondations, et les vagues de froid. Cependant, la forte fréquence des inondations a permis à la population d'avoir une culture spécifique vis-à-vis de son espace et les risques qui la menaçant, malgré le taux élevé de l'analphabétisme.

Nous rappelons aussi, d'après l'étude statistique des précipitations, que les précipitations concentrées sont les principales pluies qui provoquent les inondations dans le "dir" de Béni-Méllal. La population de "dir" est également consciente que son espace connait, surtout durant les dernières années, des précipitations concentrées sous forme de tempêtes. Ceci est conforme avec les résultats de l'étude statistique des précipitations (chapitre 3).

Nous pouvons remarquer aussi que grâce à son expérience, la population a pu distinguer entre les inondations et les crues dans les cartes mentales. En effet, plusieurs cartes mentales, ont décrit l'écoulement des oueds, et d'autres, ont montré l'eau des oueds en turbidité lors des inondations. De plus, elles ont signalé les pertes du bétail et des personnes.

D'après nos entretiens avec la population, nous avons constaté que la population est consciente de la relation qui existe entre l'aval et l'amont, et aussi de l'influence de l'amont sur l'aval des bassins versants. Cette conscience a poussé la population du "dir" (aval du bassin versant) à renforcer les liens sociaux avec la population qui se situe en amont, afin de prendre les précautions nécessaires en cas des inondations.

Les cartes mentales ont aussi décrit un autre élément nature l'extrêmes lié aux inondations, qui est la " montagne ». La montagne est présente avec un taux de 6.71 % dans les perceptions de la population âgée entre 05 et 10ans, 6.78% pour ceux âgés entre 10 et 15 ans, 13.33% pour ceux âgés entre 15 et 20 ans et 7.69% pour ceux âgés de plus de 25 ans. Dans les représentations de la population, la montagne est perçue comme lieu d'origine des inondations (fig 11.2, fig 11.2 et carte mentales 11.1).

Figure 11. 2 : les élément naturels peçus par la population de "dir" de Béni-Méllal .

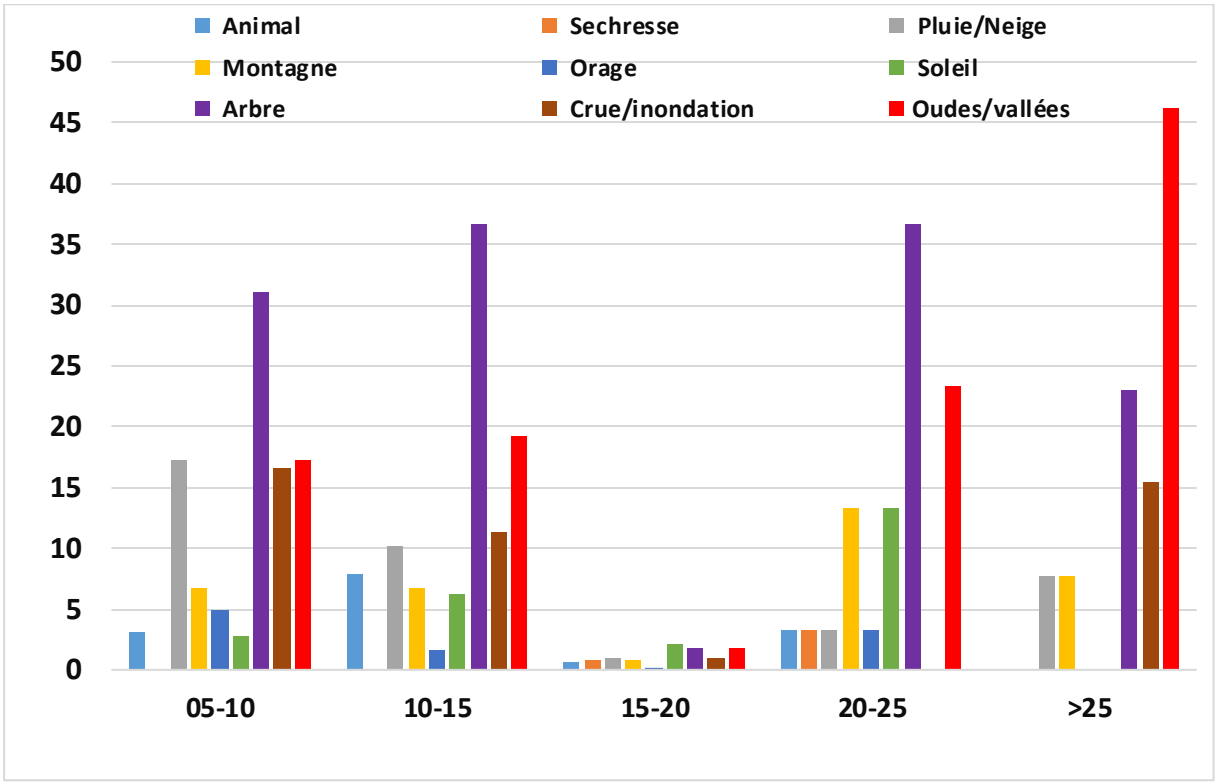
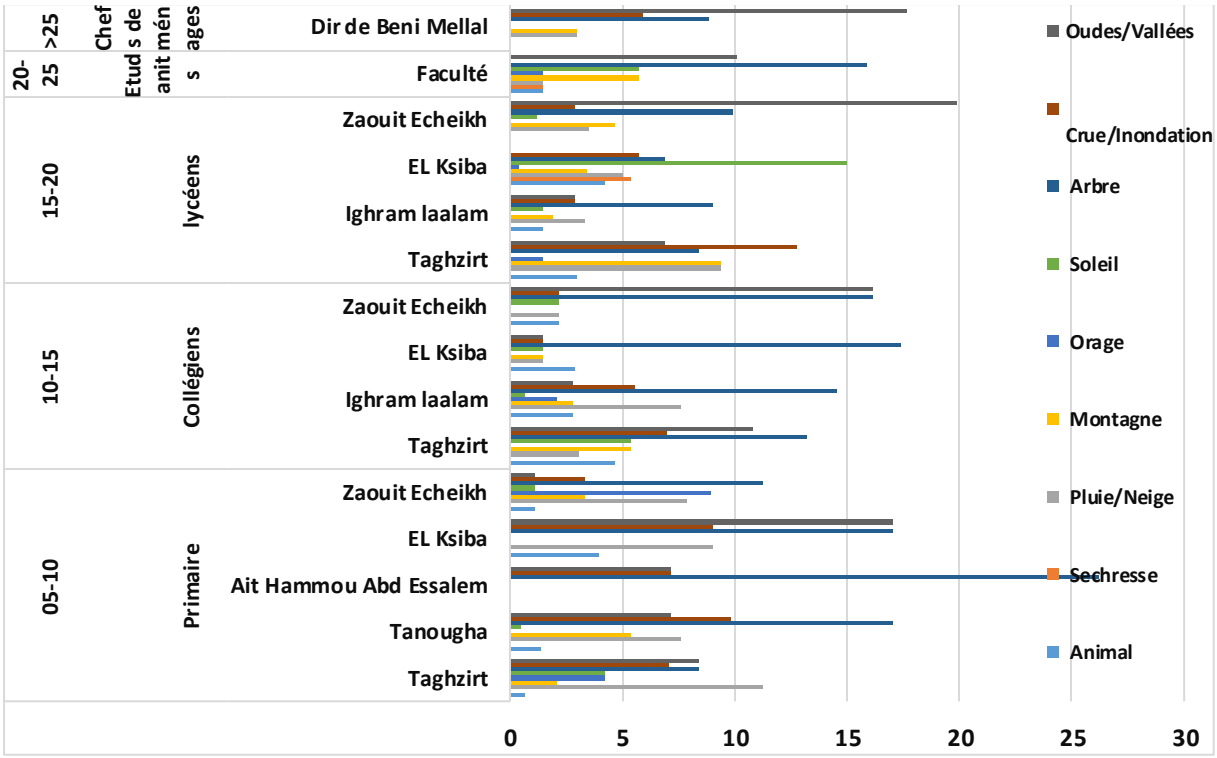


Figure 11. 3 : les éléments naturels présents dans les perceptions de la population de "dir" Béni-Méllal par centre.



Contrairement aux éléments que nous avons cités et qui sont directement liés aux inondations, les cartes mentales décrivent aussi d'autres éléments naturels tels que « la sécheresse » et le « soleil ». Cela confirme une fois encore que la population est consciente des problématiques

qui menacent son espace. Ce qui est conforme avec les résultats de l'étude statistique des précipitations, qui montrent que le "dir" connait de temps à autre des périodes de sécheresse, interrompues par des précipitations concentrées, provoquant des inondations.

Généralement, d'après les cartes mentales (annexe 11.7), nous pouvons conclure que la population du "dir" est intimement liée à son milieu, ce qui la rend consciente de tous les risques menaçant son espace. La présence de ces éléments naturels et les risques des inondations dans les cartes mentales confirme, d'une façon ou d'une autre, que la population du "dir" a une bonne connaissance de son espace et les risques qui le menacent.

Carte mentale 11. 1 : Les cartes mentales montrant les differents éléments naturels présents dans les perceptions de la population du "dir" de Beni Mellal.



1-2 Le milieu urbain : un milieu menacé par les inondations dans les perceptions de la population du "dir" :

Selon les figures 11.4 et 11.5, nous constatons la présence significative du milieu urbain et des agglomérations, comme zones menacées par les inondations. Parmi ces éléments, nous trouvons les maisons, les établissements publics, les ponts et les mosquées.

Les maisons viennent en tête de ces éléments. Elles représentent 49.33% dans les perceptions de la population âgée entre 05 et 10 ans, 47.12% parmi ceux âgés entre 10 et 15ans, 56.67% parmi ceux âgés entre 15 et 25ans et 4.14% parmi ceux âgés de plus de 25 ans.

Les 'routes' sont aussi présentes, d'une façon très importante dans les cartes mentales de tous les interviewés, malgré la différence de leur âge, niveaux scolaires … etc. Cet élément est présent avec 23.33% dans les perceptions de la population âgée entre 10 et 15 ans, 26.92% de ceux âgés entre 10 et 15 ans, 34.49% de ceux âgés entre 15et 25 ans, et 35.71% de ceux qui ont plus de 25 ans. La population considère ainsi les routes, parmi les infrastructures les plus endommagées par les inondations.

La ‘mosquée’ vient aussi, parmi les éléments les plus présents dans les perceptions de la population. Mais la question qui se pose est : quelle est la relation entre les inondations et les mosquées ? sont-elles aussi menacées?

Cela nous a poussé à effectuer des entretiens avec la population afin d’avoir des éléments de réponse sur les relations entre la mosquée et les inondations et aussi pour savoir à quel point la mosquée est signifiante pour ces habitants. Les réponses étaient d’une importance très grande, ainsi qu’elles donnent d’autres concepts des inondations qui ont contribué, d’une façon ou d'une autre à l’aggravation de ce phénomène.

En effet, la ‘mosquée’ représente pour la population, un lieu de prière, de croyance, et de rappel de Dieu…etc. Ce qui pousse la population de considérer les inondations comme, colère de Dieu, contre la conduite et les péchés des habitants. Du coup, ils croient que la repentance des péchés est la seule façon pour lutter contre les inondations et ses impacts. De plus, les habitants jugent leur installation dans les zones inondables comme leur destin, et aussi comme une façon de châtiment pour leurs pêchés. Ces croyances présentent chez les habitants d’Ait Hammou Abdessalem (35.71%). Ces habitants considèrent les inondations qu’a connu le village en 2010, comme un châtiment pour eux, à cause du trafique de la drogue, la prostitution, les mensonges et la destruction de la nature.

La plupart des habitants ont les mêmes perceptions, surtout avec la vulnérabilité socioéconomique et sociale, qui caractérise cette zone. Ce qui pousse plusieurs d’entre eux d’exercer des métiers de basse besogne pour répondre et satisfaire à leur besoins (fig 11.4, fig 11.5 et les carte mental 11.2).

Figure 11. 4 : les éléments de l’espace urbain présents dans les cartes mentales de la population de "dir" de Béni-Méllal .

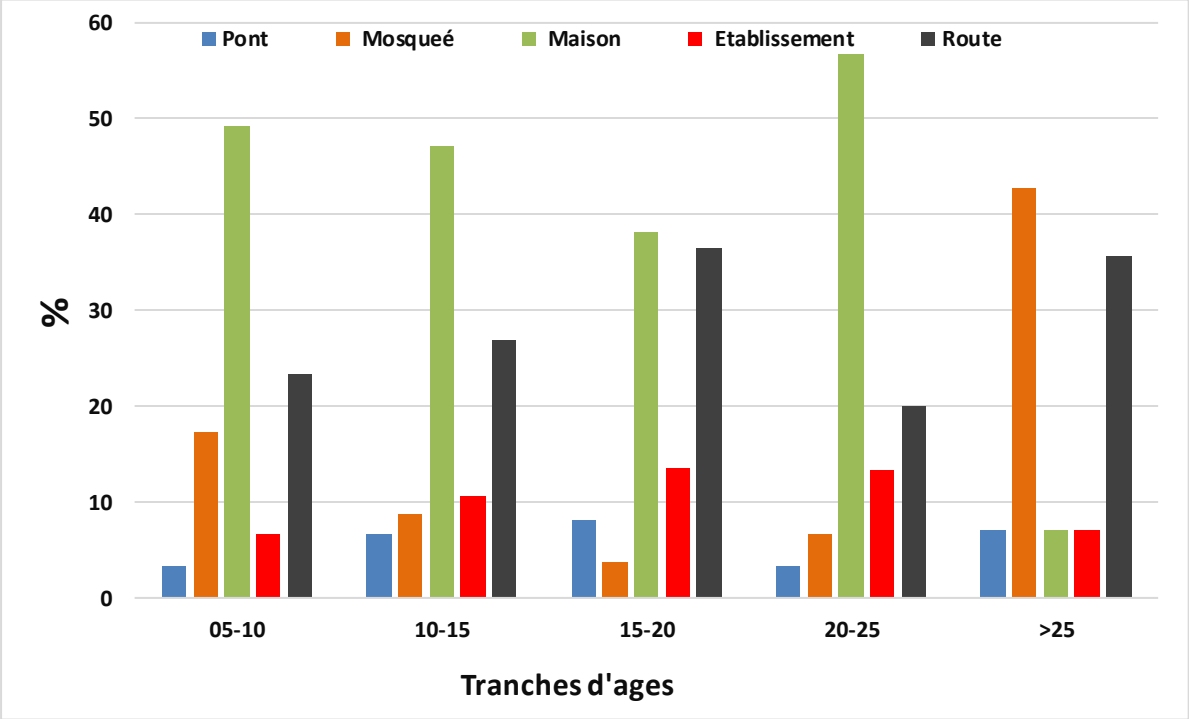
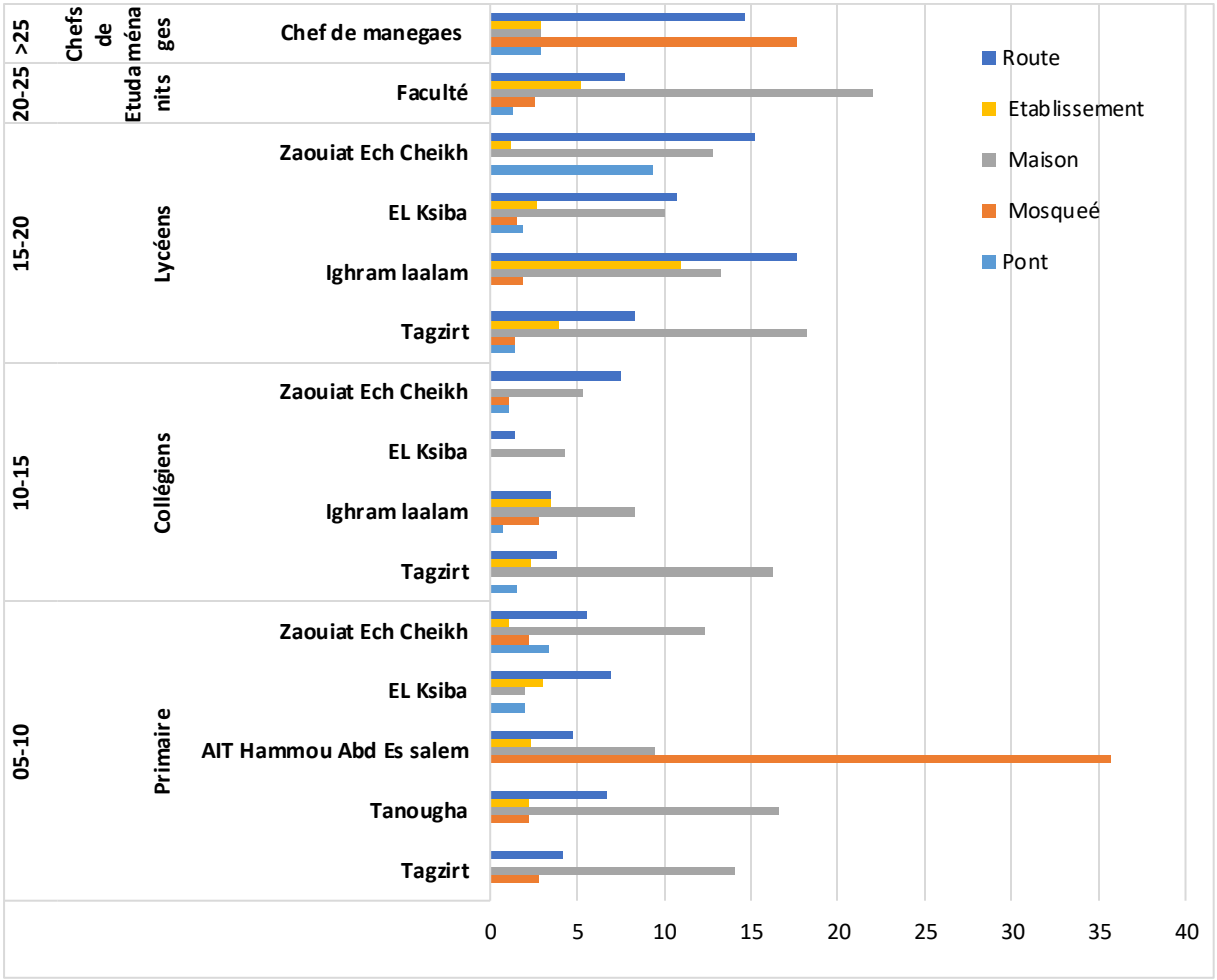
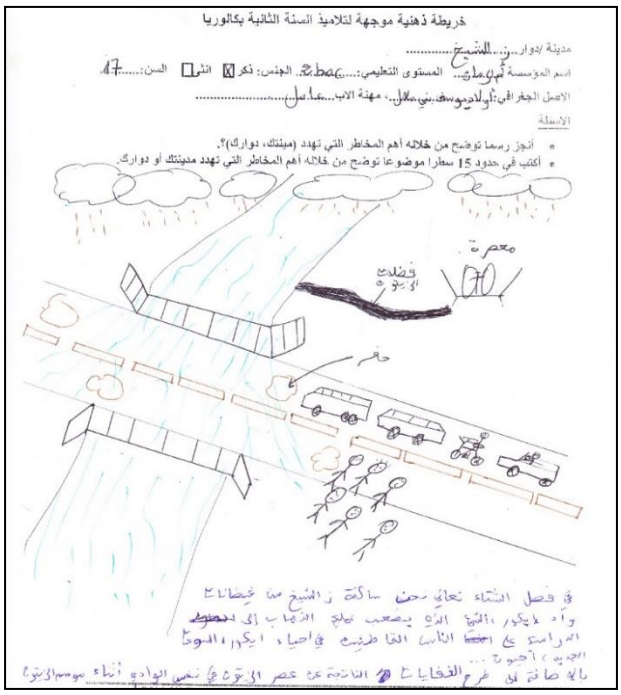


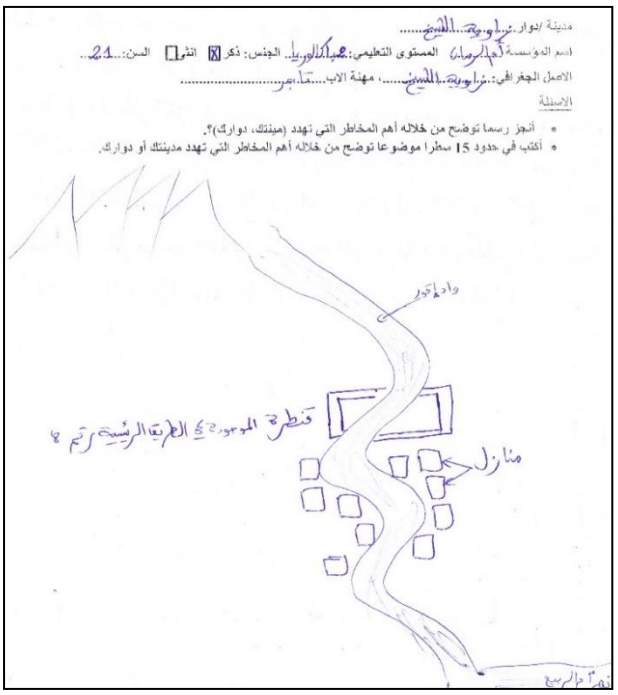
Figure 11. 5 : les éléments de l'espace urbain présents dans les carte mentales de la population des agglomeration de "dir" de Béni-Méllal .

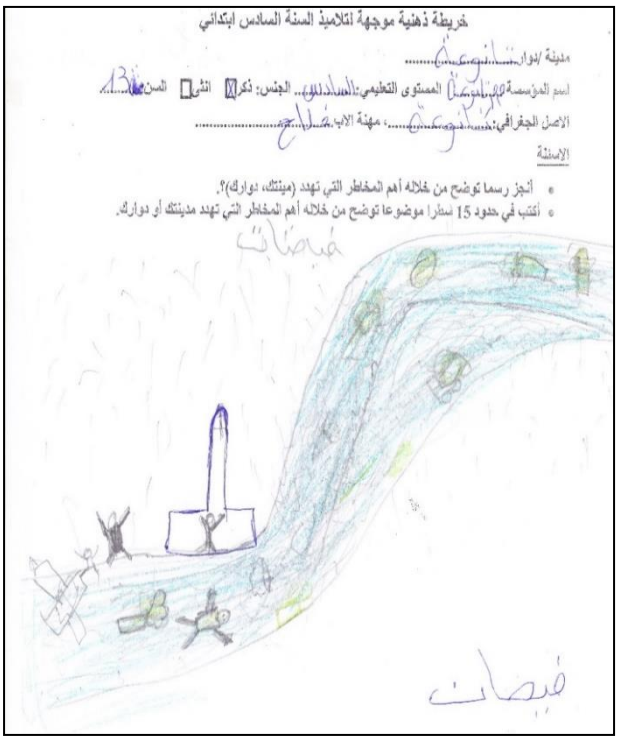


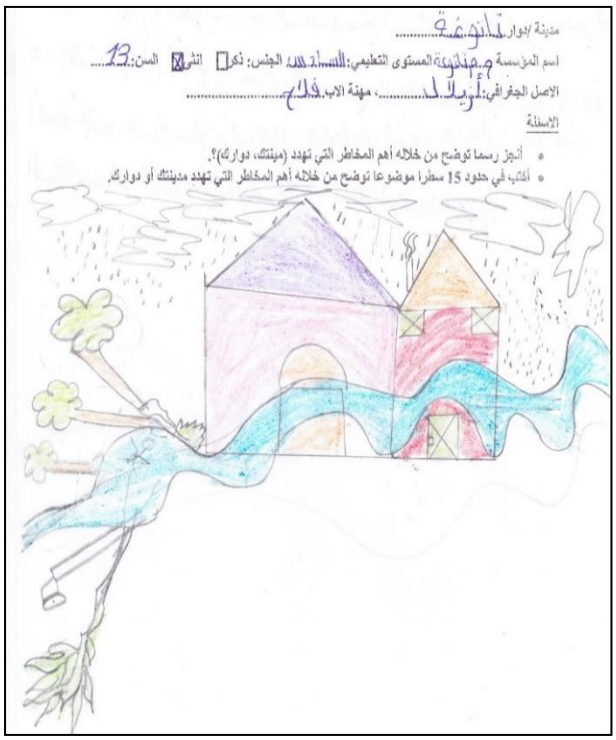
En plus de ces éléments cités, les cartes mentales ont montré également les établissements et les ponts, comme éléments touchés par les inondations. Ils ont été décrit soit par leur destruction totale ou partielle, soit par leur submersion. Ces résultats sont ainsi compatibles avec les résultats des questionnaires qui présentent les établissements publics et les ponts parmi les infrastructures touchées par les inondations.

Carte mentale 11. 2 : Exemple de cartes mentales illustrant les éléments de l'espace urbain présents dans les preceptions de la population.









1-3 L'action de l'Homme : une présence importance des comportements liés aux inondations :

La connaissance du comportement de l'Homme est très importante dans le processus de compréhension de la relation entre l'action de l'homme et les risques d'inondations. Elle consiste à interpréter la culture et les croyances accumulées depuis de longues années, à travers leurs interactions avec le milieu et les conditions économiques et sociales.

Les résultats de l'interprétation de l'action de l'homme, à partir des cartes mentales, sont présentés dans la figure 11.6. Nous pouvons remarquer la présence de l'homme dans ces cartes, à travers 9 actions diverses qui peuvent être classées en deux catégories. La première catégorie des actions fait de l'homme le responsable des problématiques et des risques environnementaux. La deuxième catégorie des actions fait de l'Homme une victime de ces risques.

En fait, ce qui nous intéresse de ces comportements sont ceux liés aux inondations. Comme nous pouvons le constater sur la figure 11.6 la pollution, des oueds et des chaabats occupent une place primordiale dans les perceptions des différentes catégories de la population du dir. Ces comportements représentent 19.63% chez la population âgée entre 05 et 10 ans, 44.44% de la population âgée entre 10 et 15 ans, 36.10% de la population âgée entre 15 et 20 ans, e 46.67% de la population ayant l'âge entre 20 et 25 ans et en fin de 28.57% chez la population de plus de 25 ans.

La pollution s'illustre dans les cartes par le rejet des déchets solides et liquides dans les oueds et les chaabats. Ce qui entrave la circulation de l'eau dans les oueds et chaabats, surtout lors des précipitations contribuant ainsi à l'aggravation des inondations.

Après la pollution, la déforestation et l'utilisation irrationnelle des ressources naturelles viennent en deuxième place. Ces perceptions approuvent les résultats de l'étude de l'évolution du couvert végétal dans les bassins versants du "dir" de Béni-Méllal, qui a connu une forte dégradation pouvant atteindre 50% dans quelques bassins (deuxième chapitre).

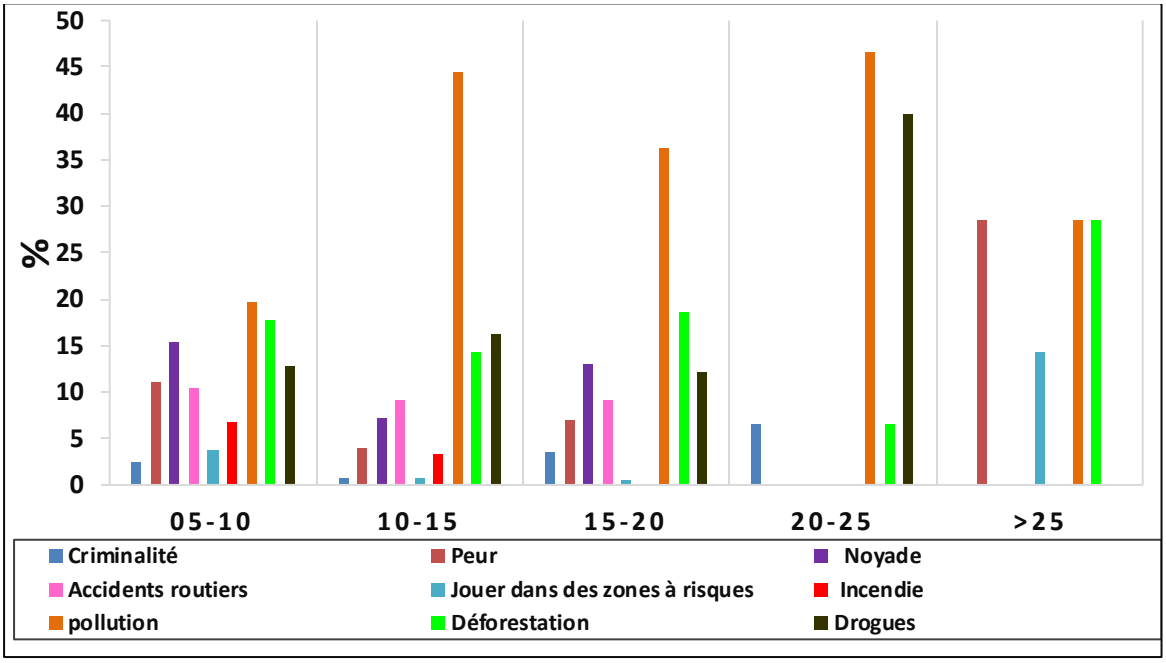
D'après les cartes mentales, l'Homme est considéré comme le premier responsable de la dégradation des forêts. Ce comportement représente17.19% chez la population âgée entre 05 et 10 ans, 14.38% chez la population âgée entre 10 et 15 ans, un taux de 18.59% de la population âgée entre 15 et 20 ans, et un taux de 6.68% de la population âgée entre 20 et 25 ans, et 28.57% de la population âgée de plus de 25ans. Quant aux habitants âgés entre 5 et 10 ans, ils ont ajouté un autre facteur qui endommage la forêt : ce sont les incendies que connaissent ces milieux de temps en temps ; en plus des activités de 'charbonnage' que les habitants exercent comme activité économique clandestine.

Il ressort également des cartes mentales que la population a signalé les submersions, les noyades et le sentiment de la peur vis-à-vis des inondations. En effet, la noyade représente 15.34% dans la perception des habitants âgés entre 05 et 10, 7.19% chez les habitants âgés entre 10 et 15 et 13, 7% chez les habitants âgés entre 15 et 20 ans. La forte présence de la noyade dans les perceptions chez la population âgée entre 05 et 15 s'explique par l'utilisation des oueds et leur lit comme des terrains de jeux. Ce qui provoque la noyade de nombreux enfants de Taghzirt et de Zaouit Echiekh (deux enfants à Zaouit Echiekh et un enfant à Taghzirt en 2012).Cependant

plusieurs habitants de ces zones ont été témoins d'incidents de noyade, qui ont provoqué chez eux une phobie des inondations et de pluies, surtout chez les enfants[2]. La commune de Béni-Méllal a assuré le suivi psychosociologique d'un certain nombre de personnes du douar d'Ait Hammou Abdeslam suite aux inondations catastrophiques de 2010.

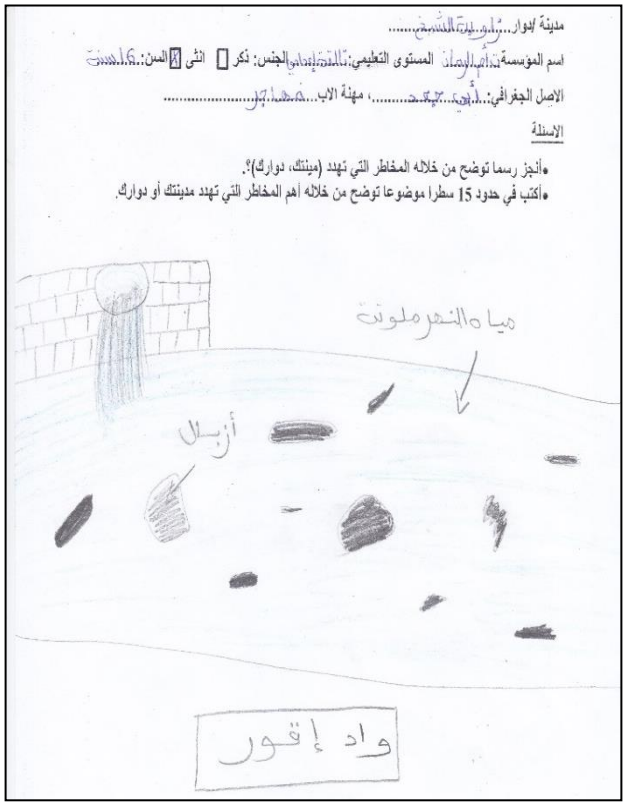
Généralement, la carte mentale représente un outil pertinent qui permet non seulement de bien saisir et de mieux connaitre les différents regards et perception de la population locale, mais aussi de bien repérer les attentes et les besoins de ladite population pour une bonne gestion des risques des inondations (fig 11.6 et cartes mentales 11.3).

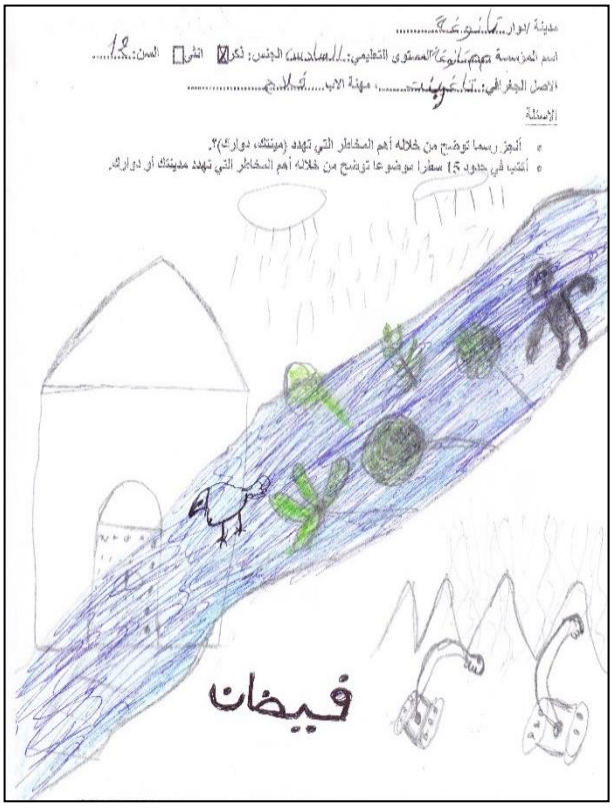
Figure 11. 6 : Sentiments et éléments négatifes présents dans les perceptions de la population des agglomerations du "dir" de Béni-Méllal ..

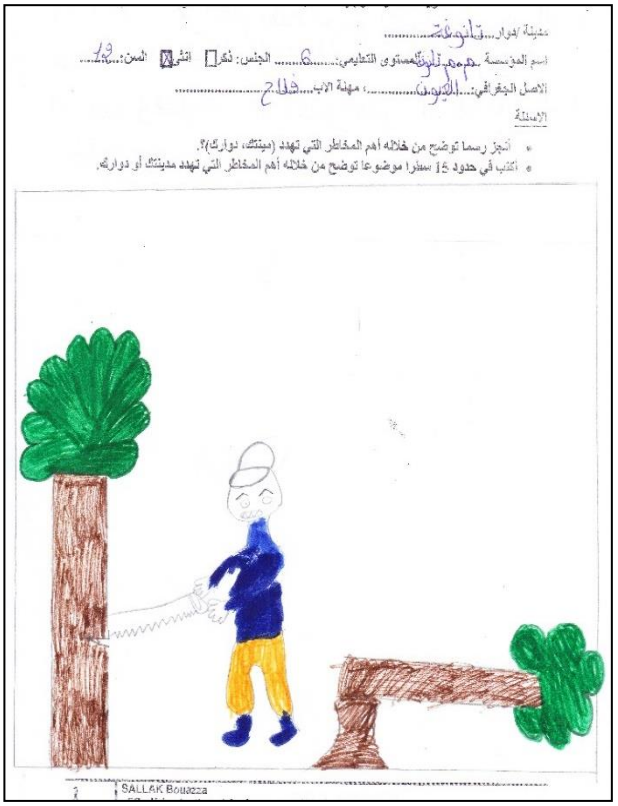


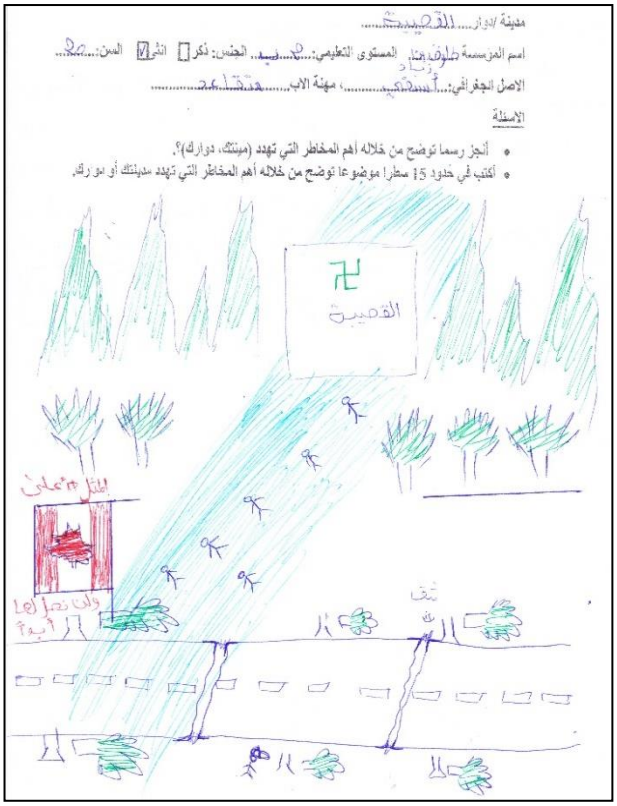
[2] A cause de ces effets négatifs des inondations, et l'ors des investigations de terrain, plusieurs personnes ont même pleuré et refusé de répondre à nos questions car c'était un mauvais souvenir pour elles.

Carte mentale 11.3 : Exemple de cartes mentales montrant les différentes actions de l'Homme présentes dans les perceptions de la population du "dir" de Beni Mellal..









2. La culture du risque à travers le questionnaire : une diversité de comportements liés aux inondations:

Dans cet axe, nous allons étudier les résultats issus des questionnaires adressés à la population locale afin de comprendre la culture du risque chez la population du dir. Il s'agit des représentations des habitants à l'égard des inondations, d'un côté, et d'un autre côté les comportements des habitants avant et lors des inondations. Ces éléments résument la culture du risque et ses facteurs. Dans ce cadre, nous allons traiter le niveau de la conscience chez les habitants concernant les dangers qui les menacent, leurs causes et les différentes actions mises en oeuvre pour lutter contre les inondations.

2-1 La prise de conscience de la population à l'égard des risques naturels menaçant le "dir" : les inondations comme un risque majeur :

D'après les cartes mentales, nous constatons chez les habitants de la zone d'étude que les inondations présentent un danger et un risque qui menace tout le dir. En effet, 62.29% de la population affirme que les inondations menacent le quartier, le douar, la ville, la province et la région, en utilisant des termes comme « inondations فيضان crues torrentielle حملة ». Ce qui exprime la conscience de la population de dir. Dans ce cadre et d'après le travail de terrain 75.43% de la population du "dir" affirme que le risque naturel le plus menaçant sont les inondations. Donc, il est évident que la population est consciente des risques qui menacent son milieu.

Les niveaux de conscience chez la population, concernant les inondations, ne sont pas limités à la connaissance de tous les éléments et les concepts, mais la population a aussi eu connaissance des nombres d'années ou ces zones avaient connu des inondations graves, surtout durant les années 50 jusqu'à 2014. Ceci forme une sorte d'archives des inondations, que le "dir" a connu durant 64 ans et confirme aussi l'effet de ces inondations dans la conscience de la population. Selon cette population, le "dir" a connu des inondations graves dans les années 70, ce danger a diminué à partir des années 70 jusqu'à 2009, pour augmenter de nouveau jusqu'à l'année 2014, avec une hausse sensible de ces inondations en 2010 (fig 11.7) ces données s'accordent bien avec les données hydrométriques enregistrées (fig 11.8).

Figure 11. 7 : Années marquées par les inondations selon la population du "dir" Beni Mellal.

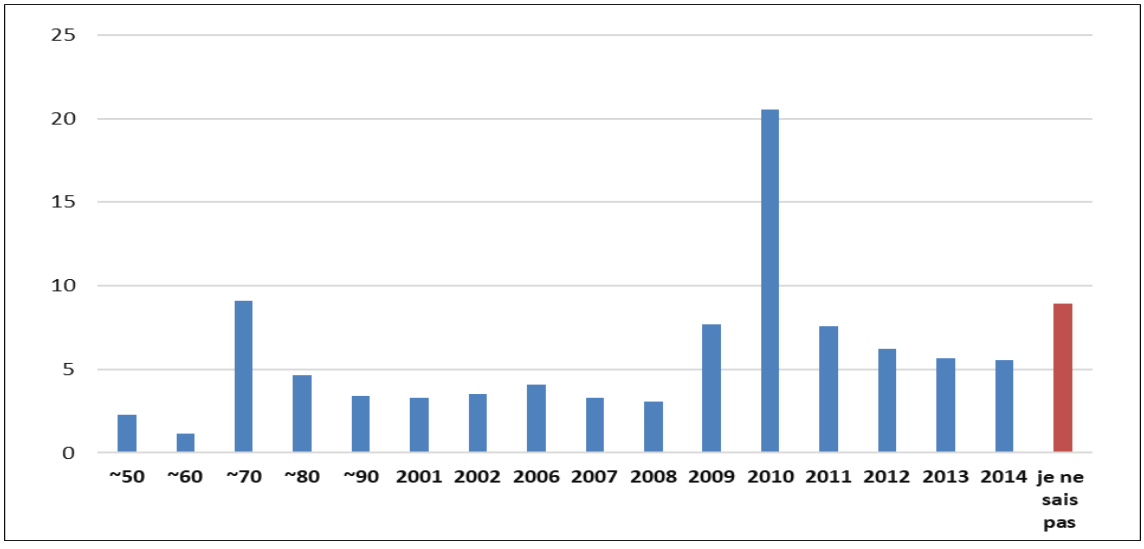
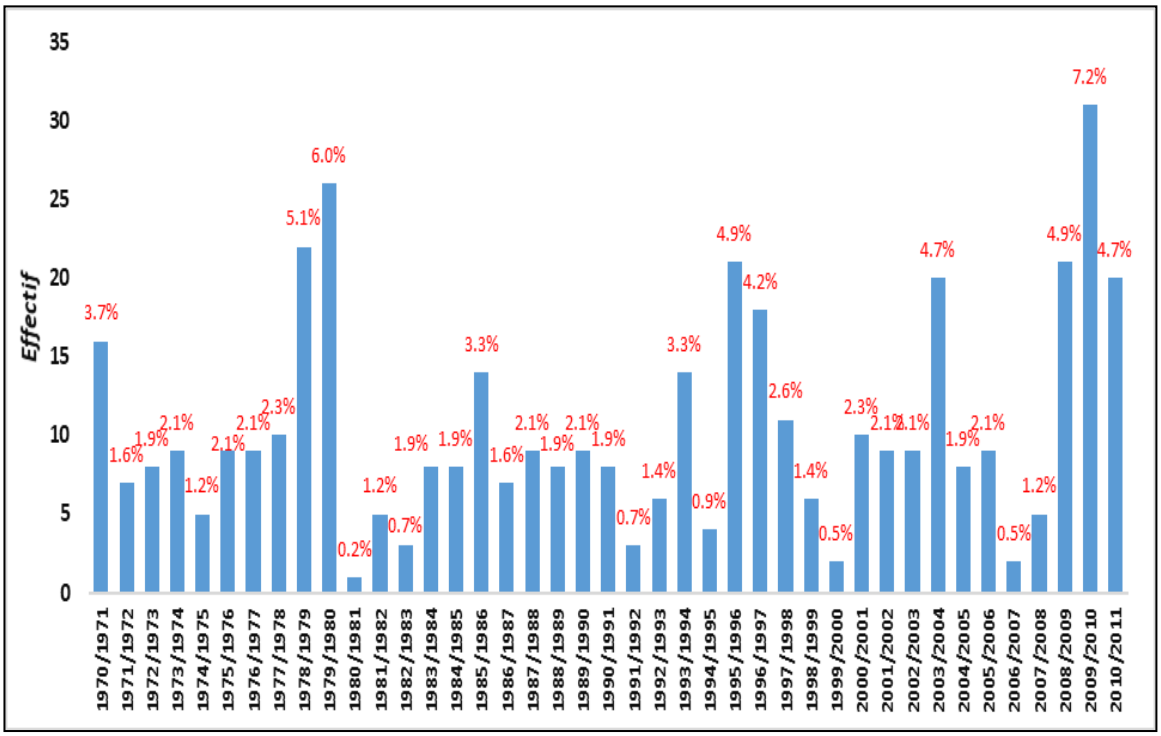


Figure 11. 8 : Nombre d'inondations enregistré dans la station de Taghzirt .

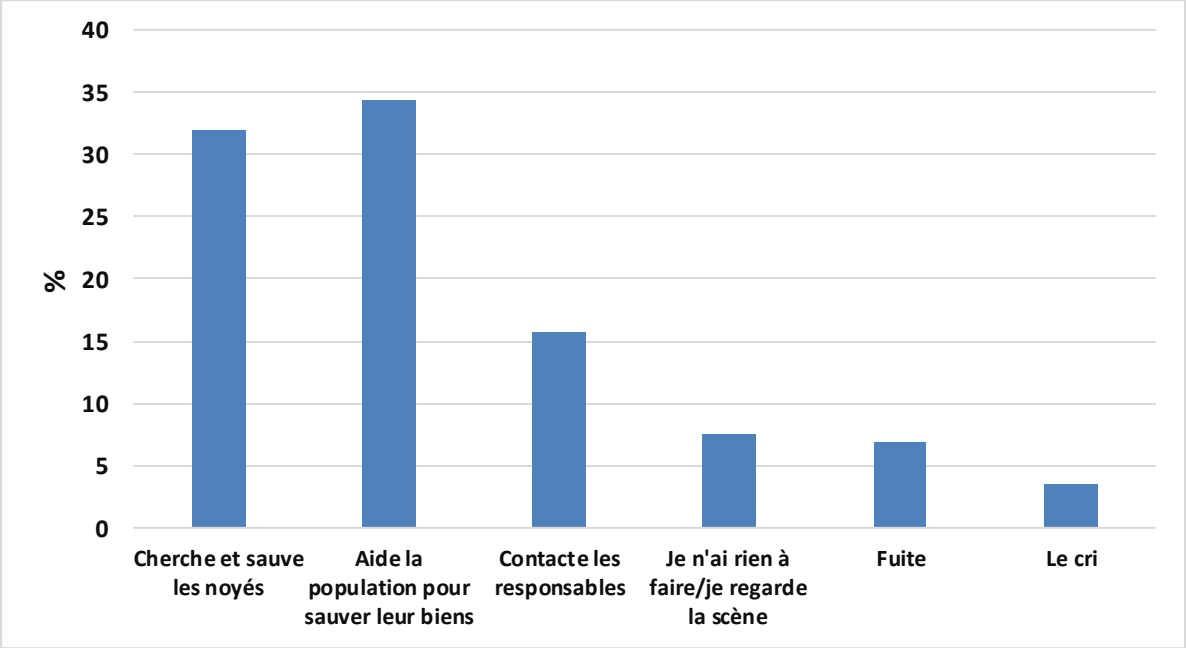


2-2 L'action de la population envers les inondations : une solidarité forte en face de la violence des inondations :

D'une manière générale, l'étude de l'action de l'Homme est un indicateur important pour pouvoir comprendre la culture du risque chez la population. Puisque la perception de la population n'est que les répercussions du niveau de vie et de la culture de la personne.

D'après la figure 11.9, nous remarquons que 34.41% des actions de la population était de sauver les biens menacés par les inondations, 31.92% interviennent pour sauver les personnes noyées. Au total, 66.33% interviennent directement, lors des inondations. Il faut noter que les habitants du "dir" collaborent fortement dans tout ce qui concerne la vie quotidienne ainsi que dans les risques liés aux inondations. Pour faire face à ce fléau naturel, les habitants partagent les tâches. En effet, les habitants situés en amont de "dir" et avant que les inondations arrivent à l'aval, essayent d'aviser les habitants qui habitent à l'aval. Par contre, 15.75% de la population enquêtée se met en contact avec les autorités et les responsables et 6.84% prennent la fuite sans rien faire (souvent les vieux et femmes). A noter que ces inondations posent de fortes difficultés durant l'intervention, même pour les sapeurs-pompiers malgré les équipements sophistiqués qu'ils possèdent (fig 11.9).

Figure 11. 9 : les comportements de la population du "dir" de Béni-Méllal au mement des inondations.

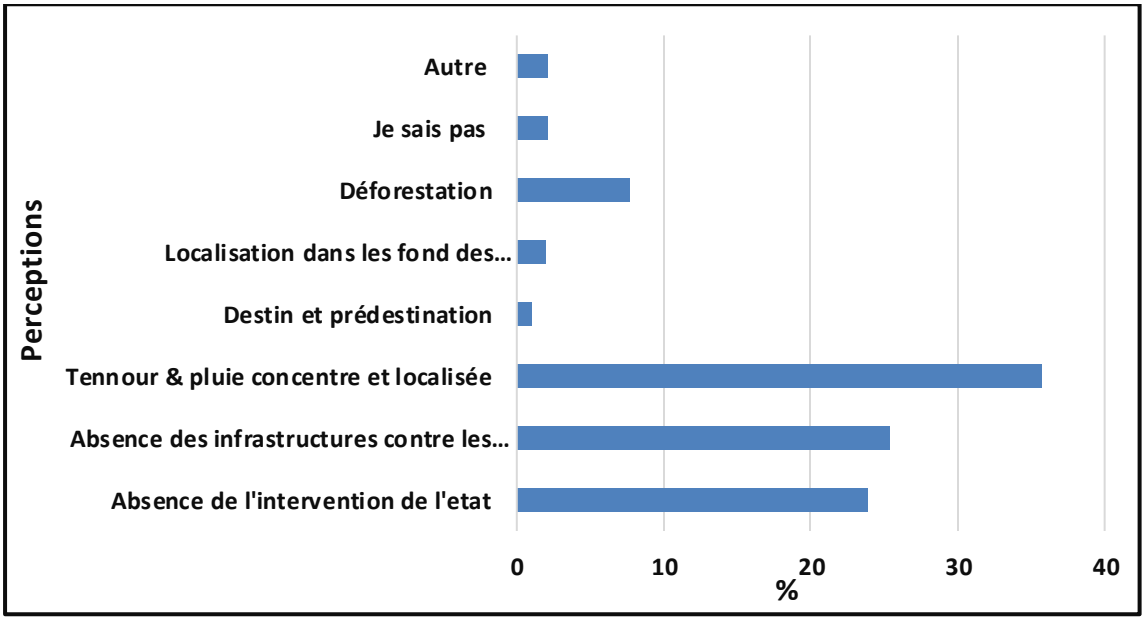


2-3 Le niveau de conscience de la population envers les inondations:

La prise de conscience et la connaissance des causes des inondations constituent une étape importante et primordiale pour les habitants pour éviter les conséquences négatives des inondations. Cette étape représente une opportunité pour le chercheur afin d'intégrer les attentes de la population dans le domaine de gestion des risques inondations.

La Figure 11.10 résume les principales causes des inondations selon les habitants du dir. En effet, 35.7% de la population pense que les précipitations concentrées sont la cause principale des inondations. Alors que 25.3% des enquêtés demande la réalisation des infrastructures hydrauliques pour minimiser, voire lutter définitivement contre les inondations. Cependant, 23.96% de la population croit que l'état n'intervient pas d'une façon correcte et adéquate (la sensibilisation, les études, l'application des lois…). Par contre, seulement 7.74% affirme que les inondations qui touchent le "dir" sont causées et provoquées par la détérioration de la forêt du "dir" ; 2.74% de la population croit que les habitants installés dans cette zone assument aussi leur part de résponsabilité. En fin, 1.04% de la population pense que les, inondations sont une question de destin et que la volonté humaine reste incapable de les cerner.

Figure 11. 10 : les causes des inondations d'après la population du "dir" de Béni-Méllal .



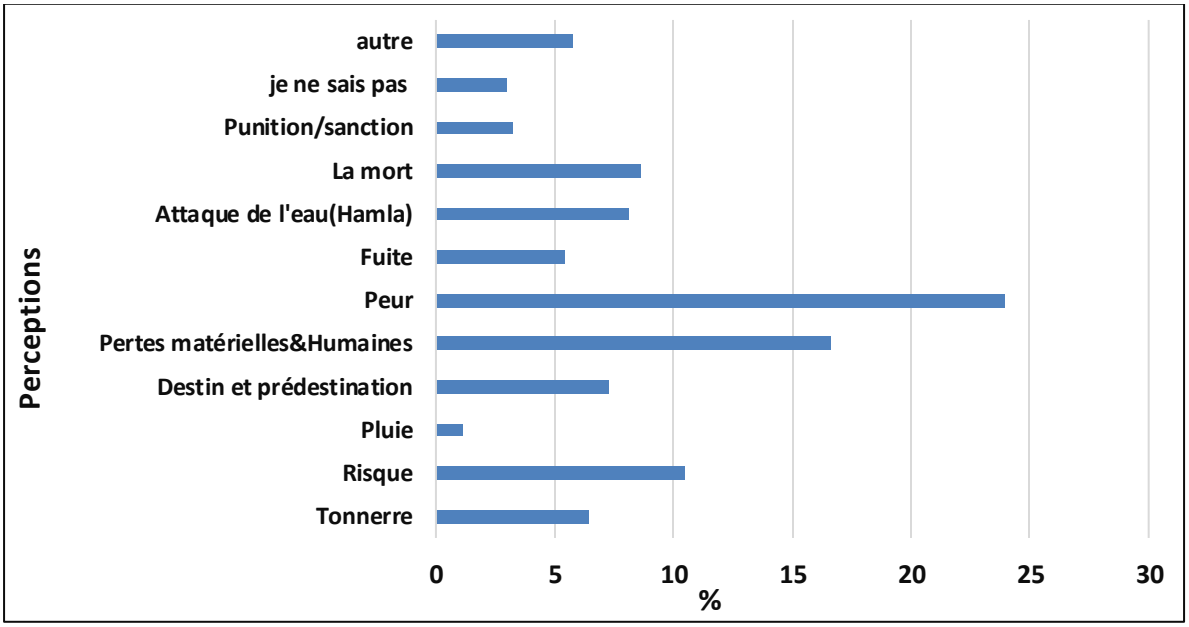
Nous avons déjà signalé (chapitre 7) la lenteur de l'intervention de l'état dans la lutte contre le phénomène des inondations. En effet, l'Etat n'applique pas la loi de l'urbanisme, qui peut empêcher les habitants de s'installer dans les zones menacées. En plus, elle n'applique pas la loi sur la protection de l'environnement afin de lutter contre la destruction de la forêt qui se trouve parmi les raisons les plus importantes qui contribuent à la genèse des inondations.

2-4 Les représentations de la population : diversité de perception des inondations:

Devant les inondations fréquentes dans le "dir" de Béni-Méllal et la prise de conscience de la population de ce phénomène naturel dangereux, la question se pose au niveau du concept du risque et des représentations des habitants du "dir" qui résument cette culture.

D'après la figure 10.11, nous constatons que le concept du risque chez les habitants du "dir" se caractérise par une diversité remarquable. Ce concept s'accorde avec tout ce qui est religieux (destin, châtiment…) chez 10.56% de la population. Il représente les dégâts humains et matériels (la mort, les dégâts) chez 25.28%. Alors que 29.32%, l'inondation se caractérise par des réactions immédiates chez les habitants (la peur, la fuite), 7.52% de population attache le concept de l'inondation avec les précipitations qui les produisent (pluies, tonnerre…). Cependant, 10.45% de la population considère les pluies torrentielles comme un danger imminent. Par contre, 8.09% le considère comme une crue torrentielle (fig 11.11).

Figure 11. 11 : Le concept d'inondation chez la population de "dir" Béni-Méllal .



Cette diversification des représentations des inondations chez la population du "dir" nous permet de comprendre d'une manière claire les actions de l'Homme et quelques caractéristiques de la culture du risque chez la population. Ainsi 3.26% des habitants considère les inondations comme un châtiment de Dieu ; 7.3% de la population croit que les inondations sont un destin. Cette perception basée sur un fond religieux explique d'une manière ou d'une autre les raisons pour lesquelles cette population a insisté de s'installer dans des zones menacées par les inondations. Cette couche de la population pense que la réduction des risques d'inondation, n'a rien à voir avec l'installation des maisons dans les zones menacées, mais avec la bonne conduite et la soumission au Dieu.

D'un autre côté, 29.32% de la population croit aux dégâts causés par les inondations qu'ils soient matériels ou humains. Devant ces situations de risque, la population a adopté une culture basée sur le partage, l'entraide, la solidarité et l'échange de l'information entre les habitants des zones de l'amont et les zones de l'aval (fig 11.11).

Conclusion :

L'étude des représentations des habitants (en utilisant la carte mentale et le questionnaire), constitue un outil efficace pour comprendre la culture du risque chez les habitants du dir. Cette technique nous a permis également de comprendre la contribution de la population à lutter contre les conséquences dangereuses de ce fléau naturel sur le milieu et sur la société.

Malgré les difficultés rencontrées pendant la réalisation des cartes mentales, nous avons obtenu des résultats prometteurs. Ce qui nous a aidé à acquerir une compréhension profonde de cette culture. Généralement, on peut résumer les principales idées de ce chapitre par les points suivants :

- La population du "dir" possède une culture du risque en relation avec les inondations. Elle possède une connaissance globale de ce fléau (les inondations et les crues), des éléments naturels qui les composent (oueds, lits, tonnerre, pluies), des éléments contribuant à la détérioration de la nature ainsi que des éléments endommagés (arbres, animaux).
- La population locale est consciente que le dir, avec tous ses espaces urbains et ruraux, est menacé par les inondations produites à l'amont du dir. Cependant, une stratégie a été mise en place afin de minimiser tous les types de dégâts. Cette stratégie se base sur les fortes relations sociales, entre les habitants de l'amont et ceux de l'aval du dir. La population installée à l'amont de "dir" joue le rôle d'informateur et d'viseur pour aider les autres habitants dans les opérations de sauvetage et de soutien aux personnes touchées, malgré la violence fatale des inondations qui causent de lourds dégâts.
- Les habitants du "dir" sont conscients des causes qui provoquent les inondations. Mais, la vulnérabilité socioéconomique et sociale, la fausse interprétation de la religion ainsi que l'absence des infrastructures adéquates ont laissé l'espace à des pratiques menaçantes et nuisibles à l'espace (la détérioration de la forêt, les incendies, le rejet des déchets dans les oueds et l'installation au fond des oueds). Ce qui impose le changement de ces pratiques pour alléger les conséquences négatives de ce fléau.

Les résultats signifiants que nous avons obtenu à travers les questionnaires et les cartes mentales confirment l'importance de l'approche participative, et l'intégration de la population dans les études des problématiques territoriales surtout celles concernant les risques, touchant leurs milieux d'une manière directe. Pour mieux gérer et lutter contre les inondations, il faut vraiment associer la population et l'intégrer dans tous les projets d'aménagement de territoire car c'est elle qui se trouve au centre de toutes les actions quotidiennes qui modèlent ce territoire.

Conclusion de la troisième partie :

Le travail de terrain constitue un vrai outil pour le géographe pour identifier les besoins et attentes de la population locale. Comme, il permet de faire le diagnostic de toutes les problématiques spatiales tels que les risques des inondations.

L'absence de toutes formes de prévention et des interventions efficaces ainsi que de projets d'aménagement luttant contre les inondations, la population poussée par sa situation socio-économique vulnérable à s'installer dans les zones exposées aux inondations, se trouve sans protection, devant la force dévastatrice des inondations

L'absence du rôle des institutions publiques au niveau de la prévention et de la gestion des inondations, pousse cette dernière à prendre l'initiative dans la lutte contre les inondations, en s'appuyant sur ses expériences, ses connaissances et ses relations sociales solidaires.

L'absence de toutes formes de prévision, d'aménagements et d'interventions efficaces, empêche les populations de sauver leurs biens et d'atteindre le développement nécessaire. En effet, la population subit des contraintes d'ordre économique et sociale qui les rendent très vulnérable dans un milieu également fragile. Ce qui entraine des dégâts sur les infrastructures, la perte de bétail, l'effondrement des maisons, les décès des personnes sans oublier l'impact psychologique lié à ces catastrophes naturelles. Ce qui rend la situation difficile pour la population est l'absence ou l'insuffisance de toutes formes de dédommagement de la part de l'Etat.

Généralement, le Maroc possède un arsenal juridique très important, qui touche aux différents secteurs (urbanisme, eau, environnement…). Cependant, ces mesures juridiques et institutionnelles restent insuffisantes dans un contexte caractérisé par la rapidité et les profondes mutations socio-économiques, écologiques que connait le Maroc.

Dans le contexte régional, la gestion des inondations au sein de la province de Béni-Méllal est marquée par la faible coordination entre les différents acteurs qui interviennent pour lutter contre les inondations.

Au niveau local, le faible soutien financier des associations locales, l'incapacité financière et technique des collectivités locales, et le dysfonctionnement des documents d'urbanisme n'ont pas permis de mener à bien une politique publique efficace et opérationnelle pour lutter contre les inondations.

Un certain nombre de facteurs (historiques et économiques…) ont joué leurs rôles pour faire du "dir" de Béni-Méllal une zone qui a connu une urbanisation ancienne.

- La migration a joué un rôle important dans l'extension urbaine qui caractérise le dir, et a aussi contribué de manière significative à la propagation des logements anarchiques dans les zones menacées par les inondations.
- L'urbanisation croissante des villes et des centres du "dir" de Béni-Méllal a joué un rôle important dans l'aggravation du phénomène des inondations par le peuplement des zones inondables et l'influence sur le comportement hydrologique des Oueds et les chaabat d'une part et sur le facteur de perméabilité d'autre part. Ce qui a affecté les temps de réponse et de concentration des eaux dans les bassins fluviaux.

- Nous pourrons conclure également, que la pauvreté et les prix bas de l'immobilier dans les zones menacées par les inondations ont encouragé une grande partie de la population à s'installer dans ces zones, en plus de la croyance au destin, et d'autres facteurs qui sont liés à la situation juridique et aux procédures administratives, pour faire de ces zones des zones d'attraction.
- Les zones à risque du "dir" de Béni-Méllal attirent une population caractérisée par des taux élevés de chômage. Ceci confirme que ces zones attirent une population qui souffre de la fragilité socio-économique à s'installer dans ces zones. Elles attirent aussi d'autres populations qui exploitent l'absence de l'Etat et de ses institutions pour bénéficier des avantages économiques et immobiliers, notamment en ce qui concerne les prix de l'immobilier et les règles juridiques et administratives liées au bâtiment.
- Le taux élevé d'analphabétisme de la population des zones menacées contribue d'une manière ou d'une autre à l'aggravation des inondations.
- Les zone à risques souffrent de l'absence des infrastructures d'assainissement liquide. Ce qui rend les vallées et les chaabats des espaces d'évacuation des eaux usées, et l'évacuation des eaux pluviales à la fois.

La conjugaison de tous ces facteurs fait du "dir" de Béni-Méllal un espace fragile et vulnérable devant les risques d'inondation.

L'étude des représentations des habitants (en utilisant la carte mentale et le questionnaire), constitue un outil efficace pour comprendre la culture du risque chez les habitants du dir. Cette technique nous a permis également de comprendre la contribution de la population à lutter contre les conséquences dangereuses de ce fléau naturel sur le milieu et sur la société.

Malgré les difficultés rencontrées pendant la réalisation des cartes mentales, nous avons obtenu des résultats prometteurs. Ce qui nous a aidé à acquerir une compréhension profonde de cette culture. Généralement, on peut résumer les principales idées de ce chapitre par les points suivants :

- La population du "dir" possède une culture du risque en relation avec les inondations. Elle possède une connaissance globale de ce fléau (les inondations et les crues), des éléments naturels qui les composent (oueds, lits, tonnerre, pluies), des éléments contribuant à la détérioration de la nature ainsi que des éléments endommagés (arbres, animaux).
- La population locale est consciente que le dir, avec tous ses espaces urbains et ruraux, est menacé par les inondations produites à l'amont du dir. Cependant, une stratégie a été mise en place afin de minimiser tous les types de dégâts. Cette stratégie se base sur les fortes relations sociales, entre les habitants de l'amont et ceux de l'aval du dir. La population installée à l'amont de "dir" joue le rôle d'informateur et d'viseur pour aider les autres habitants dans les opérations de sauvetage et de soutien aux personnes touchées, malgré la violence fatale des inondations qui causent de lourds dégâts.
- Les habitants du "dir" sont conscients des causes qui provoquent les inondations. Mais, la vulnérabilité socioéconomique et sociale, la fausse interprétation de la religion ainsi que l'absence des infrastructures adéquates ont laissé l'espace à des pratiques menaçantes et nuisibles à l'espace (la détérioration de la forêt, les incendies, le rejet des

déchets dans les oueds et l'installation au fond des oueds). Ce qui impose le changement de ces pratiques pour alléger les conséquences négatives de ce fléau.

Les résultats signifiants, que nous avons obtenu de cette partie, à travers les questionnaires et les cartes mentales confirment l'importance de l'approche participative, et l'intégration de la population dans les études des problématiques territoriales surtout celles concernant les risques, touchant leurs milieux d'une manière directe. Pour mieux gérer et lutter contre les inondations, il faut vraiment associer la population et l'intégrer dans tous les projets d'aménagement de territoire car c'est elle qui se trouve au centre de toutes les actions quotidiennes qui modèlent ce territoire.

Conclusion générale et recommandations : vers une gestion intégrée des risques inondations:

Au terme de cette étude, on rappelle que l'apport principal concerne les points suivants :

- Production de données hydrométriques à un pas de temps fin (QTVar)
- Caractériser les hydrogrammes de crue
- Cartographier les secteurs impactés par les crues
- Identifier les quartiers touchés par le risque inondation,
- Caractériser les différents états de surface des bassins versants et leur modification récente
- Renforcer la culture du risque chez les citoyens, les décideurs et les associations,
- Mieux cerner la perception des citoyens, et des décideurs à l'égard du risques inondations,
- Evaluer le degré de coordination et de gestion entre les différents acteurs,

En termes de résultats obtenus, nous rappelons que :

L'analyse des caractéristiques physiographiques met en évidence que les bassins versants du "dir" de Béni-Méllal sont très favorables au développement de crues rapides. On retiendra à cet égard que la zone est marquée par une forte irrégularité topographique et un caractère accidenté. Ces bassins ont donc un caractère intramontagnard marqué, de forme plutôt compact, drainés par un réseau hydrographique dense mais désarticulé. Le couvert végétal occupe une faible surface du fait de sa dégradation importante ces dernières décennies ce qui est un facteur favorisant des crues surtout dans un contexte de bassins exposés aux masses d'air humide venant de l'atlantique.

Notons également que les bassins versants instrumentés présentent des caractéristiques physiographiques semblables aux autres bassins ce qui les rend représentatifs du fonctionnement hydrologique du "dir" de Béni-Méllal

Le secteur du "dir" s'insère dans un domaine pluviométrique homogène ce qui valide la portée des résultats qui nous tirons de la station de Taghzirt à l'ensemble du "dir" considéré. L'analyse des données de précipitation montre que le "dir" de Béni-Méllal est marqué par une grande irrégularité temporelle quelque soit le pas envisagé, de la journée à l'année jusqu'à l'alternance de période sèche et humide se déroulant sur plusieurs décennies. Les montants de précipitations sur 24h présentent des valeurs élevées y compris pour des temps de retour faible. Ces fortes précipitations peuvent avoir lieu quasiment tous les mois de l'année. Ceci démontre que le "dir" de Béni-Méllal est particulièrement propice à la genèse de crues de fort volume sur des temps courts. Si on note une variabilité spatiale dans les montants annuels des précipitations dans le dir, causé par l'orographie, elle ne se traduit pas dans le montant sur les bassins dans la mesure où ils sont orientés de la même manière vis-à-vis des flux à l'origine des précipitations.

La fréquentation de crues dans le piémont de l'Atlas de Béni-Méllal à travers une chronique de mesure de 41 ans, extraite de la station hydrologique de Tagzhirte, qui est la seule station de mesure de débits dans ce domaine.

La chaîne de production de débits utilisée ainsi que la nature des écoulements déterminent une incertitude non négligeable sur les valeurs des écoulements, la cohérence dans ces valeurs

annuelles des 3 bassins versants valide ces résultats. En effet rappelons que si le mode opératoire est le même, les caractéristiques des tronçons instrumentés, la gamme des hauteurs observée ainsi que les observateurs sont différents. Nous sommes donc en possession d'hydrogrammes originaux à partir desquels nous menons une analyse des phases de crue, aléas causant des dommages conséquents dans les villes et villages du secteur.

Le piémont de l'Atlas de Béni-Méllal se caractérisait par des rapides crues indiquant le caractère soudain du climat semi-aride avec des précipitations intenses et concentrées. La plupart des crues sont la cause des pluies qui tombaient en automne et en hiver surtout aux mois de novembre et de décembre. Quelques crues sont liées à la fonte des neiges aux sommets de l'Atlas de Béni-Méllal aboutissant à une augmentation de l'alimentation des cours d'eau, on en déduit également qu'il existe des crues exceptionnelles en matière de débit de pointe (plus de 120 m^3/s) qui a été enregistré à la station de Sid Chami, au début du mois de novembre 2014.

L'émergence des crues dans le 'dir' de l'Atlas de Béni-Méllal est due à de fortes pluies d'automne, qui sont à l'origine de perturbations météorologiques au début de chaque année et qui apportent souvent des pluies intenses et fortes.

La méthodologie déployée pour caractériser l'aléa crue et son empreinte sur deux sites représentatifs du "dir" de Béni-Méllal apparaît convaincante. Les valeurs produites pour les deux sites montrent que pour les deux plus forts débits observés sur les 3 années de mesure il y a eu une légère submersion de quelques infrastructures, ce qui est en accord avec ce qui a été observé sur le terrain pendant cette période. La modélisation ne surestime donc pas les valeurs. De la même façon les débits produits aux stations ne paraissent donc pas surestimés non plus. Donc, bien nous n'ayons pas utilisé de données de validation le système, de la production de débits à la modélisation de l'aléa hydrologique, apparaît cohérent. Notre méthodologie pourrait alors être déployée sur l'ensemble des bassins et sites vulnérables du "dir" de Béni-Méllal.

Face à l'absence de toutes formes de prévention et des interventions efficaces ainsi que de projets d'aménagement luttant contre les inondations, la population poussée par sa situation socio-économique vulnérable à s'installer dans les zones exposées aux inondations, se trouve sans protection, devant la force dévastatrice des inondations

L'absence du rôle des institutions publiques au niveau de la prévention et de la gestion des inondations, pousse cette dernière à prendre l'initiative dans la lutte contre les inondations, en s'appuyant sur ses expériences, ses connaissances et ses relations sociales solidaires.

L'absence de toutes formes de prévision, d'aménagements et d'interventions efficaces, empêche les populations de sauver leurs biens et d'atteindre le développement nécessaire. En effet, la population subit des contraintes d'ordre économique et sociale qui les rendent très vulnérable dans un milieu également fragile. Ce qui entraine des dégâts sur les infrastructures, la perte de bétail, l'effondrement des maisons, les décès des personnes sans oublier l'impact psychologique lié à ces catastrophes naturelles. Ce qui rend la situation difficile pour la population est l'absence ou l'insuffisance de toutes formes de dédommagement de la part de l'Etat.

Le Maroc possède un arsenal juridique très important, qui touche aux différents secteurs (urbanisme, eau, environnement…). Cependant, ces mesures juridiques et institutionnelles

restent insuffisantes dans un contexte caractérisé par la rapidité et les profondes mutations socio-économiques, écologiques que connait le Maroc.

Dans le contexte régional, la gestion des inondations au sein de la province de Béni-Méllal est marquée par la faible coordination entre les différents acteurs qui interviennent pour lutter contre les inondations.

Au niveau local, le faible soutien financier des associations locales, l'incapacité financière et technique des collectivités locales, et le dysfonctionnement des documents d'urbanisme n'ont pas permis de mener à bien une politique publique efficace et opérationnelle pour lutter contre les inondations.

Un certain nombre de facteurs (historiques et économiques…) ont joué leurs rôles pour faire du "dir" de Béni-Méllal une zone qui a connu une urbanisation ancienne.

- La migration a joué un rôle important dans l'extension urbaine qui caractérise le dir, et a aussi contribué de manière significative à la propagation des logements anarchiques dans les zones menacées par les inondations.
- L'urbanisation croissante des villes et des centres du "dir" de Béni-Méllal a joué un rôle important dans l'aggravation du phénomène des inondations par le peuplement des zones inondables et l'influence sur le comportement hydrologique des Oueds et les chaabat d'une part et sur le facteur de perméabilité d'autre part. Ce qui a affecté les temps de réponse et de concentration des eaux dans les bassins fluviaux.
- Nous pourrons conclure également, que la pauvreté et les prix bas de l'immobilier dans les zones menacées par les inondations ont encouragé une grande partie de la population à s'installer dans ces zones, en plus de la croyance au destin, et d'autres facteurs qui sont liés à la situation juridique et aux procédures administratives, pour faire de ces zones des zones d'attraction.
- Les zones à risque du "dir" de Béni-Méllal attirent une population caractérisée par des taux élevés de chômage. Ceci confirme que ces zones attirent une population qui souffre de la fragilité socio-économique à s'installer dans ces zones. Elles attirent aussi d'autres populations qui exploitent l'absence de l'Etat et de ses institutions pour bénéficier des avantages économiques et immobiliers, notamment en ce qui concerne les prix de l'immobilier et les règles juridiques et administratives liées au bâtiment.
- Le taux élevé d'analphabétisme de la population des zones menacées contribue d'une manière ou d'une autre à l'aggravation des inondations.
- Les zones à risques souffrent de l'absence des infrastructures d'assainissement liquide. Ce qui rend les vallées et les chaabats des espaces d'évacuation des eaux usées, et l'évacuation des eaux pluviales à la fois.

La conjugaison de tous ces facteurs fait du "dir" de Béni-Méllal un espace fragile et vulnérable devant les risques d'inondation.

Aujourd'hui, le développement local et durable constitue l'un des principaux défis qui se posent sur le territoire national en général et le domaine d'étude, en particulier. Pour cette fin, le Maroc a commencé depuis plusieurs années à mettre en place plusieurs politiques servant le développement sur différents plans : économique, social et environnemental afin de remédier

au retard et la défaillance dans tous les domaines. Toutefois, multiples rapports nationaux et internationaux ont confirmé l'échec de ces politiques à atteindre le développement souhaité. Cela est lié à l'absence d'une politique globale, qui omet de prendre en considération le développement dans sa globalité, sachant que les différentes politiques mises en œuvre sont sectorielles et n'ont pas pris en compte l'espace marocain dans son intégralité spatiale et humaine. De plus, une large dégradation environnementale est observée avec des écosystèmes fragiles en raison d'augmentation des risques naturels, qui présentent actuellement une menace réelle pour la sécurité humaine et la fragilité de l'espace. Cette situation semble très compliquée et aggravée par les changements qui sont survenus sur le territoire national, favorisés, d'une part par la pression démographique croissante et l'extension urbaine et d'autre part par les effets des changements climatiques.

Au vu de cette situation, une nouvelle stratégie pour le développement des zones fragiles a été adoptée. A ce propos, une série de projets de développement a été lancée dans plusieurs régions du Maroc en citant par exemple le lancement du développement de Rif-Ouest (DERRO) en 1960, financé par l'Organisation mondiale, la FAO puis le programme de conservation des sols du DRS, le programme national de plantation, le projet du moyen Atlas, le projet d'Azilal et le plan de protection contre les inondations... etc.

Cependant, tous ces projets n'ont pas atteint les objectifs souhaités, la déforestation continue, la vulnérabilité et la pauvreté s'accentuent, les inondations et ses impacts spatiaux et humains sont en pleine croissance, les villes marquent une grande extension, en sa grande majorité aléatoire aboutissant l'appropriation des zones d'aléa qui ne cesse à augmenter.

Après toutes ces considérations, la question qui se pose actuellement et celle qui attire l'attention sur l'échec de ces projets qui visaient le développement et lutte contre les différents risques naturels.

Pour répondre à cette question problématique, nous avons suivi une approche globale en faisant un diagnostic du phénomène d'inondations dans le "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal, à travers lequel nous avons essayé de prendre en compte tous les éléments impliqués dans cette problématique. Les résultats ont montré de nombreux déséquilibres dans la gestion de ce phénomène, qui demeurent parmi les grandes contraintes spatiales qui freinent tout un processus de développement dans ces espaces fragiles. Ces déséquilibres peuvent être résumés comme suit:

- Absence de dispositifs d'avertissement préventif et pré-inondation en raison de l'absence de stations hydrométriques et de stations climatiques pour le suivi et la surveillance.
- Les études antérieures n'ont pas pu trouver des solutions adéquates puisqu'elles sont basées sur des données climatiques extraites par des programmes hydrologiques et des modèles statistiques relatifs « empiriques » et qui ne sont pas effectués avec des données fiables.
- Une absence remarquable de l'approche participative pour l'aménagement du territoire en général et l'aménagement des risques naturels en particulier, la population locale n'a jamais été impliquée dans la réalisation du diagnostic des risques d'inondation, dont les solutions proposées étaient purement des installations techniques strictes témoignant du manque de conscience de l'importance de ce sujet dans sa globalité.

- Une migration rurale importante et une croissance urbaine incontrôlée, vue l'absence de la mise en œuvre réelle des orientations des lois de l'urbanisme et les directives des plans d'aménagement.
- Taux élevé d'analphabétisme, de pauvreté, et une faible sensibilisation aux dangers des inondations et à la protection de l'environnement,
- Mauvaise application des lois de protection de l'environnement et des zones menacées par les inondations, conduisant à l'occupation de zones menacées par les inondations (construire près des rives aux fonds des vallées),
- Absence d'indemnisation concernant les pertes dues aux inondations,
- Absence du secteur privé dans la gestion du problème des inondations,
- Absence d'associations de la société civile ;
- Manque de coordination entre les différents acteurs de territoire et les institutions impliquées dans la gestion du problème des inondations ;

Dans ce sens, nous proposons les recommandations suivantes :

I) La cartographie des dangers d'inondation: outils d'aménagement, de prévention et de sensibilisation:

- **Utilisation de la carte des zones des aléas dans l'aménagement du territoire:**

Les cartes des zones inondables sont parmi les plus importants documents qui aident à la prise de décisions d'aménagement parce qu'elles fournissent des informations sur les zones menacées par le risque d'inondation. Il est indispensable de généraliser d'une part ce document au niveau national et d'autre part il est nécessaire de l'exploiter dans toute action d'aménagement et de planification future des villes et du milieu rural. Ce document est riche en matière de données qui indiquent surtout le degré du risque, les zones les plus menacées, ainsi que la relation entre les zones menacées par des inondations à fréquence temporelle ou le temps de retour.

- **Utilisation de la carte des risques pour la sensibilisation et la lutte contre les inondations :**

La carte des zones inondables est considérée parmi les moyens qui facilitent la communication entre les acteurs du territoire, entre spécialistes et non spécialistes, vu qu'elle se base sur une représentation graphique lisible, alors il faudrait il faut:

- Généraliser ce document a l'ensemble des acteurs territoriaux pour faciliter la communication, la sensibilisation et la mise en coordination des différents acteurs locaux et aussi les responsables dans le domaine de lutte contre les risques d'inondations.
- Exploiter ce document a l'auprès des associations de la société civile, et commencer à l'utiliser dans leurs programmes.
- Installer des panneaux de signalisation pour les mosquées, les établissements scolaires, et les écoles publiques, à côté des routes et près des oueds pour sensibiliser la population aux risques d'inondations.

II) A l'échelle des bassins, des oueds et des vallées :

- **Installations des équipements dans les cours d'eaux et les vallées :**

Les données climatiques et hydrométriques jouent un rôle essentiel dans les différentes études hydrologiques et climatiques et permettent la précision et la fiabilité des études. Ce qui est important pour fournir des propositions d'aménagement. Donc, la fiabilité de résultats obtenus et les différents programmes d'aménagement sont étroitement liés à la qualité des données utilisées. Toutefois, l'absence des stations dans les bassins étudiés et la fréquentation forte des inondations et leurs dégâts exigent fortement de mettre en place des stations climatiques en amont et en aval. De plus, la nécessité d'installer des stations hydrométriques au fond des cours d'eau permanents, et le suivi de débits pendant les périodes de hautes eaux, les moments des fortes précipitations. Cela va permettre de construire une base de données qui va être utilisé par les chercheurs et les bureaux d'étude. Pour cette fin nous présentons certains équipements qui devraient être installés au sein des bassins étudiés (carte n°).

- **Aménagement des bassins :**

Plusieurs facteurs lithologiques, morphométriques et les types d'utilisation des sols jouent un rôle fondamental pour déterminer le fonctionnement hydrologique des bassins, à savoir leur drainage, la vitesse de leur écoulement superficiel.

En ce qui concerne les bassins du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal, leur réponse hydrologique est très rapide aboutissant à des inondations catastrophiques. Cela est dû à leur petite taille ainsi qu'à d'autres facteurs comme la dégradation du couvert végétal, une grande extension des espaces bâtis et des espaces bétonnés imperméables sans oublier leur situation topographique, caractérisée par de fortes pentes.

Au vu de cette situation, plusieurs mesures d'aménagement devraient être prises afin de réduire la durée de réponse de ces bassins et de contrôler son écoulement et de le régulariser. A ce propos, nous proposons des actions de boisement et de reboisement, de construction des barrages et des gabions. Toutes ces mesures peuvent diminuer et régulariser l'écoulement des cours d'eau et amener à réduire enfin l'intensité des inondations.

- **Reboisement en amont des bassins hydrologiques :**

Il s'agit de renforcer l'action de boisement et de reboisement surtout dans les zones qui ont connu une forte dégradation de végétation. Cette action aura un impact positif vu qu'elle contribue à stabiliser les versants et à lutter contre l'érosion, régulariser l'écoulement et lutter contre la désertification et la protection de la biodiversité ainsi qu'améliorer les conditions de vie de la population locale.

Dans ce contexte, les bassins du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal souffrent d'une forte déforestation ; ce qui exige un large intérêt pour ce secteur, en intégrant aussi les habitants dans le projet de développement et en les sensibilisant quant à l'importance de leur patrimoine forestier en leur donnant de nouvelles solutions et en changeant leur mode de vie qui se base sur l'exploitation intensive de la forêt. De ce fait, les actions de reboisement ciblent principalement les versants à forte pente et les zones à fortes dégradation. Il faudra également mettre en évidence la dimension économique des différentes essences végétales sachant que les

habitants ont commencé à s'orienter vers l'implantation d'arbres fruitiers (Caroubiers, Oliviers, Amandiers...), considérés comme la source principale de leurs revenus. Dans les zones de cultures, il semble utile de demander aux agriculteurs de labourer en parallèle des courbes de niveaux et de construire des banquettes anti-érosives et en pierres. Enfin, il est nécessaire de motiver un système forestier regroupant à la fois les cultures, les arboricultures et le pâturage organisé.

- **Construction des barrages :**

La construction des barrages a une grande importance pour réduire la vitesse des eaux et le contrôle du débit des principaux cours d'eau ; et jouent un grand rôle pour stocker et drainer les eaux issues de précipitations exceptionnelles. Or, la réussite de cette politique de construction des barrages ne sera utile que s'elle est accompagnée par un travail colossal en matière de boisement et de stabilité des versants. Sinon, ils seront menacés par le problème d'envasement et deviendront alors un obstacle. Cela a poussé les responsables à construire des digues et à aménager les rives de ces cours d'eau. Malgré cela, l'inondation s'accentue sachant que les différents types d'aménagements ne prennent pas en considération toutes les composantes et les processus favorisant ce phénomène et que les actions des reboisements sont inexistantes.

- **Construction des gabions :**

Il est également intéressant de construire des gabions dans les zones à forte pente, car ils contribuent à atténuer la vitesse de l'écoulement, à lutter contre l'érosion et éviter les glissements du terrain. Il est par conséquent utile de généraliser cette technique sur tous les cours d'eau étudiés et leurs principaux affluents. Dans cette optique, Oulghazi (2017) a signalé que cette technique a donné des résultats positifs au niveau de l'Oued El Handak et Oued Ain El Ghazi situés dans le "dir" de Béni-Méllal.

- **Aménagement des cours d'eau et des vallons traversant les zones urbaines et rurales :**

L'aménagement des cours d'eau traversant des espaces urbains et ruraux est important puisqu'il réduit l'intensité d'inondation et ses effets négatifs sur l'espace. Cet aménagement se présente sous plusieurs formes en citant par exemple la construction des murs le long des rives et le vidage des fonds des cours d'eau (curage), le renforcement des installations surtout ponts et corridors, et la réalisation de travaux de maintenance et techniques. Mais ces travaux cités doivent être basés sur des études hydrologiques et des données collectées sur le terrain ce qui reflète concrètement les caractéristiques de l'espace, soit sur le plan lithologique, hydrologique, couvert végétal ou sur le plan anthropique.

- **Elargissement des cours d'eau :**

Généralement les cours d'eau des bassins péri-urbains et ceux qui traversent des espaces ruraux et des zones agricoles se caractérisent par leur passage étroit. L'objectif est d'une part de réaliser des travaux d'élargissement pour avoir la capacité de recevoir des grandes quantités provenant des précipitations, d'autre part avoir la capacité de recevoir la charge solide. Sachant que les cours d'eau dans le "dir" de Béni-Méllal transportent une quantité remarquable de sédiments solides qui se déposent au fond en réduisant leur capacité à contenir l'eau ce qui a provoqué un

débordement suite à des crues inondables.

- **Construction des murs le long des berges au sein des espaces urbains et ruraux (Canalisation)** :

Cette technique demeure efficace dans la zone d'étude vu qu'elle abrite des cours d'eau qui ont en majorité des lits à fond semi plat non profonds ; ce qui implique le renforcement des travaux de construction des berges afin d'orienter l'écoulement dans les zones urbaines et les agglomérations rurales. Ensuite, ces berges artificielles devront être de grande dimension pour qu'elles assurent le drainage normal des eaux, mais parfois, on remarque que l'on ne prend pas en compte la hauteur exceptionnelle des eaux provenant des pluies exceptionnelles. Cette situation apparait évidemment dans la construction des ponts. Dans ce sens, plusieurs ponts, canaux et passages qui ont été réalisés en aval des cours d'eau, voire même ceux qui ont été installés sur la route nationale n° 8 ainsi que sur d'autres routes reliant la zone d'étude. Toutes ces constructions sont sous-dimensionnées très étroites, ce qui cause toujours leur destruction. Dans le même contexte, la population interfère parfois et empêche certaines réalisations comme le cas de la ville d'El-Ksiba, où elle n'a pas permis à la commune urbaine de continuer la construction des berges d'Aqqa'nou Albouch ; cela exige l'application de la loi relative à l'eau qui devra exproprier à des fins d'utilité publique.

- **Le nettoyage régulier des cours d'eau :**

Il est nécessaire de faire des travaux de nettoyage des cours d'eau et de leurs résidus constitués d'éléments solides (blocs, galets, sables et bois) et des déchets solides. De plus, plusieurs sections demandent doivent être aménagées par de murs préventifs surtout au niveau des méandres où la dominance de l'érosion des berges (sapement de berges) et important.

III) Sur le plan institutionnel : nécessité de coordination entre les acteurs du territoire et adoption d'une approche participative:

En se référant au travail du terrain, nous remarquons l'absence de coordination pour la gestion de la problématique d'inondation. Or, les principes de coordination et de participation sont parmi les nouvelles approches dites efficaces pour résoudre les problématiques d'un territoire donné. Dans ce cadre, il demeure indispensable d'assurer une bonne coordination entre les différents acteurs de "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal et clarifier les rôles de chaque responsable agissant dans ce territoire, sans négliger les habitants et les associations civiles et le secteur privé pour éviter les dégâts causés par les inondations. A cet égard, nous proposons les recommandations suivantes :

- **Assurer une bonne coordination entre les acteurs locaux pour la gestion des inondations :**

La fréquence des inondations dans le "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal et la multiplicité des intervenants dans leur gestion, fond de la coordination devient un moyen important pour résoudre les problèmes d'inondations, soit en matière de prévision au moment de l'événement soit après la survenue des inondations en partageant les documents qui ont été réalisés à ce sujet.

Dans cette optique, la Direction Régionale Météorologique devra mettre en coordination tous

les acteurs en matière de diffusion des bulletins d'informations des précipitations prévues et les faire parvenir par la suite à la population par l'intermédiaire des institutions de la société civile. De plus, l'Agence du Bassin Hydraulique d'Oum Errabia devrait diffuser les plans des zones inondables mais il faut tenir en compte une meilleure coordination entre les différentes institutions publiques et privés pendant la mise en œuvre de ces plans. Il faut aussi y ajouter, une bonne coordination au moment de l'intervention pour éviter l'impact des inondations sur la population, les infrastructures et les différentes composantes de l'espace.

- **Le soutien de l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Errabia :**

L'Qgence du Bassin Hydraulique d'Oum Errabia est le premier responsable des études techniques concernant la gestion des ressources en eau et les travaux, liés à l'aménagement et à la protection contre les risques des inondations. Cependant, l'insuffisance des ressources financières et humaines voire, même la grande superficie du bassin (7% de la superficie du territoire national) ainsi que le nombre important des zones inondables rendant la question de la coordination avec d'autres acteurs très complexe.

- **Renforcer le rôle des communes locales en tant qu'agent principal dans le développement local et la lutte contre les inondations :**

Actuellement, les communes territoriales deviennent un acteur actif en matière des décisions nécessaires pour assurer le développement économique, social, culturel et environnemental. Malgré ça, les communes couvrant la zone d'étude souffrent de plusieurs problèmes financiers et la faiblesse de leurs ressources humaines les rendent incapables de réaliser correctement leurs tâches surtout en matière d'élaboration de lois d'urbanisme et les empêchent de respecter leur engagement concernant les dispositifs des documents d'urbanisme, et la mise en œuvre des études pour lutter contre les inondations.

- **Implication du secteur privé dans la gestion des inondations :**

Le secteur privé joue un grand rôle économique et social dans différents pays développés et en voie de développement vu leur avantage et leur possibilité sur toutes les dimensions : économiques, sociales et environnementales. Mais leur importance dans le "dir" de Béni-Méllal demeure faible surtout en ce qui concerne les investissements pour éviter le risque d'inondation. Cela implique donc l'intégration de ce secteur dans tous les programmes d'aménagement.

- **Intégrer et soutenir les associations de la société civile :**

Il s'agit d'encadrer et sensibiliser les citoyens pour qu'ils s'intègrent efficacement dans les différentes actions de développement surtout sur les risques qui menacent leur vie et leurs biens. Or, les associations jouent un rôle marginal plus ou moins en matière de gestion et de protection et souffrent d'un problème de communication. Pour cela, la nécessité de fournir des subventions aux associations est primordiale dans ce domaine afin d'assurer une bonne sensibilisation des habitants et de les informer sur la culture des risques et les intégrer dans les actions d'aménagement.

- **Implication de la population locale :**

L'implication de la population locale est primordiale dans chaque action de développement.

Donc son implication dans le diagnostic territorial et la connaissance de ses représentations envers le risque d'inondation sont obligatoires pour la réussite des programmes d'aménagement.

D'une manière générale, pour résoudre ce problème d'inondation, il est nécessaire de respecter plusieurs principes comme la bonne gouvernance, la participation, la loi, la transparence, l'équité, l'efficacité et la responsabilité.

La gouvernance spatiale implique de dépasser la vision unique ou dite sectorielle et de se focaliser sur la participation réelle de tous les intervenants dans le territoire où chacun a sa responsabilité et son rôle à jouer. Alors, une meilleure gestion des inondations exige bien sûr un travail partagé de tous les acteurs sur le plan technique et surtout scientifique à travers des études approfondies et précises surtout lorsque l'on parle des études destinées à de grandes installations comme les grands barrages. Ces études nécessitent des moyens financiers très importants ; ce qui demande de consolider les efforts entre toutes les institutions de territoire.

IV) Sur le plan législatif :

Selon cette étude, on remarque un nombre limité de lois pour réduire les problèmes spatiaux qui contribuent d'une manière ou d'une autre à la survenue des inondations, notamment en ce qui concerne la protection de la propriété publique de l'eau ou de la propriété publique forestière, ainsi que le contrôle des constructions et de l'extension urbaine. Les lois posent beaucoup de difficultés dans leur application ou ne prennent pas en compte les spécificités locales de certaines zones. Ce qui nécessite de mettre à jour les lois relatives à la protection de la propriété publique forestière ainsi que les lois d'urbanisme et la loi de l'eau de telle sorte qu'il soit facile de les mettre en œuvre sur le terrain. De plus, une loi devrait également être mise en place pour intégrer les cartes des zones touchées par les inondations avec la loi d'urbanisme afin de former un mécanisme afin de guider l'urbanisme et l'aménagement spatial. L'absence de ce type de plans dans la liste des plans approuvés dans le domaine de l'urbanisme, montre que la politique d'aménagement spatial au Maroc néglige le problème d'inondations et les risques associés, ce qui aggrave les problèmes en exacerbant la vulnérabilité des zones urbaines, et des centres ruraux émergents. Une loi devrait également être élaborée en considérant les zones rurales menacées par les inondations et devrait être incluse dans les documents de développement.

V) Soutenir la recherche scientifique et technique lancer par les laboratoires de recherche:

La recherche scientifique et technique a une importance capitale dans le domaine de la réduction des risques en général et le risque hydrologique en particulier, vu son intérêt pour le suivi et l'analyse des données statistiques en matière de climat et d'hydrologie, et la prévention. Elle fournit des solutions efficaces pour éviter les dégâts matériels et humains. Pour cela, il faudrait soutenir la recherche scientifique et technique dans les domaines suivants :

- **Support des méthodes d'observation et de suivi :**

Parmi les problèmes rencontrés par les chercheurs dans le domaine hydrologique, précisément dans le domaine de l'inondation, nous trouvons le problème lié à l'absence de données climatiques et hydrométriques. Cette situation résulte principalement de l'absence d'une

stratégie claire et d'une vision politique à long terme en matière de la recherche scientifique.

Dans ce contexte, il est devenu nécessaire de mettre en place des installations de prévision d'alerte contre les inondations afin de prendre toutes les précautions nécessaires et d'évacuer les lieux menacés.

Le Maroc a adopté un système dans le bassin d'Ourika, après les inondations de 2003, dans le cadre du partenariat avec l'Agence Japonaise de coopération internationale. Une autre station a été installée dans le bassin de l'oued El Maleh pour protéger la ville de Mohammadia du risque d'inondations.

L'installation de ce genre d'équipements est nécessaire dans les bassins étudiés en raison de leur petite superficie et la vitesse de leur réponse, en particulier dans les vallons droits et gauches d'Ain El-Khair, le vallon de Tanougha et le vallon d'Anoufi, Leur application dans les autres bassins aura une efficacité prouvée, d'autant qu'ils font partie des mesures préventives qui peuvent être mises en avant pour atténuer les pertes occasionnées par les inondations.

- **Soutenir l'achèvement d'un modèle numérique de terrain de haute qualité:**

L'achèvement des cartes et des plans de protection contre les inondations repose principalement sur le modèle numérique du terrain: plus la qualité du modèle de terrain numérique est élevée, plus il représente la réalité et assure un bon fonctionnement de la modélisation hydrologique en obtenant des résultats précis sur les zones sujettes aux inondations. Cependant, le modèle numérique de terrain roulant ne dépasse pas une résolution de 30 mètres, mais il est encore insuffisant pour produire une modélisation de haute qualité. De ce fait, il devient obligatoire de renforcer le travail pour produire un modèle de terrain de haute résolution, et le rendre accessible aux chercheurs dans le domaine hydrologique, en plus de simplifier les règles administratives pour la numérisation de photos aériennes qui sont la base pour produire un modèle numérique de haute qualité allant jusqu'à 33 cm.

- **Confirmation du droit d'accès à l'information et des données gratuites pour les chercheurs:**

La difficulté à obtenir des informations, leur coût élevé, constituent l'une des plus importantes contraintes confrontant les chercheurs en hydrologie et en géographie. Ce qui demande beaucoup de temps et complique la tâche des chercheurs. Alors, il est indispensable d'intervenir afin d'approuver le principe de l'accès à l'information et la gratuité de données pour les chercheurs , en particulier pour les données climatiques et fournir des images satellites, des données hydrométriques et d'autres données qui servent purement a la recherche scientifique en instaurant des partenariats entre l'université et les différentes productrices de l'information , à travers lesquels les chercheurs peuvent avoir accès à l'information gratuitement, et que ces institutions bénéficient de résultats de recherches effectuées.

VI) Au niveau de l'équipement et de l'infrastructure : travailler pour réduire la vulnérabilité:

La vulnérabilité est l'un des éléments les plus importants qui favorise le risque hydrologique. Donc, résoudre ce problème pourra être l'un des principaux moyens de réduire ou d'atténuer au moins l'inondation et ses dégâts. En autre, l'infrastructure est considérée comme l'élément

fondamental pour réduire la vulnérabilité et réduire les risques d'inondations dans le "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal.

- **Contrôler l'extension urbaine et adhérer à l'orientation et le contenu des plans d'aménagement :**

Les statistiques du HCP (RGPH 2014) montrent que les zones étudiées se caractérisent par une croissance démographique résultant de nombreux défis majeurs dans divers domaines, notamment la fourniture des logements nécessaires pour accueillir une population croissante, ainsi que la fourniture d'équipements et d'infrastructures de base. Cependant, ces mesures qui constituent les grandes orientations des plans d'aménagement, sont rarement appliquées dans la réalité pour diverses raisons, y compris celles qui sont liées aux mécanismes de mise en œuvre et d'autres s'attachent aux documents d'urbanisme eux-mêmes. Toutes ces lacunes sont exploitées pour une large extension des constructions non réglementaires et des zones d'urbanisme aléatoires ne possédant pas des conditions nécessaires de développement spatiales durables prévues par les plans d'aménagement au moyen et à long terme.

La mise en œuvre stricte du contenu des plans d'aménagement demeure donc le plus grand défi pour les zones urbaines et rurales, par lequel de nombreux déséquilibres peuvent être surmontés, ce qui contribue à accroître la vulnérabilité des risques d'inondations.

A ce propos, on propose de mettre en place un plan d'aménagement pour le douar d'Ait Hammou Abed Essalem, vu son caractère particulier menacé par le risque des inondations. La réalisation de ce document pourra être financée par l'usine de ciment qui est considéré comme étant une des grandes usines au niveau national, mais une subvention devra aussi être demandée par la commune de "dir" El-Ksiba et au Conseil Régional de Béni-Méllal. Egalement, il devrait être accompagné par des cartes des zones menacées, dans le cadre de la coordination entre l'Agence du Bassin Hydraulique responsable de l'achèvement des projets des zones menacées et l'Agence Urbaine de Béni-Méllal en tant que responsable de l'achèvement des documents d'urbanisme, et enfin les communes locales responsables de la mise en œuvre de ces documents.

- **Installation et maintenance des réseaux d'assainissement :**

Si certains centres ruraux comme le centre de Tanougha et douar d'ait Hammou Abdeslam ne disposent pas d'un réseau d'assainissement, son existence dans d'autres centres urbains comme El-Ksiba, Zaouit Echiekh et Ouaouizerth, reste défaillant et n'est pas généralisé sur tous les quartiers marginaux, des canaux étroits de faible capacité pour contenir les eaux de précipitations exceptionnelles que connait le "dir" de Béni-Méllal, sans oublier le blocage de ces canaux par des résidus, généralement des déchets et matériaux sableux et graviers emportés par les eaux.

Après toutes ces considérations, nous proposons une large installation du réseau d'assainissement avec une grande capacité de collecte des eaux en assurant aussi sa maintenance permanente. En revanche, il nous apparait nécessaire de construire des canaux destinés principalement à l'évacuation et au drainage des eaux de précipitations afin d'atténuer la pression sur les canaux d'assainissement. Cette méthode implique l'existence de deux systèmes, le premier vise l'évacuation des eaux issues des rues, des boulevards et des toits des maisons, le second permet de transférer les eaux usées, eaux des usines et des équipements

publics. Ces systèmes binaires permettra de faciliter la gestion des eaux dont les eaux de pluies seront rejetées dans la nature sans traitement tandis que les eaux usées seront traitées avant d'être rejetées dans les cours d'eau.

- **Installation et rapprochement des centres de la protection civile:**

Comme nous l'avons noté, les bassins de "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal sont caractérisés par leur petite taille et un temps de réponse faible, ce qui rend nécessaire la création des centre d'intervention dans toutes les zones menacées, en leur fournissant tous les moyens nécessaires assure une bonne intervention. Ensuite, Il faudra assurer la coordination entre le commandement régional de la protection civile et tous les intervenants dans la gestion du problème des inondations. Il faudra également assurer la coordination avec la Direction Régionale de la Météorologie afin de bien préparer l'intervention au moment des inondations pour diminuer les dégâts.

- **Mettre en place une structure sanitaire capable d'absorber la population affectée:**

Compte tenu du nombre n'important de personnes menacées par les inondations au niveau du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal et l'existence de 52 points menacés par les inondations dans la région de Béni-Méllal Khenifra, il est donc nécessaire de prendre en compte ces données dans la carte provinciale et régionale de la santé en mettant en place des équipements avec une grande capacité sur le plan quantitatif et qualitatif, destinés aux habitants concernés. Il faut assurer également une bonne coordination avec les autres acteurs de la gestion des inondations afin de bien se préparer et de fournir des services de santé à la population affectée.

VII) Sur le plan socioculturel ; atténuer la vulnérabilité et établir la culture du risque:

L'analyse des données collectées sur le terrain et les perceptions des habitants du "dir" de Béni-Méllal ont montré qu'il y a plusieurs facteurs importants qui ont poussé la population locale à s'installer dans les zones menacées (prés et au fond des valles). En ajoutant à cela, l'interprétation fausse de la religion sur la justice, le destin et la pauvreté. En y ajoutant d'autres facteurs liés à la complexité des procédures administratives, et les pas prix des terrains dans les zones éloignées des centres urbains et qui sont des zones à fort danger. Il faut simplifier les règles relatives à la construction, et établir les procédures nécessaires de sorte que les couches sociales défavorisées puissent accéder à un logement dans des endroits non menacés par les inondations.

En revanche, dans les bassins étudiés, les inondations ont pu être en rapport avec une mauvaise appréciation et les mauvais comportements de la population notamment avec la construction aux fonds des vallées, et la pratique des activités agricoles sur les rives des oueds, ainsi que de jeter les déchets solides dans les cours d'eau, et la déforestation. Pour cela, il s'avère nécessaire de sensibiliser la population en les sensibilisant et les informant des endroits où les constructions sont interdites, ainsi que des mesures de protection à prendre par les habitants en cas d'inondations. De plus, il faut généraliser les cartes des zones menacées vu leur contenu informatif pertinent.

Bibliographie:

Abdelouahid S. (2015) . Le piemont nord des kebdana (nord-est du Maroc): modèle et dynamique », Universite Mohamed 1er faculté des lettres et sciences humaines, Oujda, Maroc, pp 32.

Abhas K. Bloch R. Lamond J.(2012) Villes et inondations Guide de gestion intégrée du risque d'inondation en zone urbaine pour le XXIe siècle, Banque mondiale Washington.

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia Beni- Mellal. (2003). Etude de protection conter les inondations. Provience de Beni-Mellal, centre d'El-Ksiba.

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia Beni- Mellal. (2003). Etude de protection contre les inondations, Provinces de Béni-Méllal, Khénifra, khouribga et Azilal. Diagnostic de la situation actuelle et élaboration de l'étud hydrologique- centre El-Ksiba .

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia Beni- Mellal. (2003). Etude de protection contre les inondations. Provience de Béni-Méllal,centre d'El-Ksiba,Chaabat Nou'hloima.

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia Beni- Mellal. (2003). Etude de protection contre les inondations. Provience de Béni-Méllal ,centre d'El-Ksiba,chaabat nou'hloima.

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia Beni- Mellal. (2003). Etude de protection contre les inondations. Provience de Béni-Méllal ,Centre d'El-Ksiba,Oued Nouh'lima.

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia Beni- Mellal. (2003). Etude de protection contre les inondations. Province de Béni-Méllal , centre d'El-Ksiba, Chaabat Campin.

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia Beni- Mellal. (2009). Diagnostic de la situation actuelle et élaboration de l'étude hydrologique, Centre El-Ksiba.

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia Beni- Mellal. (2003). Etude de protection contre les inondations. Provience de Béni-Méllal , Centre d'El-Ksiba, Chaabat El kheir Est et Ouest.

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia. (2010) Etude de Délimitation des Zones Inondables dans les Provinces de Béni-Méllal .

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia.(2002) . Etude de Protection contre les inondation, Diagnostique de la Situation Actuelle.

Alavi M. Leidner D.E (2001). Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues,MIS Quately 1(25),107-136.

Alcantara Aylal .I (2002) . Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries, Elsever geomorphology 47(2002)p107-124.

Ali A.Md., Solomatine D.P., and Balassarre G.Di., 2015: Assessing the impact of different sources of topographique data on 1-D hydraulic modelling floods. Hydrol. Earth. Syst. Sci., 19, 631-643.

Allan L (1997). Comunidades vulnerables y prevención de desastres en America Latina,VIVIENDO EN RIESGO,Red de Estudios Sociales en Prevención deDesastres en América Latina,P25.

Annie R (2012), Généralisation de l'approche d'ensemble à la prévision hydrologique dans les bassins versants non jaugés, thèse de doctorat, l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, ParisTech**.**

Anssar N (1981) : Le Développement agricole du périmètre de Tadla. Thèse de 3 ème Cycle, Sociologie, Montpellier, (Directeur de Thèse : Badouin Robert).

Atlas des remontées de nappes en France Métropolitaine (2006),Etude réaliseée dans le cadre de la convention Risque 2003,action 4,8 rremontées de Napes.

Audinet M.(1995) Hydrométrie appliquée aux cours d'eau. Eyrolles, 453 p.

Aurélien jacques M. Léa R R.(2003). Utilisation des SIG et de la télédétection pour la gestion de l'environnement urbain : cas de la ville d'antananarivo (MADAGASCAR)Publié sous l'enseigne Éditions scientifiques GB Imprimé en France.

Bachaoui B . Bachoui E M . El Harti A .Bannari A . El Ghmari A.(2007). Cartographie des zones à risque d'érosion hydriques: exemple du Haut Atlas Marocain, Revue, Télédétection 7(1-4),393-404.

Bader JC. Borel Y. Delfieu G. (1969). Recherche de corrélations entre les débits des stations hydrométriques du Tog, n de page 33.

Bailly. A .(1996) .Risques naturels, risques de sociétés, Economica, Paris, 103.

Bastian M .(2010). Etude préalable du Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) du bassin versant de la Fensch ,Mémoire de fin d'études ,Ecole de Nationale du Génie de l'Eau et de l'environnement de starsbourge.

Bauduceau N .(2006). Le bâtiment face à l'inondation Diagnostiquer et réduire vulnérabilité, centre eoropien de prévision du risques inondations.

Behzad H. (1982). Hydrologie et hydrochimie de quelques karsts méditerranéens du Liban, syrie et le Maroc, thèse de doctorat d'état ; p 320.

Beltrando G.(2004). Les climats, processus, variabilité, et risques, Armand colin/SEJER,Paris.

Berthet L.(2010). Prévision des crues au pas de temps horaire : pour une meilleure assimilation de l'information de débit dans un modèle hydrologique, thèse de dotorat,Doctorat. Paris. Tech École doctorale Géosciences et Ressources naturelles.

Bertrand D.(2005). Développement et validation d'une modélisation hydrologique globale incluant les effets sous maille et la représentation des zones inondées, Thèse présentée et soutenue Le 11 novembre 2005, Université de Toulouse III Paul Sabatier UFR PCA**.**

Bertrandg. (1991). Le paysage entre la nature et la Société Armandcolin paris. 249 p.

Billet P. (2004). La détermination des zones exposées au risque « inondation » en droit administratif. In : Spatialisation et cartographie en hydrologie, Edition université Paul Verlaine, Metz, 125-136.

Birkamann j. (2006). Meausuring vunerability to promote disaster resliencent societes,Conceptual framewroks and definiions,In Brikmann j (ed) Meusuring vunerability to natural hazards,towrads di sater reslient,United Nation Unversity Press,Tokyo.

Bouchaou L . Alain M. Chauve P .(2002) . Turbidity mechanism of water from a karstic spring: example of the Ain Asserdoune spring (Béni-Méllal Atlas, Morocco), in "Journal of Hydrology, volume 265, Issues 1-4, 30 August 2002 pp. 34-42.

Bouchaou L. (1988) . Hydrogéologie du bassin des sources karstiques du complexe calcaire Haut Atlasien du "dir" de Béni-Méllal (Maroc).

Bouchaou L. Chauve P. Jacques M. Jacky M. Hsissou Y.(1997). Structure et fonctionnement d'un hydrosystème karstique de montagne sous climat semi-aride: cas de l'Atlas de Beni-Mellal (Maroc), « Journal of African Earth Sciences » volume n° 25, Issue, August 1997 pp. 225-236.

Bouchaou L. (1997). Contribtions à la connaissence de l'quifère Karstique de l'Alas de Béni-Méllal(Maroc),Kast hydrology(proceedings of warkhop w2held in Rabt,MorrocApril-May1997)IAHS Publication 247,117-126.

Boughaba H.(1985). Etudes préliminaires pour un projet d'exploitation de plantes médicinales à Beni-Mellal et Azilal (Maroc) Doctorat d'Etat , Pharmacie : Lyon 1, (Directeur de Thèse :).

Bouichichan. M.(1997) : Les contraintes d'aménagement dans les régions de piemont : Les périmètres irrigués du "dir" de Béni-Méllal (Maroc). (Directeur de thèse : Avenard Jean Michel).

Boujrouf S. (1990). Espace commercial et structuration régionale : le versant septentrionnal du Haut-Atlas marocain (Province d'Azilal). Thèse, Géographie : Grenoble 1 (Directeur de thèse : Herbin Jacky).

Brasey J. Perritaz L. (1992). Recherches géomorphologiques et spéléologiques sur le plateau des Aït Abdi (Haut Atlas central, Maroc), Actes du 9ème congrès spéléologique national, Charmey, SSS.

Bravard J.P .PETIT F. (2000). Les cours d'eau, Dynamique du système fluvial.Armand Colin/HER/Paris.2000.ISBN :2-200-25177-7.

Bravard J-P. PETIT F. (1997). Les cours d'eau : dynamique du système fluvial. Edition Armand Colin, Paris, 221 p.

Bravard JP. Petit F.(2000).Les cours d'eau, Dynamique du système fluvial.Armand Colin/HER/Paris.2000.ISBN :2-200-25177-7.

Bui d V. Goïta k.(2007). Utilisation d'images satellitaires pour l'étude du risque d'inondation lié à l'occupation des terres au nord du viêt-nam, Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection (cartel), Université de Sherbrooke, 2500, boulevard de l'université, sherbrooke, québec, canada j1k 2r1.

Casas A. Benito G. Thorndycraft V R. Rico M. (2006). The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling. Earth Surface Processus and Landform 31, 444-456.

CEPRI (2015). Le Centre européen de prévention du risque inondation, Un guide pour gérer les inondations par ruissellement pluvial, Actu, Environnement.

Chagraoui M .(1996). La Dynamique rurale de Tadla (Maroc). (Directeur de Thèse : Rey Violette).

Chaouni M. (2005). La loi sur l'eau et le droit à l'eau, une interprétation de la réglementation de 'eau a l'usage des utilisateurs des gestions des ressources en eau, Imprimerie El Maarif Al Jadida, Rabat.

Chave S. (2002). Pertinence de la Cartographie hydrogéomorphologique dans l'approche des inondations rares à exceptionnelles : exemples de sept bassins fluviaux dans les Corbières et le Minervois. Géomorphologie : relief, processus, environnement, numéro, 297-306.

Combe M. (1977) . Chapitre "Haut Atlas calcaire" in Ressources en eaux du Maroc, T.3, Notes et Mémoires du Service Géologique n° 231, Rabat.

Cook A. Merwade V. (2009) Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. Journal of hydrology 377, 1-2, pp. 131-142.

Couvreur G. (1973). La vie rurale en moyenne montagne sur le versant nord du haut-Atlas central pp. 111-117. Maghreb et Sahara. Etudes géographiques offertes à Jean Despois. Société de géographie.

Couvreur G. (1974). Le rôle de la neige dans l'évolution des formes karstiques de haute montagne du Haut Atlas central (Maroc) - Mémoires et Documents, Nouvelle série, vol. 15, Phénomènes karstiques, tome II, 135 – 138.

Couvreur G. (1988). Essai sur l'évolution morphologique du Haut Atlas central calcaire (Maroc) - Notes et Mémoires du Service Géologique n° 318, Rabat.

Damienne P.(2001). Modélisation et simulation du risque d'inondation en milieu urbain méditerranéen ,Université de Nice**.**

Dauphiné A. (2003). Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer, Paris, Armand Colin, 288 p.

Deleau A.(2007). Modélisation pluie – débit sur le bassin versant du Lez pour la prévision des crues ,Maîtres de stage,Université Montpellier , Mention Biologie Géosciences Agro-ressources Environnement Master Géorisques.

Délégation de bassin Rhone-Mediterranée. (2014). L'atlas des zones inondables en Rhonz-Alpes,

Délégation Régionale des Eaux et de forêt. (2003). Etude préliminaire du marché d'aménagement du foret d'Ait Saïd ou Ali.

Détier J .(1972) . 60 ans d'urbanisme au Maroc. L'évolution des idées et des réalisations. B.E.S.M, n° 118-119, pp. 5-56.

Dimitriadis P. Tegos A. Oikonomou A. Pagana V. Koukouvinos A. Mamassis N. Koutsoyiannis D. Efstratiadis A. (2016). Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping. Journal of hydrology 534, pp. 478-492.

Donald Shepard (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data » Proceedings of the 1968 ACM National Conference: 517–524 p.

Doridot M. GARRY G. (1987). Application de la télédétection à l'évaluation du risque d'inondation Bull, liaison Labo P. et Ch. - 150/151 - j u i l . - a o û t / sept.-oct. 1987 - R é f . 3181.

Driouech F. (2010). Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique : descente d'échelle et incertitudes. Thèse de l'université de Toulouse, 163 p.

El Khalki Y. Taibi A-N . Benyoucef A. El hannani M. Hafid A. Mayoussi M. Zmou A Regala R. Geroyannis H.(2005) . Processus d'urbanisations et accroissement des risques à Béni-Méllal (Tadla Azilal,Maroc):apports des SIG et de la télédétection, Mossella(301-8)148-161.

EL Fellah B. Rahali H . (2002). Risques naturels :état actuel des connaissances, Revue de géographie du Maroc, Faculté des Lettres et des Sciences Humains de Mohammedia et l'Association Nationale des Géographes Marocains, volume 20, p : 108

El Ghachi M . Morchid F.Z .(2015). Analyse des tendances pluviométriques dans la ville de Khénifra dans un contexte de variabilité climatique, J. Mater. Environ. Sci. 6, pp : 3346-3358.

EL ghachi M .(2007). La Seille: un systéme fluvial anthropisé (Lorraine,France),thése en géographie, Université Paul Verlaine-Metz**.**

EL hadani D (1997). Télédétection et système d'information géographique pour la gestion et la recherche de l'eau Remole Sensing and Geographic lnformalion Systems for Design and Operation of Water Resources Systems (Proceedings of Rabat Symposium S3, April 1997). IAHS Publ. no. 242, 1997.

El Hamly M., 2004) North atlantic winter surface extratropical cyclone track variability on interannual-to-decadal times-scales. Thèse de l'université d'Oklahoma, 294 p.

El khalki Y .Benyoucef A.(2005). Crues et inondtations de l'oued Elhandak: génése, impat et propostions d'ammenagment(Atlase de Béni-Méllal ,Etude de Géographie physqiue 32,47-61.

El khalki Y,. Hafid A,(2002). Turbidité, indicateur de fonctionnement perturbé du géosystéme Karstique de Béni-Méllal, Karsologia, p40,39,44.

EL khalki y. (2001) : Hydrosystèmes karstiques des causses du SW du Moyen-Atlas : étude hydrologique et hydrochimique (Aïn Leuh, El Hammam, Ajdir, Sources d'Oum Er-Rbia), Thèse de Doctorat, Université Cadi Ayad, 221p.

EL khalki Y. Aude Nuscia Taïbi, Benyoucef A. Ragal R., H. Geroyannis, M. EL hannani, A. Hafid, M. Mayoussi, A. Zmou.(2007). La gestion des crues et inondationsdans la région Tadla-Azilal (Maroc) : cas de Béni-Méllal .

EL mimouni A . Daoudi l. Saidi M. E & Baiddah A. (2010). Comportement hydrologique et dynamique d'un bassin versant en milieu semi-aride: exemple du bassin versant du ksob(haut atlas occidental, Maroc). rev. c. & g., 24 (1-2), 107-120).

Fadile A . (1987). Structure et évolution alpine du haut-atlas central sur la transversale Aghbala-Imilchil (Maroc) , Thèse de doctorat en Géologie, Soutenue en 1987. à Toulouse 3 .

Finigue A. (2016). Les ressources en eau dans le "dir" de l'atlas de Béni-Méllal: problèmes de gestion et développement local. Géographie. Université d'Angers, 143 p.

Frecaut R. Pagney P. (1983). Dynamique des climats et l'écoulement fluvial, Edition Masson, Paris, 239 p.

Géradr B . Chémery L. (1995). Larousse références, dictionnaire du climat. Université de Paris VII-Densi-Diderot.

Ghavasieh A R. Poulard Ch. Paquier A. (2006). Effect of roughned strips on flood propagation: Assessment on representative virtual cases and validation. Journal of Hydrology, 318, pp. 121-137.

Gieseking J J.(2013). Where We Go from Here: the Spatial Mental Mapping Method and Its Analytic Components for Social Science Data Gathering. Qualitative Inquiry. 19(9): 712-724.

Gille E.(1985). Contribution à l'etude hydrologique des bassain de la meuse de la moselle: problematique de l'utilisation d'une modele couple discrétisation sapatiale, these de doctora,unversité Pierre et Marie CURIE et Mines de Paris.

GIRET A. (2007). Hydrologie fluviale, Edition Ellipses, Paris, 262 p.

GOUT J-P. (1993). Prévention et gestion des risques majeurs : les risques d'origine naturelle, Les éditions de l'environnement, Paris, 300 p.

Guide d'élaboration d'un plan de protection contre les inondations contre les inondations Paris.(2012).Direction régionale et interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement d'Ile-de-France.

Gycout G(2013). Climatologie de l'environnent :cour, exerces, corrigés. Dound Paris.

Harding A E. Palutikof J. Holt T.(2009). The climate system, in J.C. Woodward (ed), The physical geography of the Mediterranean. Oxford University Press, pp. 69-88

Harry H. Barnes J. (1987). Roughness characteristics of natural channels. USGS, 219 p Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, service Provincial des Eaux et Forêts de Béni-Méllal . (2008). Etude d'aménagement du Sibe de Tizi N'ait Ouirra ,plan de gestion, 183p

Herzenni A (1993). Gestion des ressources et conditions du développement local dans la haute montagne de la province d'Azilal. In montagnes et hauts-pays de l'afrique.Utilisation et conservation des ressources. Acte de la 2ème conférence à Rabat, pp. 333-345, cartes. Faculté des Lettres et des Sc. H.Rabat.

Horritt M S. Bates PD. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. Journal of hydrology 268, pp. 87-99.

Hostache R.(2006). Analysed'images satellitaires d'inondationspour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique , ENGREF Montpellier

Humbert J. (1990). Intérêt de la densité de drainage pour régionaliser les données hydrologiques en zone montagneuse. IAHS publication n°193, pp. 373-380.

Jaccon G. (1986). Manuel d'hydrométrie, Tome V – Tracé de la courbe de tarage et calcul des débits. Edition de l'ORSTOM, 406 p.

Jenny J. (1984).Dynamique de la phase tectonique synsédimentaire du Jurassique moyen dans le Haut Atlas central (Maroc), Eclogae Geologicae Helvetiae,Persistenter Link: http://doi.org/10.5169/seals-165502.

Kamal M . Idar M. DEFCS (1986) : Aménagement et développement des zones de montagnes du Haut Atlas Central. Carte de l'occupation des sols de la région de la province d'Azilal, FAO/MOR//004.

Karrouchi M . Ouazzani Touhami M. Oujidi M . Chourak M. (2016). Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région Tanger-Tétouan: Cas du bassin versant de Martil (Nord du Maroc), International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 14 No. 4 Feb. 2016, pp. 1019-1035.

Kienholz H. Krummenacher B. (1995) Légende modulable pour la cartographie des phénomènes, communication de l'Office fédéral des eauxet de la géologie n° 6.

King J.W (1961). Day-to-day and station-to-station correlation of ionospheric F-region critical frequencies, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, Volume 21, Issue 1, April 1961, Pages 35-39.

Laborde J P. (2009). Eléments d'hydrologie de surface, école polytechnique de l'université de Nice - sophia antipolis,192p

Laborde J.P. (2009). Eléments d'hydrologie de surface, Ecole Polytechnique de L'Université de Nice - SOPHIA ANTIPOLIS, Département Hydro -informatique et Ingénierie de l'Eau n° P192.

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 doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Fès - Saïs, 268 p.

Lebaut S .(2000). L'apport de l'analyse et de la modélisation hydrologiques de bassins versants dans la connaissance du fonctionnement d'un aquifere:les gers d'ardenne-Luxembourge,these de doctorat de l'Université de Metz, discipline géographie.

Lerat J.(2009). Quels apports hydrologiques pour les modèles hydrauliques ? Vers un modèle intégré de simulation des crues, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie.

Martin J .(1981). Le moyen Atlas Centra, étude géomorphologique. Edition du service géologique du Maroc.

Menad W. (2012). Risques de crue et de ruissellement superficiel en métropole mediterraneenne: cas de la partie ouest du grand Alger. Géographie. Université paris-Diderot - Paris vii, français. pp, 331

Merz B. Aerts J. Arnbjerg-Nielsen K. Baldi M. Becker A. Bichet A. Blöschl G. Bouwer L.M., Brauer A. Cioffi F. Delgado J.M. Gocht M. Guzzetti F. Harrigan S. Hirschboeck K. Kilsby C. Kron W., Kwon H.-H. Lall U. Merz R. Nissen K. Salvatti P. Swierczynski T. Ulbrich U. Viglione A. Ward P.J. Weiler M., Wilhelm B. Nied M. (2014). Floods and climate: emerging perspectives for flood risk assessment and management. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol.14, pp. 1921–1942.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. (1998). La charte de l'hydrométrie – Code de bonnes conduites. 49 p.

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Service des risques naturels et hydrauliques Bureau des risques météorologique. (2012). Relative à la mise en œuvre de la phase « cartographie » de la directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation.

Ministère de l'égalité des Territoires et du Logement Ministère de l'écologie, du Développement durable et de l'énergie. (2010). Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant.

Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Département de l'Eau.(2005)/www.water.gov.ma).

Moik J G. (1980). Digital processing of remotely sensed images. NASA, 431 p.

Mokadem A. Saaf M. Dautrebande S. Lejeune J.L. (1992) : Télédétection et Occupation du sol. Application au périmètre aménagé du Tadla au Maroc. Géo Observateur, Bulletin de liaison de la Télédétection n° 2, Septembre 1992 pp. 53-61, Rabat.

Mokhtari N. Mrabet R. Lebailly P. Bock L. (2014). Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de vegetation du Maroc. Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaire, vol. 2, pp 50-66.

Monbaron M. (1978). Nouveaux ossements de Dinosauriens de grande taille dans le bassin jurassico-crétacé de Taguelft (Atlas de Béni-Méllal , Maroc). - C.R. Acad. Sci. Paris , 287, D, 1277 - 1279.

Monbaron M. (1979) .Nouvelles recherches sur les gisements de Dinosauriens du synclinal de Taguelft (Atlas de Béni-Méllal); discussion sur leur position stratigraphique.- Mines, Géologie et Energie, Rabat , 46, 57 - 61.

Monbaron M. (1980). Le magmatisme de la région de Taguelft, dans son contexte géologique régional (Haut Atlas central, Maroc). - C.R. Acad. Sci. Paris , 290, D, 1337 - 1340.

Monbaron M. (1981 b). Données nouvelles sur l'évolution paléogéographique et structurale du domaine atlasique (secteur de Béni-Méllal) durant le Mésozoïque et le Tertiaire.- Mines, Géologie et Energie , P 50

Monbaron M. (1981).Sédimentation, tectonique synsédimentaire et magmatisme basique : l'évolution paléogéographique et structurale de l'Atlas de Béni-Méllal (Maroc) au cours du Mésozoique; ses incidences sur la tectonique tertiaire. - Eclogae geol. Helv. , 74/3, 625 – 638

Monbaron M. (1982) . Précisions sur la chronologie de la tectogenèse atlasique : exemple du domaine atlasique mésogéen du Maroc. C. R. Acad. Sci. Paris, 294 p

Monbaron M. Taquet Ph. (1981). Découverte du squelette complet d'un grand Cétiosaure dans le bassin jurassique moyen de Tilougguit (Haut Atlas central, Maroc).- C.R. Acad. Sci. Paris , 292, II, 243 – 246.

Nejjari A. (2002). La sécheresse, l'eau et l'homme dans le bassin versant du Haut Sebou (Moyen Atlas Septentrional-Maroc). Thèse de Doctorat de l'Université de Metz, 304 p

Noin D. (1965). Répartition de la population et mouvements migratoires dans la plaine de Tadla, pp. 53-69, in Revue de Géographie du Maroc, n° 7, Rabat.

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. Amyay M. Akdim B. (2008) .Régimes hydrologiques extrêmes des oueds rifains méditerranéens. Actes du colloque : Erosion anthropique, Kenitr.

Oulgha/zi.A (2017). L'influence des risques d'inondations sur l'Atlas de Béni-Méllal: facteurs et la problématique d'aménagement du territoire : du Ould Mbark – Foul Aoudi a Foul El Aansar, Thèse de doctorat, Université Sultan Moulay Slimane Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Béni-Méllal , 333P

Ouloum A.(1994). Aspects pluviométriques et bilan climatique dans le haut Atlas central et son avant pays, la plaine du Tadla, Maroc, Thèse de doctorat en Géographie,Paris 1,330p.

Pappenberger F. Beven K. Horritt M. Blazkova S. (2005). Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. Journal of hydrology 302, pp. 46-69.

Paulet J.P.(2002). Les représentations mentales en géographie, Paris, Anthropos, coll. Géographie, p. 8

Perritaz L. Monbaron M. (1997): Geomorphological Approach to the Aït Abdi Karst Plateau (Central High Atlas, Morocco).- International Atlas of Karst Phenomena, UIS, Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Band . page 109.

Pierre M (2005) Ces risques que l'on dit naturels. Edition EYROLLES ,Paris cedex05.

Pierre N .(2003). Modélisation hydrologique du bassin versant de la Heyse et mise en place d'un partenariat, rapport de stage, DESS géo-ingénierie de l'environnement.

Plan de Prévention des risques naturels, MRN. (2010). Étude d'nalyse de l'exposition des enjeux assurés au phénomène de submersion marineet de la pertinence de la couverture des PPRNI sur ces zones.

Poretti.(2011). Integrated startegy for disastre risk management -Morroco,SDC Berne, retrieved17,05,2013,http://sdc-drr,net,46p.

Projet: FAO/ACCPMV/Tadla-Azilal (2011) Projet pilote d'appui aux petits producteurs pour une meilleure adaptation aux changements climatiques dans la région du Tadla Azilal,l'Agence de Développement Agricole et la Direction Régionale de l'Agriculture de Béni-Méllal .

Provitolo. D (2007): Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain: une nouvelle démarche géographique, Armand Colin/Annales de géographie, 2007/1 n° 653, p : 25

Qadem A. (2015). Quantification, modelisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du haut sebou (maroc), these de doctorat de l'université Sidi Mohamed ben abdelah et l'université de lorraine, géographie, 360 p.

Rachel M . Wuillemin E S.(2008). Effet des pratiques et des connaissances sur la représentation sociale d'un objet : application à l'hygiène hospitalière, Revue internationale de psychologie sociale.Tome21,Page 89 a 114.

Raetzo H. (1992). Karstmorphologie und ihre Klimaabhängigkeit, A: Sèche des Amburnex, Jura (Schweiz); B: Plateau des Aït Abdi, Hoher Atlas (Marokko), Travail de diplôme, Institut de Géographie, Université de Fribourg, inédit.

Renaud C .(2012). Modélisation, Spatialisation de l'étendue d'une crue, Applications au bassin de la Lèze ,Rapport de Stage Master 1 Eaux Sols Environnement.

Renayrd E. Lasri M. Werren G. Obda K. Amayay M. Balin D. Lane S N.(2012). Etude des dangers d'inondation dans les bassins de Fés et Béni-Méllal .Analyse hydrologique, carte indicative des danger, Etude de la vulénrabilté et recommandatations, Rapport rédigé dans le cadre du projet"Géstion du risque d'inondtations dans les deux bassin versant marocains : Fés et Béni-Méllal"Fianacé par la dérictions du dévoloppement et de la cooperation Suiss,Lausanne,Fés Novembre 2012,

Renayrd E. Werren G. Lasri M. Obda k. El khalki Y.(2013).Cartes des phénomènes d'inondations dans deux bassins versant marocains: problèmes méthodologiques, Mémoires de la sociétés vaudoise de sciences naturelles, Pp 25

Reynard E. Lasri M. Werren G. Obda K . Amyay m. Taous A,(2001). Carte des phénomènes d'inondation des bassins de Fés et Béni-Méllal. Rapport rédigé dans le cadre du projet «Gestion du risque d'inondation dans deux bassins versants marocaines :Fés et Béni-Méllal », finance par la Direction du Développement et de la Coopération Suisse.Lausanne,Fés,mars 2011.

RIAD S .(2003). Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles a partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc » , thèse de doctorat, université des sciences et technologies de Lille , France, pp 154.

Robles P. (1965) . Implantation humaines dans le "dir" de Beni-Mellal, R.G.M n°8**.**

Roche M. (1963). Hydrologie de surface. Gauthier-Villars ORSTOM, Paris, 429 p

Rolley J.P.(1973). Etude géologique de l'Atlas d'Afourer, Haut Atlas central, Maroc », Thesis (doctoral)--Université Scientifique et Medicale de Grenoble.

Rolley, J. P (1973). Etude géologique de l'Atlas d'Afourer (Haut Atlas Central, Maroc

Royaume du Maroc, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eaux et de l'environnement, Département de l'Environnement. (2005). Rapport national sur la prévention des désastres, Conférence de Kobe-Hyōgo, 98p. (http://www.unisdr.org/2005/mdgs-drr/national-reports/Morocco-report.pdf).

Russel D. Monbaron M. De Kaenel E. (1990). Nouvelles données sur le gisement à Mammifères mésozoïques du Haut Atlas marocain. - Geobios Lyon , 23, 461-483.

Saidi et al. (2003).Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard, exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc),p 69-81.

Saleh F. Ducharne A. Flipo N. Oudin L. Ledoux E. (2012). Impact of river bed morphology on discharge and water levels simulated by a 1D Saint-Venant hydraulic model at regional scale. Journal of hydrology 476, pp. 169-177.

Sauvage C. (1963). Etages Bioclimatiques. Atlas du Maroc. Secte II, Pl.6b. Comité National de Géographie du Maroc, p80.

Secrétaire générales des (O.C.D.E)'L'Organisation de Coopération et de Développement Economiques .(2014) .Étude de l'OCDE sur la gestion des risques d'inondation : la Seine en Île-de-France, OCEDiLibrary.

Serbout R.(2001). Le bassin versant de l'oued Oum Er Rebia en amont de déchira el oued (Moyen Atlas):Contribution à l'étude des phénomènes Hydro-climatiques, thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis.

Sirtou M .(1995). Etude hydrologique des bassains du n'fis, du RHERAYA, de L'OURIKA et de ZAT(Maroc), thèse de doctorat de l'Université de Metz.

Soudi B. Naaman F. Chiang C. (2000). Problématique de gestion de la matière organique des sols : cas des périmètres irrigués du Tadla et des Doukkala. Séminaire « Intensification agricole et qualité des sols et des eaux », pp. 25-30 Rabat, 2-3 Novembre 2000, I.A.V Hassan II.

Souléye W. RUDANT J-P. NDOYE B. (2007). Télédétection, SIG et géo risques : applications à l'étude des inondations urbaines de Saint-Louis et du ravinement lié à l'érosion hydrique à Nioro-du-Rip (Sénégal),Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007.

Staron M G.(2006). Modélisation hydraulique et cartographie de zones inondées sur la Somme, Université Pierre et Marie Curie,Master 2 Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie Parcours Hydrologie-Hydrogéologie , École des Mines de Paris & École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts .

Sylvain B. Monique D. GILLE E . Richard L. Pierre-G S .(2006). Les eaux courantes Géographie et environnement. La geographie Aux Editions Belin

(Taïbi A.N., El Khalki Y., El hannani M. (eds) (2015). Atlas régional Région du Tadla Azilal (Maroc), Université d'Angers, 99 p. http://okina.univ-angers.fr/publications/ua9275.)

Tangara M. (2005). Nouvelle méthode de prévision de crue utilisant un modèle pluie-débit global, thése de doctorat, l'Unité de Recherche Hydrosystèmes et Bioprocédés Cemagref, Antony.

Tanguy J M.(2009). Processus hydrologiques et fuviaux :de la goutte de pluir jusqu'à à la mer(volume1).LA VOISIER Paris.

Taous A. (2005) : Géomorphodynamique fluviale : processus morphosédimentaires, ajustements spatio-temporels, paléoenvironnements et mutations récentes des,espaces fluviaux, Publication de la FLSH Saïs-Fès, 425 p

Thoumi L.(2008). The relevance of actors risk knowledge and its integrarion into flood risk management,, Institue of geography,Unversity of Lausanne, Batiment Anthropole,.Interppraevent 2008, Conference proceedings vol,2

Type de catastrophes survenues dans le monde de 1990 à 2007, Crédit : EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium, 06/2007

UNESCO, Paris.(2002). Hydrology of wadi systems,Edited by Howard Wheater and Radwan A. Al-Weshah,Technical Documents in Hydrology No. 55 n°P162.

Vasquez J. (2009). Notes de cours – Hydrauliques à surface libre. ENGEES, 104 p.
Vicent D. Marchand J-P. Claire L.(1997). Le climat,l'eau,et les hommes, ovrage en l'honneur de Jean Mounier. Presses universitaire de Rennes

Vicher D L.(2003). Histoire de la protection contre les cures en Suisse,Rapports de l'OFEG, Série Eaux 5, Office Fédéral des Eaux et de la Géologie OFEG,Bienne

Vinet F.(2010). Les risque inondation: diagnostiques et gestion,sicences du risque et du danger,unversité Paul-Vléry-Montpellier III.LAVOISIER.

Wade. S. Faye S .Dieng M . Kaba M . Kane N. (2009**).** Télédétection des catastrophes d'inondation urbaine: le cas de la région de Dakar(Sénégal), journées d'Animation Scientifique (JAS09)de l'AUF Alger November 2009.

Werren G. (2013). Maps as risk mitigation tools. Adaptation of the Swiss hazard assessment and mapping methodology to a Moroccan site: Béni-Méllal . Thèse de doctorat, l'université de Lausanne, 226 p

Wolff C G. Burges S J. (1994). An analysis of the influence of river channel properties of flood frequency. Journal of Hydrology, 153, pp. 317-337

Sites web :

www.maghress.com/attajdid/44968),

Targa-Aide et Zurich Assurances Maroc 2014/ https://www.zurich.com).

http://glovis.usgs.gov.edu/ et « http://glcf.umiacs.umd.edu/ ».

http://earthexplorer.usgs.gov/

https://www.codeurbanisme.gov.ma

http://www.water.gov.ma/

http://www.notre-planete.info/

http://www.pncl.gov.ma/Pages/default.aspx

http://www.ird.fr/

http://www.ailmaroc.net

http://www.codeurbanisme.gov.ma

http://www.maghress.com/alittihad/86725

http://www.risques-meteo.ac-versailles.fr/Amenagement-et-utilisation-de-l

http://www1.wetter3.de/Archiv/

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1. 1 : Types de catastrophes naturelles les plus répandue dans le monde. 6
Figure 1. 2 : Organigramme de la problématique des inondations dans le «"dir" » de l'Atlas de Béni-Méllal : 16
Figure 1. 3 : Organigramme des étapes et la méthodologie adoptée. 21
Figure 1. 4 : Cycle de gestion du risque. 27

Chapitre 2

Figure 2. 1 : Réparation des tranches d'altitudes dans les bassins étudier. 38
Figure 2. 2 : Réparation des classes des pentes dans les bassins étudier. 39
Figure 2. 3 : Répartition de l'expositions des versants dans les bassins versants. 40
Figure 2. 4 : Réparation de la lithologie dans la zone d'étude. 44
Figure 2. 5 : la perméabilité des roches dans les bassins d'étude. 45
Figure 2. 6 : : Méthodologie et organigramme des étapes et des opérations suivies dans l'étude diachronique. 52
Figure 2. 7 : Méthodologie et organigramme des étapes et des opérations suivies dans l'étude diachronique. 52
Figure 2. 8 : Processus de l'impact de la dégradation du couvert végétal sur le milieu physique. 60

Chapitre 3

Figure 3. 1 : Régionalisation des précipitations d'octobre/avril de 1932-95 (El Hamly, 2004). 64
Figure 3. 2 : Précipitations annuelles et étages bioclimatiques du Maroc (Mokhtari et al., 2014)..... 64
Figure 3. 3 : Chronogramme des stations pluviométriques et climatologiques utilisées. 66
Figure 3. 4 : Double cumul de Tadla et Moulay Bouzekri. 67
Figure 3. 5 : Précipitations annuelles à la station de Taghzirt entre 1967/68 et 2014/15. 70
Figure 3. 6 : CUSUM de la série des précipitations observée à la station de Taghzirt. 71
Figure 3. 7 : résultat du découpage de la série étudiée par CUSUM. 71
Figure 3. 8 : Montant des précipitations moyennes et maximales par mois observés à la station de Taghzirt (1967/68-2014/15). 72
Figure 3. 9 : Nombre de jours de pluie moyen par mois observés à la station de Taghzirt (1967/68-2014/15). 72
Figure 3. 10 : Nombre de jours de pluies à la station de Taghzirt (1967-2014). 73
Figure 3. 11 : Précipitations maximales sur 24h enregistrées à la station de Taghzirt (1967-20015)..... 74
Figure 3. 12 : Densité de probabilité « a posteriori » de la position d'un changement dans la série des précipitation maximales sur 24h enregistrées à la station de Taghzirt sur la période 1967/68- 2014/15 d'après la méthode de LEE et HEGHINIAN (Lee et al,1977). 74
Figure 3. 13 : Ajustement des valeurs de précipitations à la loi ln-normale pour trois périodes. 75
Figure 3. 14 : Moyenne glissante du nombre de jours de pluies et du montant des précipitations maximales/24h à la station de Taghzirt. 75

Figure 3. 15 : Précipitations/12h enregistrées par le pluviomètre. 77
Figure 3. 16 : Précipitations/24h enregistrées par le pluviomètre. 77
Figure 3. 17 : Nombre de jours de pluies. 78
Figure 3. 18 : exmple d'un type de temps produisant des précipitations dans la zone d'étude. 78
Figure 3. 19 : Spatialisation de la pluviométrie moyenne annuelle sur le "dir" de Béni Mella pour les période 1967-68 /1978-79, 1979-80/2006-07 et 2007-08/2014-15 par la méthode IDW. 81
Figure 3. 20 : Précipitations moyennes annuelles calculées d'après la méthode Inverse Distance (IDW) (67-68/78-79), (79-80/2006-2007) et (07-08/14-15) 82

Chapitre 4

Figure 4. 1 : Débits moyens journaliers (m3/s) et hyétogramme (mm) de la station de Taghzirt au pas de temps journalier sur la période 1970-2011. 88
Figure 4. 2 : Modules annuels et interannuel à la station de Taghzirt (1970-2011). 89
Figure 4. 3 : Régime mensuel des débits à la station de Taghzirt. 90
Figure 4. 4 : : Débits maxima instantanés annuels à la station de Taghzirt (1970-2011). 90
Figure 4. 5 : Ajustement des débits maxima instantanés à la station de Taghzirt. 91
Figure 4. 6 : Analyse d'une hydrogramme de crue. 92
Figure 4. 7 : Effectifs annuels des crues à la station de Taghzirt (1970-2011). 93
Figure 4. 8 : Effectifs des crues à saisonnière à la station de Taghzirt. 94
Figure 4. 9 Effectifs des crues à l'échelle l'échelle mensuelle à la station de Taghzirt. 94
Figure 4. 10 : Temps de base, de montée et de descente des crues à la station de Taghzirt. ... 94
Figure 4. 11 : Hydrogramme des débits à pas de temps variable (m3/s) à la station de Taghzirt, 2000-2011. 95
Figure 4. 12 : Corrélation entre les précipitations journalières des stations de Tizy et de Taghzirt de 2000 à 2011. 96
Figure 4. 13 : Durées caractéristiques des crues simples de l'oued Derna. 96
Figure 4. 14 : Hydrogramme (m3/s) pour 2 montées de crue rapide. 97
Figure 4. 15 : Hydrogramme de la plus forte crue enregistrée sur l'oued Derna – 2000/2011. 97
Figure 4. 16 : Hydrogramme de la 2ème plus forte crue enregistrée sur l'oued Derna – 2000/2011 98
Figure 4. 17 : Hydrogramme, hyétogramme et CERC du bassin de l'oued Derna du mois de septembre 2009. 98

Chapitre 5

Figure 5. 1 : la démarche de production d'hydrogrammes. 102
Figure 5. 2 : Synoptique de la modélisation hydraulique. 103
Figure 5. 3 : Le tronçon d'Aït Hammou en 3D 104
Figure 5. 4 : Les valeurs de Strickler pour les hauteurs mesurées à l'échelle amont de la station de Aït Hammou. 107
Figure 5. 5 : Synthèse des résultats de la modélisation Hec-Ras pour la situation mesurée du 28/12/2014. 107
Figure 5. 6 : Profils longitudinaux du niveau d'eau pour diverses cotes à l'échelle aval dans la

section de l'oued Echkounda. 109
Figure 5. 7 : Courbe de tarage et profil en travers à l'échelle aval dans la section de l'oued Echkounda. 109
Figure 5. 8 : Les simulations pour l'oued Ikkour. 110
Figure 5. 9 : Limnigramme à l'échelle aval de l'oued Echkonda à Aït Hammou Abdessalem(Sid Chami). 111
Figure 5. 10 : Hydrogramme des débits moyens journaliers de l'oued Chkonda à Aït Hammou. 112

Chapitre 6
Figure 6. 1 : Débits moyens journaliers à la station de Hançala (2014-2017). 115
Figure 6. 2 : Débits moyens journalier à la station de Aït Hammou (2014-2017). 115
Figure 6. 3 : Débits moyens journaliers à la station de Zaouit Echiekh (2014-2017). 115
Figure 6. 4 : Régime mensuel des débits pour les années hydrologiques 2014/15 et 2015/16 sur les 3 bassins test. 116
Figure 6. 5 : Hydrogramme à pas de temps variable à la station Aqq N'Hancale. 117
Figure 6. 6 : Hydrogramme à pas de temps variable à la station d'Aït Hammou. 117
Figure 6. 7 : Hydrogramme à pas de temps variable à la station de Zaouit Echiekh. 117
Figure 6. 8 : Effectifs des crues des bassins test pour la période 2014-2017. 118
Figure 6. 9 : Temps de base des crues. 118
Figure 6. 10 : Temps de montées des crues. 119
Figure 6. 11 : Temps de descente des crues. 119
Figure 6. 12 : La pointe de crue la plus élevée pour les trois bassins test. 120
Figure 6. 13 : Coefficients d'écoulement rapide de crue pour le bassin test l'oued Ikkour. .. 120

Chapitre7
Figure 7. 1 : Les étapes de la modélisation des inondations urbaines. 124
Figure 7. 2 : Orthorectification et rapport de la triangulation : site de Sidi Chami. 126
Figure 7. 3 : Image avec tous les profils en travers et couches nécessaires à la modélisation. 127
Figure 7. 4 : MNS et profil en travers : exemple du site de Sidi Chami. 127
Figure 7. 5 : Site de Sidi Chami : profil en long des variables caractéristiques principales issues du modèle. 128
Figure 7. 6 : Section en travers dans le secteur vulnérable de Sidi Chami. 129
Figure 7. 7 : Site de Zaouit Echiekh : profil en long des variables caractéristiques principales issues du modèle. 131
Figure 7. 8 : Section en travers dans le secteur vulnérable de Zaouit Echiekh. 131
Chapitre8
Figure 8. 1 : Population locale et question de la prévention contre les inondations. 140
Figure 8. 2 : Les acteurs locoux qui signalent l'éventualité des inondations. 140
Figure 8. 3 : Les moyens de contact utilisés lors des inondations. 141
Figure 8. 4 : les institutions contactées. 141
Figure 8. 5 : Les autorités et les institutions qui arrivent sur les lieux des inondations. 142
Figure 8. 6 : Combien de temps prennent les autorités concernées pour arriver aux zones inondées? 143

Figure 8. 7 : Types d'intervention en cas d'inondation. 143
Figure 8. 8 : Pensez-vous que les interventions des gestionnaires des risques inondations empêchent les pertes matérielles et humaines ? 144
Figure 8. 9 : Les associations de la société civile interviennent-elles lors des inondations.. 145
Figure 8. 10 : La manière dont les associations de la société civile réagissent à la problématique des inondations. 145
Figure 8. 11 : La manière dont le secteur privé réagit face à la problématique des inondations selon la population locale. 146
Figure 8. 12 : En cas du risque inondation, vous êtes prêts à aider les sinistrés ? 147
Figure 8. 13 : Est-ce que tu es intervenu pour aider lors des inondations ? 148
Figure 8.14 : Avez-vous déjà assisté à une inondation ? 148
Figure 8. 15 : Quels sont les types de vos interventions lors des inondations. 148
Figure 8. 16 : Les dégâts matériels. 151
Figure 8. 17 : Impacts psychosociologiques des inondations. 158
Figure 8. 18 : Dédommagent de la population. 159
Figure 8. 19 : Type de dédommagement des dégâts matériels. 159
Figure 8. 20 : Types de dédommagement sur les dègât humains. 160
Figure 8. 21 : Besoins et aspirations de la population locale. 161

Chapitre 9

Figure 9. 1 : La responsabilité de secteur privé (bureau d'études dans l'aménagement de la problématique des inondations. 178
Figure 9. 2 : Processus d'interventions de la protection civile et les autres établissements lors des inondations. 181
Figure 9. 3 : Pensez-vous que les interventions empêchent les pertes matérielles et humaines. 183
Figure 9. 4 : Que pensez-vous de la façon dont la province gère la problématique des inondations. 184
Figure 9. 5 : Que pensez-vous de la façon dont la commune gère la problématique des inondations? 187
Figure 9. 6 : La manière dont les associations de la société civile réagissent à la problématique des inondations. 189

Chapitre 10

Figure 10. 1 : l'origine géographique de la population de "dir" de Béni-Méllal. 192
Figure 10. 2 : l'accroissement de la population de "dir" de Béni-Méllal entre 1982 et 2014. 193
Figure 10. 3 : Extension urbaine et aggravation des risques d'inondations dans le "dir" de Béni-Méllal. 200
Figure 10. 4 : les facteurs qui ont poussé la population à s'installer dans les zones à risques dans le "dir" de Béni-Méllal 201
Figure 10. 5 : Les motivations qui ont poussé la population des agglomérations de "dir" de Béni-Méllal à s'installer dans les zones à risques 202
Figure 10. 6 : Périodes de l'installation de la population dans les zones à risque dans le "dir" de Béni-Méllal 202

Figure 10. 7 : Disponibilité des permis de construire chez la population de les zones à risque 203
Figure 10. 8 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans la commune celui de Taghzirt :..... 204
Figure 10. 9 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans la commune de Tanougha 204
Figure 10. 10 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans le douar de Ait Hammou Abdessalem. 205
Figure 10. 11 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans la ville de El-Ksiba..... 205
Figure 10. 12 : L'origine géographique de la population des zones menacées dans la ville de Zaouit Echiekh. 206
Figure 10. 13 : Durée de l'installation de la population dans les zones à risques. 207
Figure 10. 14 : Le niveau d'éducation de la population des zones menacées. 207
Figure 10. 15 : Le niveau d'éducation de la population des zones menacées. 208
Figure 10. 16 : statut professionnel de la population des zones à risques dans le "dir" de Béni-Méllal 209
Figure 10. 17 : type de logement dans les zones inondables..... 210
Figure 10. 18 : Type de propriété des maisons dans les zones à risques. 210
Figure 10. 19 : Nombre d'étages des logements dans les zones menacees..... 211
Figure 10. 20 : Nombre des membres de familles dans les zones à risques..... 211
Figure 10. 21 : La disponibilité du réseau d'assainissements chez la population des zones à risques..... 212

Chapitre11

Figure 11. 1 : la porcessue de la perceptions et la carte mental (Paulet J.P, 2002)..... 224
Figure 11. 2 : les élément naturels peçus par la population de "dir" de Béni-Méllal 229
Figure 11. 3 : les éléments naturels présents dans les perceptions de la population de "dir" Béni-Méllal par centre..... 229
Figure 11. 4 : les éléments de l'espace urbain présents dans les cartes mentales de la population de "dir" de Béni-Méllal 231
Figure 11. 5 : les éléments de l'espace urbain présents dans les carte mentales de la population des agglomeration de "dir" de Béni-Méllal 232
Figure 11. 6 : Sentiments et éléments négatifes présents dans les perceptions de la population des agglomerations du "dir" de Béni-Méllal 235
Figure 11. 7 : Années marquées par les inondations selon la population du "dir" Béni-Méllal 237
Figure 11. 8 : Nombre d'inondations enregistré dans la station de Taghzirt 238
Figure 11. 9 : les comportements de la population du "dir" de Béni-Méllal au mement des inondations. 239
Figure 11. 10 : les causes des inondations d'après la population du "dir" de Béni-Méllal . .. 240
Figure 11. 11 : Le concept d'inondation chez la population de "dir" Béni-Méllal. 241

Liste des cartes

Chapitre 1
carte 1. 1 : Carte de situation de la zone de l'étude. 14

Chapitre 2
Carte 2. 1 : les bassins versants teste dans le domaine de l 'étude. 31
Carte 2. 2 : Le contexte topographique du domaine de l'étude. 33
Carte 2. 3: Les tranches d'altitudes dans les bassins étudier. 38
Carte 2. 4 : Les classes des pentes dans le domaine d'étude. 39
Carte 2. 5 : l'expositions des versants dans les bassins de "dir" de Béni-Méllal. 40
Carte 2. 6 : Litho-stratigraphie de la zone d'étude d'après source ? 42
Carte 2. 7 : la perméabilité des roches dans les bassins de l'étude. 46
Carte 2. 8 : Situation géographique du domaine de l'étude dans le bassin de de l'Oum Er Rbia. 46
Carte 2. 9 : Ordre des cours d'eau du bassins versants de "dir" de Béni-Méllal. 47
Carte 2. 10 Le domaine de l'étude dans le contexte de couverture végétal. 49
Carte 2. 11 : carte du couvert végétal du piémont de l'Atlas de Béni-Méllal en 1987. 52
Carte 2. 12 : carte du couvert végétal du piémont de l'Atlas de Béni-Méllal en 1987. 54
Carte 2. 13 : carte du couvert végétal du piémont de l'Atlas de Béni-Méllal en 2014. 55

Chapitre 3
Carte 3. 1 : Répartition spatiale des stations et postes pluviométriques étudiés. 66

Chapitre 4
Carte 4. 1 : Localisation du bassin versant de l'oued Derna. 88

Chapitre 7
Carte 7. 1 : Site de Sidi Chami : les hauteurs de submersion. 129
Carte 7. 2 : Site de Sidi Chami : les vitesses de l'écoulement. 130
Carte 7. 3 : Site de Zaouit Echiekh : les hauteurs de submersion. 132
Carte 7. 4 : Site de Zaouit Echiekh : les vitesses de l'écoulement. 132

Chapitre 9
Carte 9. 1 : Aménagement proposé pour lutter contre les inondations dans la ville de El-Ksiba. 175

Chapitre 10
Carte 10. 1 : dynamique du tissu urbain au centre de Taghzirt entre 1970 et 2016. 194
Carte 10. 2 : Dynamique du tissu urbain au centre de Tnougha de 1970 à 2016. 195
Carte 10. 3 : Dynamique du tissu urbain du Daouar d'Ait Hammou Abdessalem entre 1970 et 2016. 196
Carte 10. 4 : Dynamique du tissu urbain de la ville de Zaouit Echiekh entre 1970 et 2016. . 197
Carte 10. 5 : Dynamique du tissu urbain à la ville d'El-Ksiba entre 1970 et 2016. 198
Carte 10. 6 : vulnérabilité du centre de Taghzirt. 216
Carte 10. 7 : vulnérabilité du centre de Tagnogha. 217
Carte 10. 8 : vulnérabilité de la villes de El-Ksiba. 218

Liste des cartes mentales

Chapitre 2

Carte mentale 11. 1 : Les cartes mentales montrant les differents éléments naturels présents dans les perceptions de la population du "dir" de Béni-Méllal. 230
Carte mentale 11. 2 : Exemple de cartes mentales illustrant les éléments de l'espace urbain présents dans les preceptions de la population. 233
Carte mentale 11. 3 : Exemple des cartes mentales montrant les differentes actions de l'Homme présentes dans les perceptions de la population du "dir" de Béni-Méllal 236

Liste des Tableaux

Chapitre 2

Tableau 2. 1 : La valeur de Kc et le type de réponse hydrologique (Source : Roche, 1963). .. 34
Tableau 2. 2 : Caractéristiques géométriques des bassins étudiés. 36
Tableau 2. 3 : la perméabilité des roches dans les bassins d'étude. 45
Tableau 2. 4 Caractéristiques du réseau hydrographique des bassin versant du "dir" de Béni-Méllal. 48
Tableau 2. 5 : Caractéristiques techniques des données satellitaires utilisées : 50
Tableau 2. 6 : L'évolution du couvert végétal du piémont de l'Atlas de Béni-Méllal entre 1987 et 2014 :..... 57

Chapitre 3

Tableau 3. 1 : Localisation des stations. 65
Tableau 3. 2 : Les indices de qualité et d'homogénéité des stations étudiées. 68
Tableau 3. 3 : Coefficients de corrélation entre les séries de données et le vecteur régional. . 68
Tableau 3. 4 : Exemple de la méthode de comblement adoptée. 69
Tableau 3. 5 : Résultat du découpage des données de pluies annuelles de la station de Tagzirt par la méthode de segmentation de Hubert. 71
Tableau 3. 6 : Durée de retour des valeurs de précipitations sur 24h à la station de Taghzirt pour trois périodes. 75
Tableau 3. 7 : Types de temps et ces fréquences dans la zone d'étude. 79

Chapitre 4

Tableau 4. 1 : Caractéristique de la station de Taghzirt. 87
Tableau 4. 2 : Séries sèches et humides à la station hydrométrique de Taghzirt. 89
Tableau 4. 3 : Fréquence et durée de retour des débits maxima instantanés à la station de Taghzirt. 92
Tableau 4. 4 : Types de crues à la station de Taghzirt (1970-2011). 93
Tableau 4. 5 : Caractéristiques relatives aux crues de l'oued Derna de 2000 à 2011. 96
Tableau 4. 6 : Coefficients d'écoulement rapide de crue de l'oued Derna pour l'hiver étendu. 99

Chpitres 5

Tableau 5. 1 : hauteur d'eau a l'échelle aval. 104
Tableau 5. 2 : Mesures de débits disponibles pour les 3 tronçons. 105
Tableau 5. 3 : Valeurs de Manning et de Strikler pour les 3 sites de mesure (n = 1/Ks). 108
Tableau 5. 4 : Résultats de la simulation pour diverses cotes à l'échelle aval dans la section de l'oued Aït Hammou. 108
Tableau 5. 5 : Caractéristiques hydrauliques pour la cote la plus élevée enregistrée sur les 3 stations hydrométriques (2014-2016) 108
Tableau 5. 6 : Synthèse des écoulements aux 3 stations pour les années 2015 et 2016. 112

Chpitres 6

Tableau 6. 1 : Effectifs et types de crue sur les 3 bassins versants test. 118
Tableau 6. 2 : Temps caractéristiques des crues sur les 3 bassins test. 120

Chapitre 7

Tableau 7. 1 : Site de Sidi Chami : Caractéristiques hydrauliques calculées pour un débit de 180m3/s. 128
Tableau 7. 2 : Site de Zaouit Echiekh : Caractéristiques hydrauliques calculées pour un débit de 75 m3/s. 131

Chapitres 8

Tableau 8. 1 : Distribution des questionnaires selon les villes et centres urbains du "dir" de Béni-Méllal. 139

Chapitres 9

Tableau 9. 1 : Distribution des questionnaires selon les acteurs. 165
Tableau 9. 2 : Barrages en cours de réalisation. 168
Tableau 9 .3 : Etudes réalisées par l'ABHOR dans le "dir" de Béni-Méllal. 173
Tableau 9 .4 : Equipements logistique des centres d'intervention de la protection civile. 182

Chapitres 10

Tableau 10. 1 : les quartiers et les maisons menacées par les inondations dans le "dir" de Béni-Méllal 198
Tableau 10. 2 : les quartiers et les maisons menacées par les inondations dans le "dir" de Béni-Méllal 199
Tableau 10. 3 : indice de la pauvreté dans les communes de "dir" de Béni-Méllal 201

Chapitres 11

Tableau 11. 1 : Distribution du questionnaire destiné à la population du "dir" de Béni-Méllal 226
Tableau 11. 2 : Distribution des cartes mentales destinées à la population du "dir" de Béni-Méllal 226

Liste des Photos

Chapitres 2

Planche photos 2. 1 : vues sur les niveaux de dégradation du couvert végétal dans le « dir» de Béni- Mellal : 56
Planche photos 2. 2 : vues sur l'impact de la dégradation du couvert végétal, sur le fonctionnement des bassins versants et ses influences sur l'espace et l'homme : 59
Planche photos 2. 3 : : les deux photos illustrent les cas de l'érosion, comme résultats de la dégradation. 59

Chapitres 3

Planche photos 3. 1 : Travaux d'équipement de l'oued Ikkour et l'installation du pluviomètre. 76

Chapitres 5

Planche photos 5. 1 : Echelle amont et aval – l'exemple de l'Oued Echkounda(Sid Chamià 103
Planche photos 5. 2 : Levés de profils en travers par tachéomètres. 104
Planche photos 5. 3 : Jaugeages au micro-moulinet/ 105
Photo 5. 1 : Niveau d'eau à l'échelle aval de l'oued Ikkour. 104
Photo 5. 2 : exemple de relevé aux échelles. 110
Photo 5. 3 :Ecoulement pour une cote de l'ordre de 30cm sur le site de mesure de Hançala 111

Chapitres 8

Planche photos 8. 1 : Exploitation abusive des dolomies par le secteur privé. 146
Planche photos 8. 2 : Maisons détruites par les inondations dans le "dir" de "Beni Mellal". 149
Planche photos 8. 3 : Maisons submergées et endommagement des équipements ménagers. 150
Planche photos 8. 4 : Exemple des pertes du bétail à cause des inondations. 151
Planche photos 8. 5 : Influence des inondations sur les sols et les terrains agricoles. 152
Planche photos 8. 6 : Infrastructures publiques submergées par les inondations. 154
Planche photos 8. 7 : Influence des inondations sur le réseau routier du "dir" de Beni Mellal. 155
Planche photos 8. 8 : L'impact des inondations sur les ouvrages. 157
Planche photos 8. 9 : Maisons construites dans le cadre des dédommagements suites aux inondations de 2010 à Ait Abdeslam. 160

Chapitres 9

Planche photos 9. 1 : Vue sur les aménagements contre les inondations dans la ville de El-Ksiba. 174
Planche photos 9. 2 : Aménagements de lutte contre les inondations dans la ville d'El-Ksiba. 177
Planche photos 9. 3 : Interventions des collectivités locales pour lutter contre les inondations. 186

Table des matieres

Résumé :....2
Abstract:....3
ملخص:....4

PREMIERE PARTIE : CONTEXTE PHYSIQUE ET CONTRASTES SPATIOTEMPORELS DES PRECIPITATIONS....9

Introduction de la première partie:....10
CHAPITRE 1 : CADRE, PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE, OBJECTIFS ET METHODOLOGIE....11
Introduction :....12
I) Contexte de la réalisation de la thèse:....12
II) Présentation du domaine d'étude :....12
III) La problématique de l'étude :....15
IV) Etapes et méthodologie de travail:....17
1. La collecte de l'information existante : bibliographie, données :....17
2. La production des données relatives à l'aléa et la vulnérabilité:....18
3. Organisation et traitement des données :....19
4. La modélisation hydraulique : une méthode pour la délimitation des zones inondables: 20
V) Les difficultés spécifiques à ce travail de recherche :....22
VI) Les objectifs de la thèse:....23
VII) Le cadre conceptuel....23
VIII) Risques d'inondations et demande de sécurité : vers une nouvelle méthode hydrologique intégrée" :....26
a) L'approche historique :....27
b) La méthode hydro-géomorphologique :....27
c) La modélisation hydraulique :....27
Conclusion :....29
CHAPITRE 2 : BASSINS VERSANTS TEST ET LEUR REPRESENTATIVITE DANS LE CONTEXTE DU "DIR" DE L'ATLAS DE BENI-MELLAL :....30
Introduction:....31
I) Les bassins versants test : critères de choix:....31
II) Le contexte physique du domaine de l'étude et la représentativité des bassins versants test. 32
1. Topographie :....32
1-1 Les paramètres physiographiques des bassins versants tests :....32
a) Les paramètres géométriques :....32
1-2 Indice de Rectangle équivalant :....34
1-3 Paramètres hypsométriques : une variation topographique assez remarquable: 37
1-4 Les Pentes : une variation très remarquable: 38
1-5 Expositions des versants : La dominance des versants Nord favorise un apport pluviométrique important :....40
2. Géologie :....41
2-1 Le facteur géologique et son influence sur la réponse hydrologique des bassins du "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal :....43
2.1.1 Litho-stratigraphie :....43

2.1.2 La tectonique :.....44
2.1.3 La lithologie et perméabilité des bassins étudiés :.....44
2-2 La perméabilité des roches ; un paramètre décisif dans la genèse des crues :.....45
3. Caractéristiques hydrographiques des bassins versants : la densité de drainage :.....46
4. Le couvert végétal : un facteur favorisant les crues rapides dans le "dir" de l'Atlas de Béni-Méllal :.....49
4-1 La dynamique du couvert végétal dans le "dir" de Béni-Méllal:.....50
4.1.1 Méthodologie et données utilisées:.....50
4.1.2 Données et documents utilises: 50
4-2 Résultats et discussions:.....53
4-3 L'impact de la dégradation du couvert végétal, sur le milieu physique et sur les activités humaines :.....58
a) L'impact sur le fonctionnement des bassins versants et la genèse des crues :.....58
b) L'érosion hydrique et ses influences :.....59
Conclusion :.....61
CHAPITRE 3 : DONNEES PLUVIOMETRIQUES : CONTRASTES SPATIOTEMPORELS DES PRECIPITATIONS:.....62
Introduction :.....63
I) Contexte climatique général: 63
II) Le réseau de mesures pluviométriques.....64
1. Présentation des stations:.....64
2. Critique des données et comblement des lacunes:.....67
2-1 Critique des données :.....67
2-2 Comblement des lacunes :.....69
3. Choix de la station représentative et périodes retenues:.....69
III) Analyses de la variabilité temporelle:.....70
1. Les précipitations annuelles:.....70
2. Les précipitations mensuelles: 72
3. Les précipitations journalières: 73
IV) Implantation d'un pluviomètre au sein d'un bassin représentatif et valeurs observées:.....76
V) Les types de temps à l'origine des précipitations sur le "dir" de Béni-Méllal:.....78
VI) Spatialisation des précipitations : choix de la méthode et application:.....80
1. Choix de la méthode: 80
2. Résultats: 80
Conclusion :.....82
Conclusion de la première partie :.....83
DEUXIEME PARTIE : HYDROLOGIE ANALYTIQUE DES BASSINS VERSANTS TESTS : ETUDE HYDROLOGIQUE DE L'ALEA MENAÇANT LES AGGLOMERATIONS DE "DIR" DE BENI-MELLAL :.....84
Introduction de la deuxième partie :.....85
CHAPITRE 4 : APERÇU HISTORIQUE DES CRUES TORRENTIELLES DANS LE "DIR" DE BENI-MELLAL: 86
Introduction:.....87
I) Disponibilité des données et contexte hydrologique:.....87
II) Analyse statistique et tendance des débits à différents pas de temps:.....88

III) Le régime mensuel des débits: 89
IV) Les données journalières et à pas de temps variables.: 90
V) L'analyse des épisodes de crue: 92
1. La période 1970 à 2011 93
2. La période 2000 à 2011 94
Conclusion: 99
CHAPITRE 5 : LES BASSINS TEST : LA PRODUCTION DES DONNEES HYDROMETRIQUES: 100
Introduction:..... 101
I) La production de données de débits : méthodologie:..... 101
II) Mise en œuvre du dispositif de mesure sur les bassins tests..... 102
a) Détermination et équipement des tronçons de mesure et mesure des niveaux d'eau: 102
b) La mesure topographique: 104
c) La mesure de débit:..... 105
III) La modélisation dans HEC-RAS:..... 105
Conclusion: 112
CHAPITRE 6 : CARACTERISATION DES CRUES TORRENTIELLES DANS LES BASSINS VERSANTS TEST: 113
Introduction:..... 114
I) Les débits moyens journaliers et mensuels:..... 114
II) La caractérisation des crues-éclair des bassins test:..... 118
Conclusion: 121
CHAPITRE 7 : L'APPORT DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE A LA GESTION DU RISQUE INONDATION:..... 122
Introduction:..... 123
I) La démarche de modélisation hydraulique sur les secteurs vulnérables: 123
a) Le choix du modèle HecRas: 123
b) Données et démarche : 123
II) Les résultats pour les débits enregistrés sur les 3 ans: 127
a) Site de Sidi Chami: 128
b) Le secteur de Zaouit Echiekh:..... 130
III) Les enseignements que l'on peut tirer de la modélisation hydraulique d'une forte crue sur deux sites vulnérables du "dir" de Béni-Méllal :..... 132
Conclusion: 133
Conclusion de la deuxième partie :..... 134
TROISIEME PARTIE : "DIR" DE BENI-MELLAL : VULNERABILITE AGGRAVEE :135
Introduction de la troisième partie : 136
CHAPITRE 8 : LA GESTION DES RISQUES DES INONDATIONS : CARACTERISATIONS ET ACTEURS: 137
Introduction :..... 138
I) Enquête et population cible:..... 138
1. La population cible: 138
2. Dépouillement et analyse des données :..... 139
II) Résultats et discussions:..... 139
1. Prévention des risques d'inondations et information de la population: 139

2. L'intervention et les secours lors des inondations: 142
2-1 L'intervention de l'état: 142
2-2 Les interventions des associations de la société civile : 144
2-3 L'intervention du secteur privé: 145
2-4 L'intervention de la population locale: 147
3. Les dégâts des inondations: 148
3-1 Les dégâts matériels: 149
a) La destruction des maisons: 149
b) La submersion des maisons et l'endommagement des équipements ménagers: 150
c) Les pertes de bétail: 150
d) L'érosion hydrique et son impact sur les sols : 151
e) Submersion des infrastructures publiques: 153
f) Ravinement des routes et dégradation de leur qualité: 155
g) L'effondrement des ouvrages : 156
3-2 Impacts psychosociologiques des inondations: 158
4. Le dédommagement des dégâts: 158
5. Les solutions attendues et les aspirations de la population locale: 161
Conclusion: 162
CHAPITRE 9 : LA POLITIQUE DE GESTION DES INONDATIONS : ACTEURS, INSTITUTIONS ET REGLEMENTATION: 163
Introduction : 164
I) Méthodologie de travail : enquêtes auprès des acteurs: 164
1. Les collectivités locales : 165
2. L'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia: 165
3. L'Agence Urbaine de Béni-Méllal: 165
4. La Direction Régionale des Eaux et Forêts et la Lutte contre la Désertification de Béni-Méllal Khnéfra: 165
5. La Direction Régionale de la Météorologie de Beni-Mellal : 166
6. La Délégation Régionale de l'Agriculture de Beni-Mellal : 166
7. La Direction Régionale de la Protection Civile de Béni-Méllal(DRPC): 166
8. La Province de Béni-Méllal: 166
9. La Délégation Provinciale de la Santé de Béni-Méllal : 166
10. Secteur privé (bureaux d'études): 166
11. Associations de la société civile: 166
12. La population locale: 167
II) Dépouillement et outils utilisés 167
III) Les politiques publiques et la gestion des risques inondation : 167
1. La politique des barrages : 167
2. La loi sur l'eau: 168
2-1 La loi 10-95: 168
2-2 La nouvelle loi sur l'eau : la loi 15-36 : 169
3. Plans national de protection contre les inondations: 170
4. Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (CSEC): 170
.5 La Direction de la Météorologie Nationale (DMN): 171
6. Les lois d'urbanisme: 172

IV) La gestion du danger des inondations au niveau régional: 172
1. L'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Ebia(ABHOR): 172
2. Le Haute Commissariat des Eaux et Forêt et la Lutte contre la Désertifications, Béni-Méllal: 178
3. L'Agence Urbaine de Béni-Méllal: 179
4. La Directions Régionales de la Protection Civile et ses centres de secours : 180
CCR = Camion-citerne rural 182
FPT = Fourgon pompe-tonne 182
VPS = Véhicule de Protection et de Sécurité 182
VRS Véhicule de secours routier 182
5. La Direction Régionale de la Santé (DRS) : 183
.6 La Province de Béni-Méllal : 184
V) La gestion du risque des inondations au niveau local: 184
1. Les collectivités locales : 184
2. Les documents d'urbanisme: 187
a) Le Schéma Directeur d'Aménagement Urbain (SDAU): 187
b) Le plan d'aménagement (PA) : 188
3. Les associations locales: 188
Conclusion : 189
CHAPITRE 10 : EXTENSION URBAINE : FACTEURS D'AGGRAVATION DES INONDATIONS: 190
Introduction : 191
I) Méthodologie de travail: 191
II) Extension urbaine et occupation des zones menacées par les inondations: mécanismes et caractéristiques : 191
1. L'extension urbaine du "dir" et le phénomène des inondations : facteurs et caractéristiques : 191
1-1 L'exode rural: 191
1-2 La croissance démographique et son rôle, dans L'extension urbaine dans le "dir" : 192
2. Extension urbaine anarchique, facteur d'aggravation du risque inondation: 193
2-1 L'extension urbaine du centre de Taghzirt : 193
2-2 Extension urbaine du centre de Tanougha : 194
2-3 L'extension urbaine au douar d'Ait Hammou Abdesselam: 195
2-4 L'extension urbaine de la ville de Zaouit Echiekh : 196
2-5 L'extension urbaine de la ville d'El-Ksiba: 197
2-6 Facteurs d'installation de la population dans les zones inondables: 200
III) Caractéristiques socio-économiques et sociales de la population des zones inondables: .. 203
1. L'origine géographique de la population des zones fragiles du "dir" et sa relation avec la culture du danger : 203
1-1 L'origine géographique de la population des zones menacées dans le centre de Taghzirt : 204
1-2 L'origine géographique de la population des zones menacées dans le centre de Tanougha: 204
1-3 L'origine géographique de la population des zones menacées dans le douar d'Ait Hammou Abdessalem : 205

1-4 L'origine géographique de la population des zones menacées dans la ville d'El-ksiba: 205
1-5 Origine géographique de la population des zones menacées dans la ville de Zaouit Echiekh : 206
2. Niveau d'éducation de la population des zones menacées par les inondations: 207
3. Statut professionnel: Importance du chômage: 208
4. Le logement et la structure des ménages sont des indicateurs importants de la fragilité des populations des zones vulnérables : 209
5. Infrastructures et leur rôle dans l'aggravation des inondations : 211
5-1 Les infrastructures associées à l'évacuation des eaux pluviales : 212
IV) La carte de la vulnérabilité : 213
1. La carte de vulnérabilité du centre de Taghzirte : 214
2. La carte de vulnérabilité du centre de Tanougha: 214
3. La carte de vulnérabilité du centre d'El-Ksiba: 214
4. Cartes de la vulnérabilité de douar Ait hammou Abdessalem : 215
5. Carte de la vulnérabilité de Zaouit Echiekh: 215
Conclusion du chapitre 9: 221
CHAPITRE 11 : LA CULTURE DU RISQUE : CARACTERISATION ET PERCEPTION: 222
Introduction : 223
I) Le cadre conceptuel et l'importance de l'étude des perceptions dans le diagnostic de la culture du risque : 223
1. La perception/représentation : 223
2. Le concept de la pratique : 224
II) Méthodologie et population cible : 225
III) Résultats et discussions : 226
1. La culture du risque à travers la carte mentale : une forte présence des inondations dans la vie quotidienne des habitants: 226
1-1 Les éléments naturels : la présence importante des inondations : 227
1-2 Le milieu urbain : un milieu menacé par les inondations dans les perceptions de la population du "dir" : 230
1-3 L'action de l'Homme : une présence importance des comportements liés aux inondations : 234
.2 La culture du risque à travers le questionnaire : une diversité de comportements liés aux inondations: 237
2-1 La prise de conscience de la population à l'égard des risques naturels menaçant le "dir" : les inondations comme un risque majeur : 237
2-2 L'action de la population envers les inondations : une solidarité forte en face de la violence des inondations : 238
2-3 Le niveau de conscience de la population envers les inondations: 239
2-4 Les représentations de la population : diversité de perception des inondations: 240
Conclusion : 241
Conclusion de la troisième partie : 243
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS : VERS UNE GESTION INTEGREE DES RISQUES INONDATIONS: 246
I*)* La cartographie des dangers d'inondation: outils d'aménagement, de prévention et de sensibilisation: 250

II) A l'échelle des bassins, des oueds et des vallées :.... 251
III) Sur le plan institutionnel : nécessité de coordination entre les acteurs du territoire et adoption d'une approche participative:.... 253
IV) Sur le plan législatif :.... 255
V) Soutenir la recherche scientifique et technique lancer par les laboratoires de recherche:.. 255
VI) Au niveau de l'équipement et de l'infrastructure : travailler pour réduire la vulnérabilité: 256
VII) Sur le plan socioculturel ; atténuer la vulnérabilité et établir la culture du risque: 258
Bibliographie:.... 259
Liste des figures.... 272
Liste des cartes.... 277
Liste des cartes mentales.... 278
Liste des Tableaux.... 279
Liste des Photos.... 281