



Munich Personal RePEc Archive

Analysis of vulnerability to risk of Medjerda Oued

Dhaoui, Iyad

Research Unit Money, Development and Infrastructure (MODEVI),
Faculty of Economics and management of Sfax

2014

Online at <https://mpa.ub.uni-muenchen.de/87649/>
MPRA Paper No. 87649, posted 30 Jun 2018 09:51 UTC

ANALYSE DES ENJEUX ET DE LA VULNERABILITE AU RISQUE D'INONDATION D'OUED MEDJERDA

Iyad Dhaoui

*Unité de recherche Monnaie Développement et Infrastructure (MODEVI), Faculté des
Sciences économiques et de gestion de Sfax*

RÉSUMÉ. *Les inondations sont récurrentes dans l'analyse des risques naturels. Caractériser et quantifier l'influence des inondations est un enjeu de l'hydrologie. Elles conduisent à des effets très divers sur le milieu naturel comme sur les sociétés humaines.*

Les inondations répétitives d'Oued Medjerda sont porteuses de nombreux dommages pour les populations, les activités économiques et pour la collectivité.

L'objet de cet article est l'identification et la cartographie des zones à risque d'inondation de la vallée de Medjerda. Une cartographie des aléas locaux associés à ce phénomène nous montre l'importance de son emprise spatiale. Nous tenterons de proposer de nouveaux outils d'estomper voire la gestion du risque d'inondation. L'objectif de cette proposition est de renforcer la protection contre les inondations pour protéger les zones rurales et urbaines de la vallée Medjerda contre les crues et les dégâts que celles-ci occasionnent et le renforcement des systèmes de prévention et d'alerte. Ceci aura nécessairement un impact positif sur le développement des activités économiques. Pour mener bien l'analyse, ce papier serait articulé autour de trois paragraphes. Tout d'abord, on va étudier les inondations et leurs conséquences. Précisément, l'analyse explore la place des inondations parmi les catastrophes naturelles ainsi que la définition et terminologies de ce phénomène. Ensuite, on va présenter le contexte hydrologique lié aux inondations d'Oued Medjerda. On va exposer la méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables et le coût des dommages associés. Enfin, nous proposerons un programme d'action pour la réduction du risque d'inondation.

ABSTRACT. *Floods are recurrent in the analysis of natural hazards. Characterize and quantify the impact of flooding is a hydrological issue. They lead to very different effects on the natural environment as on human societies. Repeated flooding of Medjerda River is carrying a lot of damage to people, economic activities and the community.*

The purpose of this paper is the identification and mapping of areas at risk of flooding of the Medjerda River. Mapping of local hazards associated with this phenomenon shows the importance of its spatial extent. We try to offer new tools to blur and to manage of flood risk. The objective of this proposal is to protect rural and urban areas of the Medjerda against floods and the damage they cause and strengthening prevention systems and alert. This will necessarily have a positive impact on the development of economic activities.

To carry out the analysis, this paper is structured around three paragraphs. Firstly, we will study the floods and their consequences. Specifically, the analysis explores the position of flooding in the natural disasters as well as the definition and terminology of this phenomenon. Then we will present the hydrological medjerda floods context. We will explain the method for the determination of hydrogeomorphic flood plain and the associated damage. Finally, we propose an action program to reduce the risk of flooding.

MOTS-CLÉS : *Inondation, Oued Medjerda, Vulnérabilité, Territoire, Evaluation.*

KEYWORDS: *Flood, Medjerda River, Vulnerability, Territory, Evaluation.*

1. Introduction

Beaucoup de civilisations se sont développées tout au long de la vallée de la Medjerda faisant d'elle un axe de développement important, beaucoup de villes ont prospéré et un développement économique s'est instauré (9 provinces) environ 40% de la population, plusieurs périmètres irrigués (80000 ha).

Les inondations récurrentes d'Oued Medjerda sont porteuses de nombreux dommages pour les populations riveraines, les activités économiques et pour la collectivité. Au regard des derniers avancements sur la connaissance et la compréhension de l'aléa, l'objet de ce travail est de définir, dans un cadre partenarial, les cibles pertinentes de ces actions et de guider la réflexion en la matière.

Pour évaluer de manière objective la vulnérabilité et proposer des mesures de réduction cohérentes, quelques étapes préalables sont nécessaires. Elles s'attachent à cerner les données contextuelles du risque d'inondation.

Les collectivités locales sont particulièrement vulnérables face aux risques naturels. Ces événements occasionnent des coûts et conséquences sur l'opinion publique qui entraînent une préoccupation grandissante pour les autorités locales et nationales. Ils exposent les faiblesses du système de prévention ainsi que la fragilité des communes face aux risques et ils reposent la question de la pertinence et de l'efficacité des moyens de prévention.

Dans un premier temps, il est élémentaire d'avoir une connaissance fine de l'aléa. Cela passe par la compréhension du fonctionnement des écoulements et par la caractérisation de ces derniers. Il est possible sur cette base de construire des modèles hydrologiques et hydrauliques permettant de confronter l'efficacité potentielle de plusieurs scénarios d'aménagement.

Dans un deuxième temps, il est essentiel de cerner au mieux les enjeux susceptibles d'être affectés par l'aléa. Plus qu'un simple recensement des activités et personnes situées au sein de la zone inondable, il s'agit de comprendre les différentes fonctionnalités (économiques, sociales et publiques) et les interdépendances qui structurent la vie d'un territoire. Aussi, ces deux points, faisant partie intégrante de l'évaluation de la vulnérabilité, feront l'objet du premier et de la deuxième partie de ce papier.

La troisième partie sera quant à lui consacré aux aspects plus opérationnels de notre étude. De manière pratique, il s'agira de définir concrètement le concept de vulnérabilité afin d'en proposer un diagnostic original assorti de propositions de réduction de cette dernière. Il convient d'ores et déjà de noter que la réalisation d'un diagnostic de la vulnérabilité est un travail de longue endurance qui doit se tisser en partenariat avec les acteurs locaux sur plusieurs années. Nous proposerons ici un premier travail devant guider la réflexion dans le domaine.

2. Les inondations et leurs conséquences

2.1. La définition et terminologies des inondations

La vulnérabilité mesure le niveau des conséquences prévisibles d'un aléa sur les enjeux, autrement dit les conséquences dommageables de l'évènement sur les enjeux concernés. La vulnérabilité peut être humaine, socio-économique et environnementale¹.

L'aléa inondation caractérise la probabilité d'apparition d'un phénomène naturel, d'intensité et d'occurrence données. Il est modéré ou fort en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement.

Lorsque l'on considère une parcelle inondée (ou un groupe de parcelles inondée), l'aléa correspond à tous ce qui caractérise la submersion, indépendamment du mode d'occupation des sols. L'aléa est l'élément perturbateur conditionné par l'extérieur, susceptible de provoquer des modifications aux sols, à l'écosystème, aux personnes, aux biens, aux activités.

¹ Veyret, V., « Les Risques – Dossier des images économiques du monde », Edition SEDES, 2004, 255p.

L'aléa inondation est lié à la fois à des phénomènes naturels (la pluie, le ruissellement, la formation de la crue, etc.) et à des actions humaines : les actions conscientes ou non sur le cycle hydrologique, la gestion d'ouvrages hydrauliques, toute modification de la morphologie de lits mineurs et majeurs du cours d'eau, les modifications des processus d'érosion, les stockages de matières polluantes ou d'objets pouvant être emportés par l'eau.

L'occurrence de l'inondation et l'intensité de ses différents paramètres sont des phénomènes aléatoires, conditionnés par le déclenchement de pluies dépassant des seuils donnés pour une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : intensité moyenne, durée, intensité maximale, volume précipité (en fonction des conditions d'évaporation, d'évapotranspiration et d'infiltration). Selon les cas, il existe des relations liant plus ou moins différents paramètres de l'aléa : vitesse de courant et matériaux transportés, vitesse de montée de l'eau et durée de submersion.

2.2. Les conséquences des inondations

2.2.1. Définir et qualifier les conséquences d'une inondation

Définir et analyser les effets d'une inondation particulière revient à comparer les systèmes géomorphologique et pédagogique, hydrologiques, écologique, humain, social technique et leurs évolutions selon deux hypothèses :

- _ L'évènement d'inondation s'est produit ;
- _ L'évènement ne s'est pas produit, toutes choses égales par ailleurs.

Les dommages sont les valeurs, anthropocentriques par nature mais pas nécessairement monétaires, que la société et/ ou ses membres attribuent aux impacts : "c'est très grave", "cela ne coûte pas cher".

2.2.2. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

2.2.2.1. Les méthodes anglo-saxonnes

C'est aux Etats-Unis que la notion de « gestion des plaines inondables » (« flood plain management ») est apparue dans les années 1950 avec les travaux du géographe Gilbert White, véritable précurseur des recherches menées sur ce thème (1975). De même, les études sur l'évaluation des vulnérabilités y sont relativement anciennes (Foster H.D., 1976). Aujourd'hui, les recherches américaines constituent toujours d'importantes références comme l'attestent les nombreux articles traitant des méthodologies d'évaluation des vulnérabilités publiés dans le *Natural Hazard Review* (Flax Lisa K. et al., 2002 ; Wood Nathan J. et al, 2002).

En Angleterre, l'essentiel des recherches est mené par le Flood Hazard Research Centre (FHRC)², Les connaissances acquises dans le domaine sont telles que des guides de référence officiels d'importance internationale y ont été publiés : le Blue manual (Penning-Rowsell e., Chatterton J., 1977) et le Red manual (Parker D., Green C., Thompson P., 1987).

Tous les types de dommages semblent avoir été étudiés par les Anglais, essentiellement au travers d'approches quantitatives telle que la construction de fonctions de dommages et l'analyse coûts / avantages. Des démarches plus qualitatives ont été plus récemment développées. Il s'agit par exemple de la *Bootstrapping method*, mise en place pour l'évaluation des dommages à la santé et les pertes de biens irremplaçables. Cette méthode propose une évaluation monétaire du coût des dommages tangibles subis par la population sinistrée alors interrogée par enquête. Les questionnaires d'enquête permettent également aux individus d'attribuer une note de sévérité aux dommages tangibles et intangibles. Cette

² C'est l'un des premiers centres travaillant sur ces problématiques d'évaluation du risque (depuis les années 60) autour d'une équipe interdisciplinaire qui étudie plus spécialement les relations entre les inondations et la société (PARKER, 1995).

méthode propose donc d'évaluer les impacts intangibles en leur attribuant la même valeur monétaire que les dommages tangibles ayant obtenus la même note de sévérité³.

D'une façon générale, les réflexions sur les vulnérabilités aux inondations sont très poussées pour les enjeux liés à l'agriculture, aux activités et à l'habitat. Par exemple, il existe une typologie fine de l'habitat considérant 21 catégories types en croisant trois critères (la nature du logement, la date de construction et la catégorie socioprofessionnelle des occupants). Pour chacune de ces catégories, on calcule des fonctions de dommages en fonction d'un ou plusieurs paramètres de l'aléa.

Les démarches plus qualitatives et les analyses de vulnérabilités sont toutefois peu développées. En outre, les analyses de type multicritères ne sont pas employées dans le cadre de l'évaluation des impacts des inondations (Penning-Rowsell E., 1999)

2.2.2.2. Les méthodes françaises d'évaluation quantitative

Les méthodes développées sont de deux types (LEFORT E., 2004) :

– des démarches analytiques a priori de type coût/avantage qui consistent à traduire les vulnérabilités en unité monétaire et à réaliser des constats d'endommagement débouchant sur des simulations de sinistres (BLONG R., 2003, D'ERCOLE, 1994 ; LEONE F. et al, 1996) ;

– des démarches dites « phénoménologiques » a posteriori, encore limitées, qui consistent à analyser les vulnérabilités à partir de retours d'expérience (DARTAU B., 1999, ARNAL C. et MAZURE P., 1999), à estimer le coût moyen annuel à l'échelle du bassin versant et calculer les dommages potentiels (BCEOM, 1980).

2.2.2.3. Les méthodes françaises d'évaluation qualitative

_ La méthode inondabilité du CEMAGREF⁴ : consiste en une modélisation et un croisement des variables « aléa » et « vulnérabilité » permettant d'exprimer sur une carte synthétique « un risque maximal acceptable », c'est-à-dire d'accepter de prendre certains risques en échange de certains bénéfices. Cette méthode traduit les vulnérabilités par des données de nature hydrologique, mais a l'inconvénient de définir la vulnérabilité indépendamment de tout aspect économique

_ Les techniques hiérarchiques multicritères : la plus connue a pour objectif de caractériser la vulnérabilité des zones urbaines et des projets d'aménagement exposés à un risque à partir du mode d'occupation du sol⁵. La vulnérabilité est appréhendée de manière chiffrée à partir de données qualitatives variées. Chaque critère de vulnérabilité est standardisé, puis pondéré en fonction de son importance supposée. Au final un indice d'évaluation unique définit la valeur de l'occupation du sol en termes d'enjeux économiques et humains.

3. Le contexte hydrologique lié aux inondations d'Oued Medjerda

Cette première étape d'analyse de l'aléa inondation et des enjeux exposés à cet aléa est nécessaire à l'étude de la vulnérabilité d'un territoire. C'est en effet la qualité de cette étape préalable qui conditionnera la pertinence et la cohérence des actions de réduction de la vulnérabilité. En ce sens, il convient de décrire le fonctionnement de l'hydrosystème de la Charente pour dégager les causes naturelles et humaines du phénomène inondation, avant de l'aborder sous des aspects quantitatifs et d'en proposer une mesure.

L'étape suivante se concentrera sur le corollaire de cet état des lieux : la connaissance des enjeux soumis directement et indirectement au risque d'inondation.

Les inondations provoquées par les crues de Medjerda ne sont pas le fruit du hasard. La conjonction d'un ensemble de facteurs naturels et humains favorise l'apparition de ce phénomène. Nous dresserons un

³ Pour plus de détails voir Hubert G. et Ledoux B. (1999).

⁴ Le Cemagref est un institut public de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement.

⁵ Graillot D. et al, (2001).

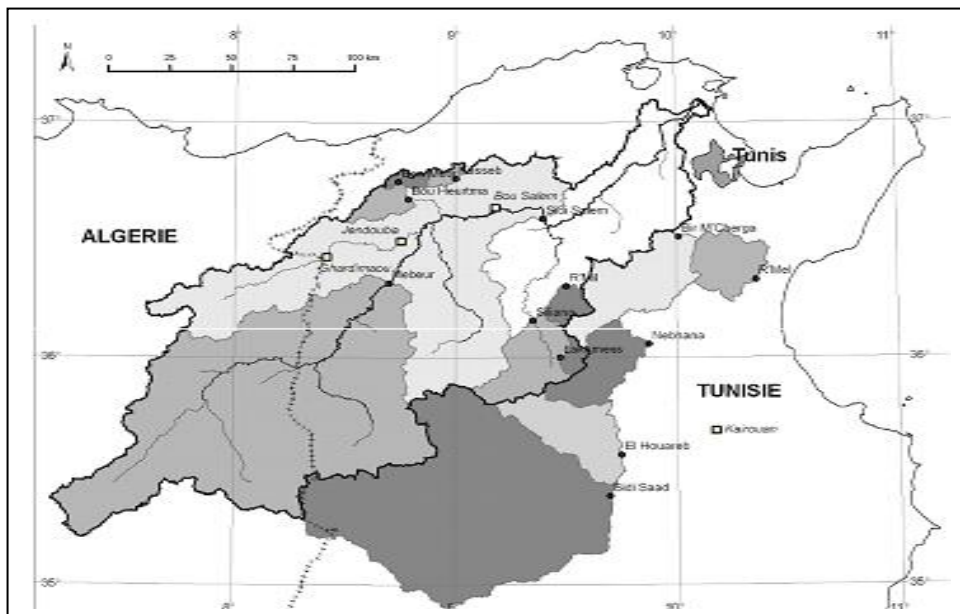
inventaire des caractéristiques du bassin versant afin de comprendre la genèse des crues et les enjeux associés à la maîtrise du risque d'inondation. Pour ce faire, nous aborderons successivement les caractéristiques du bassin versant en balayant d'une part le contexte « naturel » (organisation hydrologique, caractéristiques géographiques, topographiques, géologiques...) et d'autre part des aspects plus patrimoniaux, permettant d'apprécier la place du fleuve dans la vie du territoire et les enjeux potentiels associés.

3.1. Caractéristiques générales

3.1.1 La vallée de la Medjerda

La vallée de la Medjerda fait partie intégrante de la Tunisie du Nord (marqué par de petites montagnes orientées Sud Ouest, Nord Est, ces chemins sont séparées par d'étroites et profondes vallées avec des versants.

Carte 1. Les bassins versants de la vallée Medjerda



Source : Daoud, A. et al., *Couplage d'un évacuateur vanne avec une tranche de laminage, cas du barrage de Sidi Salem, en Tunisie*, Colloque CFBR-SHF: «Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues», 20-21 janvier 2009, Lyon, p. 3.

L'oued Medjerda est le plus important de Tunisie ; il draine un bassin versant de 23 500 km² dont 7 600 km sont situés en Algérie ; le cours suivant la branche la plus longue s'étend sur près de 600 km, le cours principal de la Medjerda faisant lui 485 km. La Medjerda prend sa source EN Algérie (Souk Ahras) L'oued Medjerda et ses affluents collectent de l'ouest vers l'est la majeure partie des eaux de surface du nord de la Tunisie et véhiculent en moyenne près d'un million de mètres cubes d'eau par an soit environ la moitié des eaux superficielles disponibles sur l'ensemble du pays.

Le régime hydrologique de cet oued est très hétérogène ; il est régularisé par de nombreux ouvrages (5 barrages) qui répartissent sur toute l'année les écoulements d'hiver les plus abondants.

Le régime naturel résulte de l'addition de celui des différents sous-bassins bien caractérisés :

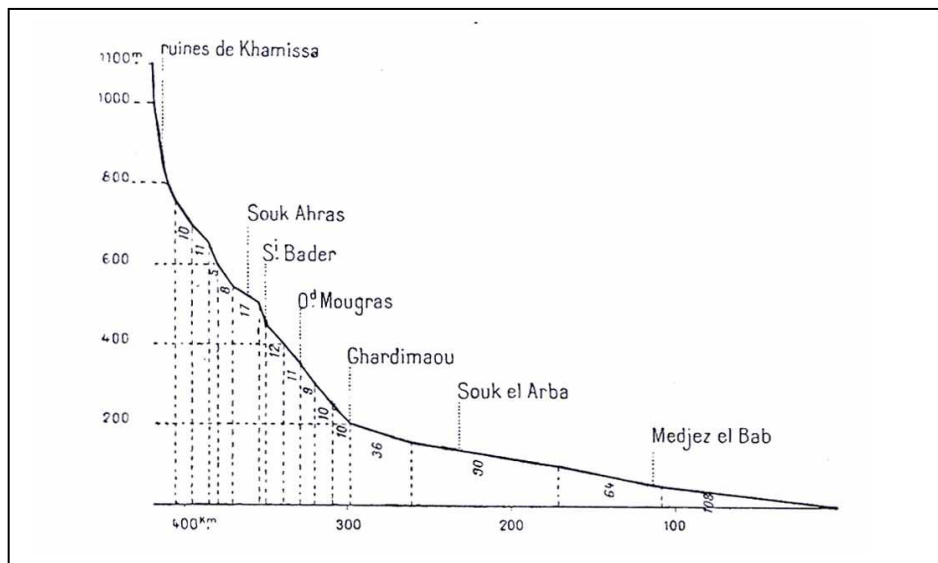
- la haute Medjerda et les affluents de la rive gauche, très arrosés en hiver (500 à 1 000 mm) et aux écoulements abondants ;

- les affluents rive droite, drainant de hauts plateaux en Algérie (Mellègue) et le flanc nord de la grande dorsale tunisienne, aux ressources moins abondantes mais soumis à de violents orages d'automne et de printemps ;

- la basse vallée, au relief peu marqué, très travaillé par l'homme et subissant l'influence maritime de la Méditerranée orientale.

La concordance de crues importantes sur tous les sous-bassins est très rare, mais non impossible, d'où l'ampleur limitée des crues exceptionnelles ; ainsi la crue décennale à Medjez el Bab (21 000 km²) estimée à 330 millions de mètres cubes, avec un débit maximum de 1 300 ms/s.

Figure 2. Profil du cours de la Medjerda



Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Medjerda>

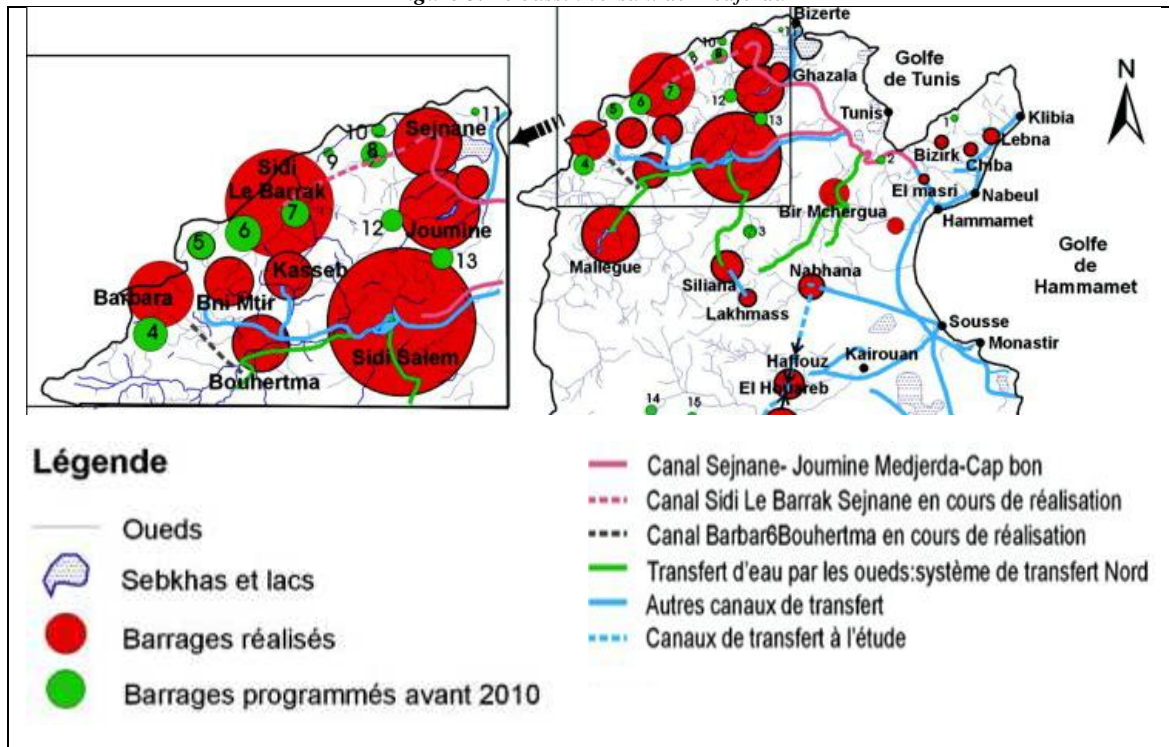
La vallée de Medjerda comprend en Tunisie, 5 affluents principaux : Oued Béja, Oued Tessa, Oued Kessab, Oued Siliana et Oued Mellègue.

Tableau 1. Quelques exemples hydrographiques

Ensemble hydraulique	Bassin hydrographique	Apport par bassin (Mm3)
Medjerda	Haute Medjerda	215
	Mellegue	190
	Tessa	100
	Bouheurtma	135
	Kasseb	59
	Khalled	35
	Siliana	80
	Bassin intermédiaire	186
Total		10000

Le bassin versant de la Medjerda accueille un apport de 1000 Mm³ par an. Plusieurs barrages (Sidi Salem et Mellègue Béni M'tir, Kasseb, Laroussia, Lakhmess, Bouhertma), barrages collinaires et lacs ont été construites sur la Medjerda et ses affluents. Ces barrages occupent aujourd'hui une place de premier ordre dans la stratégie de mobilisation des ressources en eau dans le pays.

Figure 3. Le bassin versant de Medjerda



Source : Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, Schéma national d'Aménagement du Territoire et Ministère de l'Agriculture, « Economie d'eau 2000 ».

3.1.2 Patrimoine et vie autour de l'Oued

L'objet de ce paragraphe est de cerner la place d'Oued dans la vie du territoire. Sont concernés les usages directs d'Oued, dans le cadre d'activités de production (agriculture, industrie, services) ou de loisirs (pêche, sports, etc.), mais aussi les usages indirects pouvant être évalués en terme de capital archéologique et écologique, ou d'aménités paysagères. L'écoulement d'Oued Medjerda est en fait soumis à de nombreux aménagements répondant à ses différents usages. Nous pouvons distinguer les usages directs (consommations de la ressource) des usages indirects (ressource support d'activités).

3.1.2.1. Le domaine agricole

Le cours inférieur de l'oued est actuellement utilisé pour véhiculer les eaux d'irrigation des périmètres de Henchir Tobias et de Kalaat Landalouss. Ces eaux, lâchées du barrage de Sidi Salem, traversent le barrage d'El Aroussia puis empruntent le lit de Majerda jusqu'à son exutoire au niveau du golfe de Tunis. De plus, le débit d'étiage, servirait à un certain nombre d'agriculteurs, le prélèvement s'effectue directement par pompage dans le lit moyennant rétribution. Cette gestion est assurée par les CRDA⁶.

⁶ Services des Ressources en Eau.

Le pont-barrage d'El Battan, est une autre illustration de l'ancienneté de l'exploitation des eaux d'Oued Majerda. Construit au seizième siècle, il est constitué de 16 arches et permettait d'utiliser l'eau de l'Oued pour irriguer les terres agricoles et pour actionner les moulins à foulon de la ville.

Figure 4. Le pont-barrage d'El Battan



Source: https://fr.wikipedia.org/wiki/El_Batan

3.1.2.2. Les prélèvement d'eau potable

Des milliers de forages et de puits d'eau ont été creusés pour exploiter les nappes profondes de la vallée.

3.1.2.3. Patrimoine naturel

La faible altitude du bassin est propice au développement de nombreuses zones humides. Les zones humides ont une importance capitale dans la régulation des écosystèmes. Elles permettent d'atténuer les phénomènes hydrologiques naturels (étiages ou inondations). Bien que ces dernières soient en recul du fait des modifications d'occupation du sol (agriculture et urbanisation) il est nécessaire de les préserver et renaturer certains espaces. Aussi, Mejerda et ses affluents servent de couloir de migration à divers oiseaux, qui y trouvent des zones de refuge riches en nourriture. Y vivent également des mammifères jugés menacés. La végétation est elle aussi riche d'espèces rares.

3.1.2.4. Patrimoine archéologique

La proximité du fleuve, pour son eau et ses terres fertiles, a été recherchée depuis l'Antiquité, dans la basse vallée et ailleurs. Ici, une partie des ruines de Simitthu, l'un des sites romains les plus importants de la partie amont du bassin versant et les vestiges d'un pont-barrage (dans le même site).

Figure 5. Les ruines de Simitthu



Source : Oueslati A., et al., *La basse vallée de Oued Medjerda et la lagune de Ghar El Melh*, WADI Project ? FIFTH International meeting, Tunis 6-9 December 2006.

3.2. Présentation de la zone inondable et de la genèse des crues

Ce paragraphe propose une approche descriptive du phénomène des crues, en fonction des caractéristiques morphologique du bassin. Nous aborderons la caractérisation et la mesure du phénomène.

Après avoir présenté les singularités de la zone inondable, nous aborderons les facteurs explicatifs de la formation des crues puis les facteurs aggravant ce phénomène.

3.2.1. Particularité de la zone inondable

3.2.2. Description du phénomène des crues

Nous aborderons les causes pluviométriques des crues puis leur propagation sur le BV.

3.2.2.1. La genèse des crues : facteurs pluviométriques

Les crues de la Charente ont lieu essentiellement durant la période hivernale. A cette période, l'influence océanique peut apporter force précipitations dont le caractère intense et prolongé génère une crue lorsque la capacité d'absorption des aquifères (karstiques et alluviaux) du bassin arrive à saturation. Deux types de crues peuvent être distingués :

_ Les crues générées par des pluviométries courtes :

Elles conduisent à la formation d'une onde de crue violente, caractérisée par un hydrogramme pointu, mais de courte durée. Le débit peut ainsi être très élevé. En se propageant vers l'aval, l'onde de crue perd de son intensité du fait des débordements dans le lit majeur et parvient à des niveaux très émoussés, plusieurs jours après la crue des affluents avals.

_ Les crues générées par des pluviométries longues :

En se propageant vers l'aval, elle se renforce par les apports latéraux entretenus par des pluies persistantes et par les crues des affluents avals. Les hauts débits peuvent ainsi être très importants et provoquer des crues exceptionnelles.

Leur impact est plus important en Medjerda aval où le lit majeur s'élargit et devient support de nombreuses activités. Le fleuve déborde sur une surface importante et une hauteur faible.

La pente n'autorise pas une évacuation rapide des eaux. Les durées de submersion sont donc longues (plusieurs semaines à plusieurs mois), ce qui en fait un critère d'aléa fort sur ce bassin (différent du critère vitesse, ici faible, des crues à bassins rapides).

3.1.2.2. La propagation de l'onde de crue

En période hivernale, le couvert végétal est faible (peu de cultures), le stockage superficiel des eaux de pluies l'est aussi. A l'inverse, l'effet de laminage provoqué par l'élargissement du lit majeur peut retarder l'onde de crue.

Il est difficile d'appréhender le phénomène des crues du fait de la complexité du bassin versant et de ses sous-bassins. Les pointes des hydrogrammes ne coïncident pas forcément.

Toutefois quelques éléments structurants peuvent être isolés.

3.3. Le coût des dommages associés

Selon la nature des phénomènes qui sont à l'origine des inondations, les effets dommageables peuvent être très variables et toucher des régions entières ou se limiter à certains secteurs relativement restreints. En outre l'impact variera avec le caractère subit et violent de l'événement, ou alors en raison de la montée régulière et relativement lente des eaux, qui inonderont alors une vaste surface du territoire, spécialement dans les plaines avoisinant les fleuves et leur embouchure.

Le danger est logiquement le plus élevé dans les zones montagneuses ou dans les vallées à forte dénivellation, où les dépressions seront totalement rasées ou momentanément noyées, puis recouvertes de matériaux de charriage (roches, sables, graviers, etc.); il en résultera la destruction ou l'enlèvement de tout ou partie des habitations, de l'infrastructure économique et des installations d'importance vitale (réseau énergétique, des transmissions et d'eau potable). Il en va de même lors de pluies diluviennes (orages) s'abattant dans les régions arides et les déserts, où l'eau ne peut s'infiltrer dans le sol imperméable et s'écoule en surface, selon le relief, en détruisant les habitations et les localités sur de très grandes distances.

Mais tous les types d'inondations auront régulièrement des conséquences très graves en raison des effets secondaires notamment. Une inondation très localisée ou présentant un niveau d'eau relativement limité peut entraîner des dommages de grande ampleur, plus spécialement l'interruption ou la destruction des voies de communication (routes, chemins de fer, etc.) ou la perte de l'infrastructure et de l'environnement (économie, approvisionnement, cultures, etc.).

3.4. Les villes riveraines de la vallée de Medjerda face aux inondations

Nous présenterons quelques inondations majeures depuis quelques années mais tenterons aussi de comprendre les facteurs ayant conduit à une aggravation de ce risque. L'expansion urbaine s'est traduite à la fois par l'apparition de nouveaux enjeux (urbanisation du lit majeur) mais également, par une aggravation de l'aléa dont les causes essentielles viennent d'être énoncées. Nous apporterons également des éléments complémentaires d'explication.

3.4.1. Historique des inondations majeures d'Oued Medjerda

En Mars 1973, l'Oued Medjerda a connu une crue exceptionnelle provoquant de graves inondations. Les mesures hydrologiques faites pendant la crue et les relevés des épaisseurs des alluvions faites auprès le retrait des eaux des zones inondées ont permis d'évaluer les transports solides et les volumes de sédiments déposés qui sont tout à fait exceptionnels. Au cours du mois de mars 1973, des précipitations continues sont tombées sur le nord de la Tunisie et de l'Algérie entretenant une très forte humidité des sols déjà bien humectés au sortir de l'hiver ; les pluies des 25, 26, 27 et 28 mars ont déclenché un fort ruissellement, provoquant une crue exceptionnellement forte de l'oued Medjerda lui-même aboutissant à des inondations catastrophiques dans la moyenne et surtout la basse vallée.

En février 2012, les quartiers de Ben Hassine, Edwahchia, et Weljet El Mwatiss de Mdjez El Bab ont été menacés par des inondations suite à la crue de Oued Medjerda. Le niveau des eaux a atteint, près de 9 mètres au niveau du pont d'El Moradia. Cependant, certains habitants ont refusé de quitter leurs maisons et ont choisi la lutte contre les inondations à leur manière en mettant des sacs de sable devant leurs habitations et en déplaçant leurs objets de valeur sur les toits.

Figure 6. Les inondations de Mdjez El Bab de 2012



Source : Régions, tap.info.tn

La ville de Bou Salem, dans le gouvernorat de Jendouba, est en proie, jeudi 23 février 2012, à de graves inondations après le débordement des eaux des oueds Medjerda et Bouhertma. Le niveau de l'eau a atteint un mètre et demi par endroits, et plusieurs habitations, bâtiments et commerces sont submergés par les puissants flots. L'activité est totalement paralysée dans toute la zone. Les accès de la ville par Béja et par Jendouba sont coupés. Les habitants craignent une aggravation de la situation dans les heures qui viennent.

La situation s'est également dégradée dans la ville de Jendouba, dans la même période, suite à la crue de l'oued Medjerda. Plusieurs habitations ont été envahies par les eaux dans les cités Ghaydia, Timiria et Hweylia.

Figure 7. Grave inondation à Bou Salem de 2012



Source : Régions, tap.info.tn

Il s'agit de recueillir le maximum de données disponibles concernant l'origine des crues, le mécanisme d'inondation, les zones inondées lors de crues passées ainsi que les fréquences d'inondation. Réalisée lors de visites détaillées du terrain et lors de rencontres avec des riverains et des élus, cette étape aboutit à l'élaboration d'un catalogue situant l'information recueillie.

3.4.2. L'expansion urbaine: aggravation de l'aléa

Notre environnement, par ces inondations, nous envoie des signaux alarmants. Lorsque les gouvernorats de Zaghuan, de Tunis, de Manouba, de Béja, de Siliana, de Sousse, de Nabeul sont inondés, que des axes routiers vitaux sont coupés et qu'on relève des victimes et des villages isolés, il y a là de quoi nous alerter : « Que se passe-t-il donc ? »

«Attribuer un évènement météorologique à un unique facteur est quasi impossible » écrit Le Monde (20-21 novembre 2011). Il n'en demeure pas moins que « les modes d'occupation des territoires, l'urbanisation et les changements socio-économiques » ont accru la vulnérabilité des sociétés à ces évènements » écrivent les experts du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) qui pointent les gaz à effet de serre dans les perturbations et les dérèglements climatiques que nous vivons.

Il est clair que les constructions anarchiques, parfois dans le lit des oueds ou sur le domaine public maritime, la déforestation, l'érosion des sols, le bitumage de certains terrains qui empêche la recharge des nappes phréatiques... ont contribué à la catastrophe qui a frappé bien des régions du pays et entraîné la désolation dans trop de foyers.

Autre facteur décisif : le manque d'entretien ou l'insuffisance de celui-ci. Pour ce qui est des égouts, des canaux et des lits des cours d'eau, un plan national devrait rapidement voir le jour. Les manquements à cet égard sont visibles et se signalent par les odeurs nauséabondes dans bien de nos villes et de nos quartiers.

3.4.3. Autres facteurs et aménagement ayant un impact sur l'aléa inondation

Les inondations surviennent en principe à la suite d'intempéries (p. ex.: tempêtes, cyclones, tornades ou orages; pluies fortes ou persistantes), en raison de la fonte des neiges et des glaces, voire écoulement subit de poches d'eau. Ces événements entraînent des crues dans le lit majeur des rivières ou l'accumulation des eaux de ruissellement, de résurgence ou de fonte dans les zones basses situées de part et d'autre des cours d'eau et en aval des fleuves.

De même, les ruptures ou débordements des barrages hydrauliques, constituent des cas spéciaux appelant des mesures de protection particulières.

3.4.4. Des Facteurs exogène

Les modifications de l'environnement sont nombreuses et la plupart du temps ne tiennent pas compte de la nature. Ces changements sont souvent des facteurs aggravant les inondations.

Le premier cas est la modification du cours d'eau. Cela peut se faire de plusieurs façons :

_ On canalise une rivière. Cela provoque une diminution des inondations là où le travail a été réalisé, mais l'eau s'écoule plus vite vers l'aval ce qui peut provoquer des débordements plus importants et/ou plus fréquents lorsque le cours d'eau reprend son cadre naturel.

_ Dans le même ordre d'idée, une modification de son trajet peut avoir les mêmes conséquences. Ainsi si l'on redresse un méandre, l'eau qui était freinée par les virages successifs de la rivière va s'écouler plus rapidement vers l'aval.

Une autre cause d'aggravation des inondations est la suppression des haies. Dans les bocages, on supprime les haies pour augmenter les surfaces cultivables et permettre une manœuvre plus aisée des engins agricoles. Les haies ont une fonction de ralentissement de l'écoulement de l'eau ce qui permet en même temps une infiltration de l'eau dans le sol via les racines des plantes qui composent la haie.

La suppression d'arbres et surtout de grandes surfaces boisées peuvent conduire également à une augmentation de la fréquence des crues. Cet effet sera surtout important en été. En effet, durant la période de végétation active, les arbres sont couverts de feuilles. Les premières gouttes de pluie abordent le sommet de la canopée. Elles commencent par mouiller les feuilles qui la composent, puis, elles se mettent à ruisseler vers les feuilles situées en dessous de la canopée. Une fois ces feuilles mouillées, l'eau ruisselle vers les feuilles suivantes et ainsi de suite jusqu'au sol. Deux effets se sont produits : d'abord le mouillage qui va monopoliser une bonne partie de l'eau qui arrive sur le feuillage, et ensuite, la vitesse des gouttes d'eau qui est fortement diminuée lorsque ces gouttes arrivent au sol. Dans un espace non boisé et surtout sur un sol nu, les gouttes arrivent au sol avec une certaine vitesse qui dépend de la taille des gouttes. En percutant ainsi le sol, les gouttes d'eau le tassent et le rendent moins perméable à l'infiltration d'eau dans le sol ce qui va favoriser un écoulement rapide vers le cours d'eau.

3.5. La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables

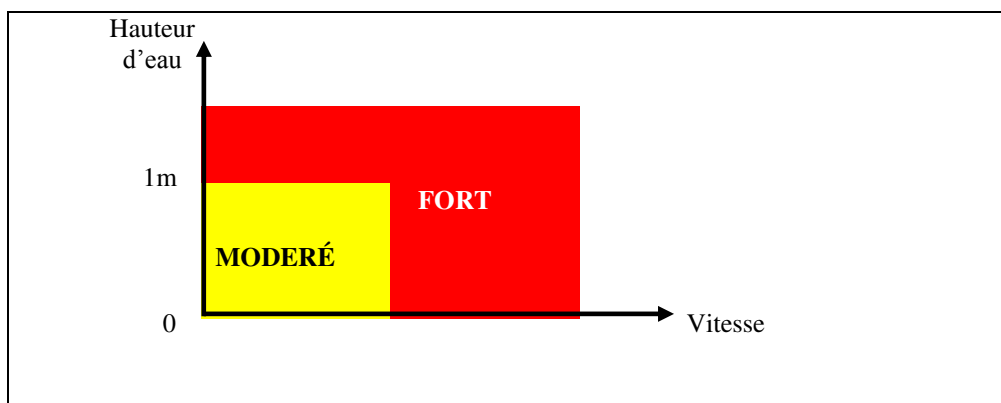
Cette modélisation permet de comprendre et quantifier l'impact d'un aménagement sur le niveau de la ligne d'eau. Nous présenterons les modèles de prévision puis nous proposerons des estimations de débits pour des événements extrêmes.

L'analyse de l'aléa inondation a été effectuée par la méthode hydrogéomorphologique et par modélisation. La méthode hydrogéomorphologique permet de délimiter les différents lits des cours d'eau : lit mineur, lit moyen et lit majeur pour les crues rares à exceptionnelles ainsi que les axes d'écoulements principaux.⁷ Les cotes maximales sont estimées à partir des profils en travers topographiques. Le lit mineur et les zones d'écoulement dynamique en lit majeur sont classés en aléa fort. Le lit majeur exceptionnel et les surfaces remblayées ou protégées par un remblai longitudinal peuvent être classés en aléa modéré. Les

⁷ Les limites externes du lit majeur d'un cours d'eau constituent la courbe enveloppe des crues passées de ce cours d'eau.

secteurs à enjeux ont fait l'objet d'une modélisation complémentaire de la crue centennale. Les cotes de référence (en m NGF) sont indiquées sur les cartes pour chaque profil en travers. Entre 2 profils, la cote de référence est calculée par interpolation.

Figure 8. Grille de croisement hauteur / vitesse



Conception DDT Dordogne-Service Eau, Environnement et Risques et bureau d'étude Egis Eau, juin 2011.

L'aléa est considéré comme fort lorsque la hauteur d'eau dépasse 1 m et / ou lorsque la vitesse d'écoulement dépasse 0.5 m/s (zone rouge sur le graphe). L'aléa est modéré en dessous de ces valeurs (zone jaune sur le graphe).

3.5.1. Les Modèles hydrauliques et hydrologiques

Il convient de distinguer les modèles hydrologiques des modèles hydrauliques. Les premiers permettent d'estimer le débit à l'exutoire de chaque sous bassin versant à partir de la pluviométrie.

Les seconds permettent de propager les débits issus du volet hydrologie, pour caractériser la propagation de l'onde de crue et de la pointe de crue (dans le temps et l'espace) dans la plaine alluviale et prendre en compte les effets de laminage. La principale difficulté de mise en place de ces modèles est liée à la disponibilité de l'information. Il existe souvent un manque d'information topographique (bathymétrie) alors que les données hydrométriques et pluviométriques sont plus facilement disponibles.

3.5.2. Les modèles hydrologiques : modèle pluie- débit

Il existe des modèles de simulation des écoulements qui tentent de représenter le fonctionnement des nombreux sous bassins. Le bassin versant est découpé en sous bassins (pluies considérées homogènes sur chaque bassins versants).

La démarche consiste dans un premier temps à transformer l'ensemble des données pluviométrique recueillies sur chaque pluviomètre en une lame d'eau moyenne (par sous bassin versant retenu).

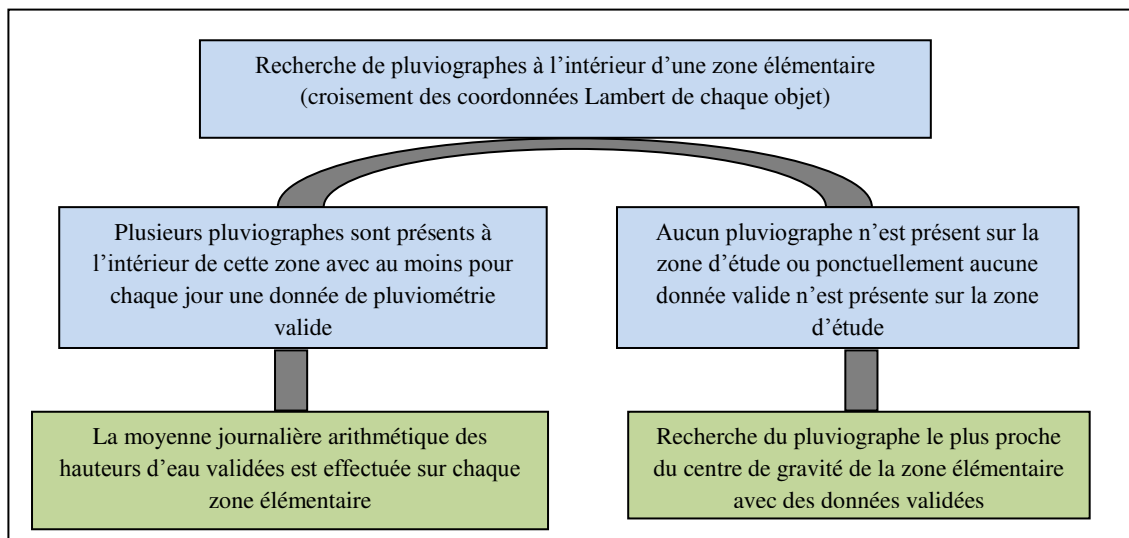
Cette lame d'eau moyenne est la moyenne pondérée par la surface des hauteurs d'eau enregistrées.

$$H_{BV} = \frac{\sum_i S_i H_i}{\sum_i H_i}$$

Avec $\left\{ \begin{array}{l} S_i : \text{aire de la zone élémentaire appartenant au sous versant considéré} \\ H_i : \text{hauteur pluviométrique calculée sur la zone élémentaire} \end{array} \right.$

La procédure adoptée peut être résumée de la manière suivante :

Figure 9. Procédure de mesure des hauteurs d'eau -Hydratec



Source : Saint Michel, M., *Analyse des enjeux et de la vulnérabilité au risque d'inondation du fleuve Charente : l'exemple des Saintes*, EPTB Charente, 2008, p. 29

La démarche générale est la suivante. Il s'agit de transformer dans un premier temps les données pluviométriques recueillies en pluie nette (la différence correspondant aux pertes dues à l'infiltration, l'évapotranspiration...) puis il convient de transformer cette pluie nette en lame d'eau et en débit à l'exutoire considéré. Le détail des équations permettant de passer de la pluie brute à la pluie nette, puis de la pluie nette au débit.

3.6. La carte d'inondation

L'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau comprend les zones dans lesquelles des inondations sont susceptibles de se produire, de façon plus ou moins importante et fréquente, suite au débordement « naturel » de cours d'eau.

La carte de l'aléa d'inondation représente donc des zones où il existe un risque d'inondation, même aux endroits où aucune inondation n'est historiquement connue.⁸ Inversement, l'absence d'une zone d'aléa sur la carte ne peut garantir qu'une inondation ne s'y produira jamais. Cette carte ne concerne pas les inondations trouvant leur origine dans du ruissellement, du refoulement d'égouts, de la remontée de nappe phréatique ou de phénomènes apparentés. Il n'est ici question que des problèmes d'inondations trouvant leur origine dans le débordement de cours d'eau. La carte délimite des zones caractérisées par une valeur d'aléa. Trois valeurs sont possibles: faible, moyenne et élevée.

Dans la pratique, la valeur de l'aléa d'inondation est déterminée par la combinaison de deux facteurs : la récurrence d'une inondation (période de retour ou occurrence) et son importance (profondeur de submersion).

4. Un programme d'action pour la réduction du risque d'inondation

Les fréquentes inondations du XXe siècle, doivent amorcer une dynamique tant au niveau local, national ou maghrébin, visant à mobiliser ressources et outils nécessaires à la réduction du risque et de la vulnérabilité associés à cet aléa. Dans le cadre de notre étude de la vulnérabilité, il convient également de présenter les solutions techniques sur lesquelles travaille l'EPTB en terme de réduction de l'aléa. Si l'aléa est modifié, la vulnérabilité l'est aussi (une inondation n'impactera pas de la même façon le territoire).

⁸ La carte de l'aléa est réalisée et présentée par sous-bassins hydrographiques, sous format A0, à l'échelle du 1/10.000ème. Par facilité d'utilisation, le découpage correspond aux planches I.G.N. à l'échelle du 1/10.000ème.

Il convient donc d'évaluer la pertinence hydraulique de ces aménagements. Nous nous y emploierons au travers de ce paragraphe. Les solutions à la réduction de l'aléa sont nombreuses mais aucune d'elles ne peut être mise en place simplement, pour de multiples raisons⁹.

Promouvoir la gestion intégrée des inondations à l'échelle d'un bassin versant est une nécessité. En effet, des aménagements mal coordonnés peuvent conduire à simplement déplacer les inondations d'un endroit à un autre. Quelles sont les solutions envisageables?

4.1. Le ralentissement dynamique

Ce concept s'inscrit dans une réflexion globale sur les moyens de lutte contre les inondations. Il ne s'agit plus de se protéger localement des crues par des ouvrages de type digue ou remblais¹⁰ mais de recréer artificiellement des mécanismes naturels de régulation permettant de ralentir et d'atténuer l'onde de crue, l'objectif étant de pallier aux problèmes d'accentuation du ruissellement.

Les principes généraux du ralentissement dynamique peuvent être résumés de la façon suivante :

_ retenir le ruissellement sur les versants aussi longtemps que possible pour diluer dans le temps l'afflux d'eau dans les cours d'eau (atténuation de la pointe de crue) ;

_ favoriser la connexion entre les annexes fluviales et le lit majeur et construire des ouvrages dans le lit mineur pour retarder l'écoulement (ralentir la pointe de crue).

Promouvoir la gestion intégrée des inondations à l'échelle d'un bassin versant est une nécessité. Le principe de ralentissement dynamique est bien adapté à cette exigence, en permettant d'écarter les crues en saisissant toutes les opportunités raisonnables de ralentissement et de rétention sur le bassin versant, ce qui va limiter d'autant le besoin d'ouvrages de protection perturbant fortement les écosystèmes, comme les endiguement et les calibrages.

4.2. Le coupage des méandres et le curage

4.2.1. Le coupage des méandres

Ce principe repose sur la recherche d'une section d'écoulement plus importante lors des grandes crues, pour réduire les pertes de charge⁵⁵, de préférence évidemment en aval des zones sensibles.

4.2.2. Le curage

⁹ La liste des freins aux aménagements est longue main on peut citer de manière non exhaustive :

-les montants financiers des travaux ;

Le lobby agricole ;

-le statut de l'institution (indépartementalité et légitimité vis-à-vis des autres services de l'Etat) ;

-les aspects patrimoniaux (Bâti, faune, flore, etc.) ;

- les décisions d'aménagement peuvent être délicate à soutenir d'un point de vue politique ;

La topographie.

¹⁰ Ouvrages, comme le rappellent N. Angelier (2006) et le guide du Cemagref (2004) sur le ralentissement dynamique, dont les faiblesses peuvent faire courir un risque plus grand aux populations censées être protégées :

- risque de rupture. Par exemple, les inondations catastrophiques à New Orleans lors du passage du cyclone Katrina ont été provoquées par la rupture d'une digue (B. Ledoux et N-G. Camp'Huis 2008),

- le risque existe toujours (ouvrage dimensionné pour faire face à un aléa donné),

- influence en aval (augmentation des débits de pointe et des vitesses.)

La problématique curage est complexe. Tout d'abord les volumes à extraire sont considérables. Des solutions techniques sont étudiées pour l'extraction et le devenir des boues de curage. Les deux alternatives sont :

- _ Pompage et rejet au large de l'estuaire ;
- _ Dragage, stockage à terre puis épandage.

Chacune de ces solutions présente des avantages et des inconvénients. Il semblerait que l'on s'achemine vers la dernière solution qui à l'avantage d'être mieux perçue et l'inconvénient d'être moins efficace. Il s'agit en effet de trouver suffisamment de surfaces de stockage pour les bassins de décantation et l'épandage comme filière de valorisation.

Nous avons pu dresser un état des lieux de la connaissance actuelle de l'aléa nécessaire à l'élaboration diagnostic de vulnérabilité.

Tout d'abord nous nous sommes intéressés aux caractéristiques du bassin versant afin de comprendre au mieux son fonctionnement et la nature des écoulements. Ses caractéristiques singulières permettent d'expliquer la propension dont dispose la Charente à envahir de larges zones inondables. Les aménagements qui jalonnent le fleuve peuvent être source d'accentuation de cette fâcheuse tendance, par différents vecteurs (envasement, verrous hydrauliques...). Ensuite, nous nous sommes attaché à caractériser ces écoulements. Les différentes mesures (débits, hauteurs d'eau, temps d'immersion...) permettent de valider les résultats des modélisations. Ces dernières constituent une étape primordiale dans notre processus d'analyse car c'est sur leur base que la politique de gestion et d'aménagement d'Oued Medjerda s'édifie. Elles permettent non seulement de fournir une explication et d'illustrer certains phénomènes (envasement, influence aval des verrous hydrauliques, de la modification de l'occupation des sols...) mais aussi de définir et confronter différentes solutions de gestion du risque d'inondation.

Notons que la rapide évolution de l'aléa dans sa nature nécessite une constante actualisation de cet état des lieux. De ce fait, l'inertie pouvant exister entre les études et les travaux doit être contenue.

Cette analyse de l'aléa effectuée, l'étude de la vulnérabilité requiert que l'on s'intéresse aux enjeux. Pour savoir quels sont les éléments susceptibles d'être affectés par l'aléa sur un territoire.

4.3. Les enjeux associés à la gestion du risque d'inondation

Le risque d'inondation concerne tous car même si l'on ne fait pas parti des victimes directes du sinistre, les effets induits nous concernent ne serait-ce qu'au travers du coût supporté par la collectivité. Il convient d'ajouter à cela les perturbations engendrées sur la vie économique locale et par extension, sur l'ensemble des partenaires hors du bassin versant. Aussi, si on veut savoir le risque d'inondation concerne quoi, on peut dire qu'il concerne tout. En effet, les conséquences d'une inondation peuvent se manifester à n'importe quel niveau : personnel, familial, biens mobiliers, immobiliers, activités économiques (services, agriculture, industrie), services publics, réseaux (eau, électricité, poste, déchets...), faune, flore, etc. Dans ce contexte, il semble essentiel de définir et regrouper les enjeux susceptibles d'être affectés par le risque d'inondation (objet du présent paragraphe) et surtout, cibler au mieux les enjeux pertinents dans le cadre d'une démarche de réduction de la vulnérabilité (prochain chapitre).

De nombreuses études se sont déjà attachées à la définition des enjeux associés au risque d'inondation¹¹. La définition du terme « enjeu » se rattache à ce que l'on peut perdre ou gagner dans n'importe quelle entreprise. Ici, il peut être convenu que l'aléa inondation est source de dommages.

La théorie économique offre des outils d'évaluation dont l'efficacité est largement corroborée par la disponibilité de l'information émanant de telle ou telle entité. Dans cette optique, le MEEDDAT propose la définition suivante : « l'enjeu correspond à la valeur totale (morale, financière, économique, sociale, psychologique...) attribuée à toute entité (prioritairement les personnes puis les biens, les activités, les

¹¹ Ledoux (2006), Cemagraef, BCECON, Egis eau (2007).

moyens, le patrimoine...) susceptible d'être affecté par un phénomène naturel et d'en subir des préjudices ou des dommages. ».¹²

Le milieu urbain est synonyme de concentration des enjeux. On ne se limite pas à ce que B. Ledoux définit comme « tout ce qui est présent dans la zone inondable », en considérant également ce qui relève de la zone inondable « étendue » (extension physique et géographique) et surtout, des implications de la crise dans la vie d'un territoire, c'est à dire tout ce qui est contrarié de près ou de loin par l'inondation.

Ce dernier aspect est fondamental. Souvent méconnu ou délaissé, il constitue cependant la partie immergée de l'iceberg. Nous essaierons donc de le faire émerger au cours de notre analyse. Dans un premier temps, nous proposerons une définition transversale des enjeux. Nous en établirons ensuite une typologie, susceptible d'éclairer notre analyse de la vulnérabilité.

4.3.1. De l'utilité de cerner et définir les enjeux

La connaissance des enjeux apparaît comme une étape primordiale dans une stratégie de réduction de la vulnérabilité. Plusieurs objectifs peuvent lui être assignés : le recensement des biens, populations et activités en zone inondable (permettant de hiérarchiser les priorités en matière de gestion du risque), la collecte d'information (pour l'évaluation des dommages...), la planification de la gestion de crise, et la comparaison de scénarios d'aménagement. Pour cerner l'étendue des enjeux concernés, nous présenterons les enjeux directement exposés dans la zone inondable, puis nous élargirons notre analyse à des territoires élargis (département...).

4.3.1.1. Les enjeux directs dans la zone inondable

Le terme enjeu se rapporte en premier lieu à tout ce que l'on trouve en zone inondable, implanté par l'homme. Les enjeux peuvent être classés par catégories d'acteurs :

- les particuliers : les personnes résidant et travaillant dans la zone inondable sont affectées directement par la montée des eaux. Sont aussi concernés les biens mobiliers et immobiliers (maison, mobilier, denrées, véhicules...).
- les activités : pour les entreprises ou le domaine agricole, les enjeux se concentrent sur le matériel, les stocks, les pertes d'exploitation et les difficultés financières associées.
- le secteur public : établissements publics (éducation, soin...) et infrastructures (patrimoine, routes...).
- les réseaux¹³: eau, électricité, télécommunications, déchets, routes, transports en commun, éclairage public, etc.¹⁴

4.3.1.2. Les enjeux indirects (vision dynamiques temporelle et spatiale)

Afin d'identifier au mieux les enjeux associés au risque d'inondation, il est nécessaire de se placer dans un contexte dynamique aussi bien temporel que spatial.

_ Spatial

L'inondation constitue physiquement une rupture entre les deux rives qui vient contrarier le fonctionnement des réseaux, les incidences en sont multiples. Pour les cerner, il faut avoir connaissance du contexte socioéconomique structurant les différentes fonctionnalités du territoire.¹⁵

¹² Ledoux (2006).

¹³ Les réseaux occupent une place primordiale dans la vie d'un territoire. La défaillance de réseaux urbains peut être un facteur d'aggravation des dommages, de difficulté d'intervention des secours, coupures d'eau potable, etc.

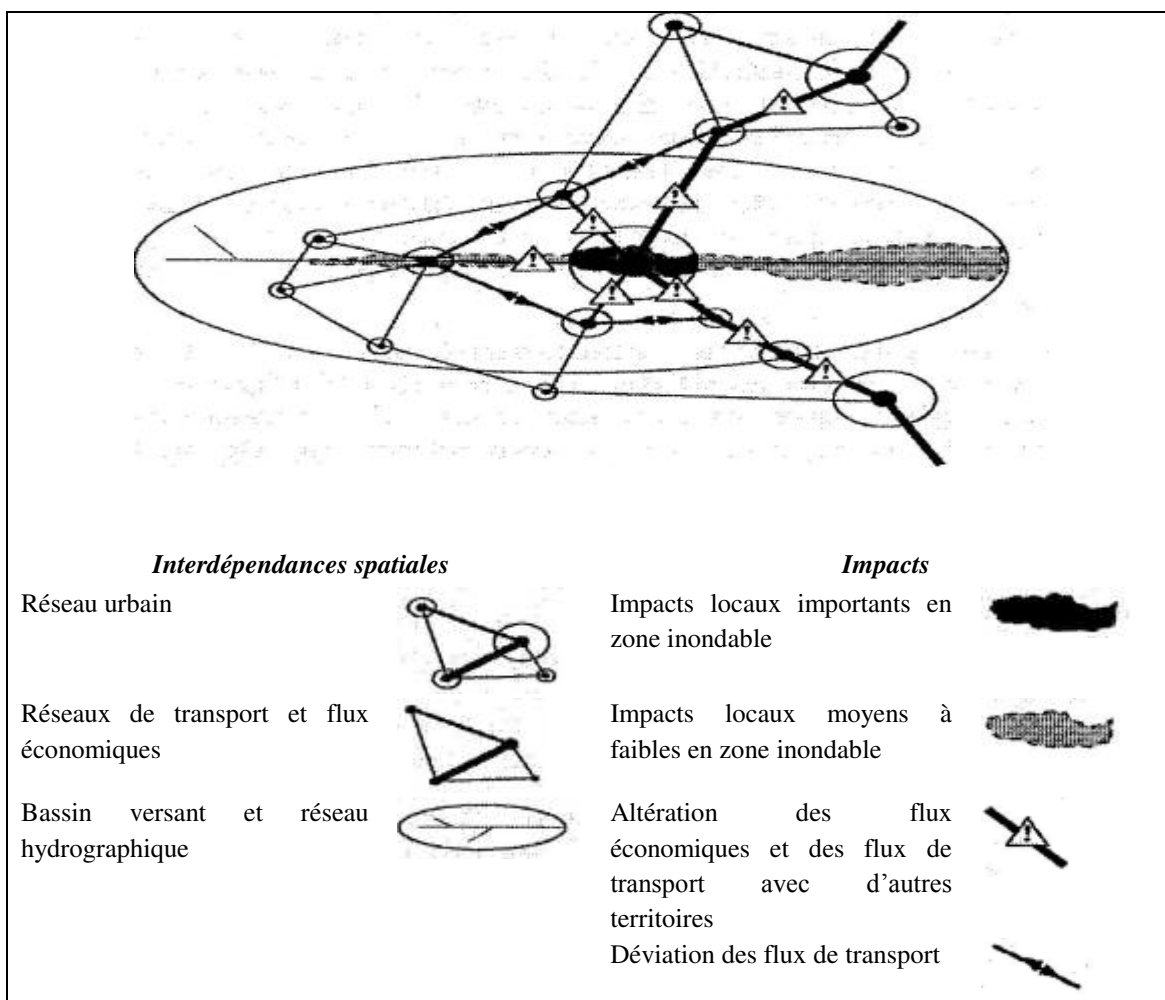
¹⁴ A titre d'exemple, nous pouvons présenter la problématique pour les réseaux d'eau potable. Le principal problème est l'arrêt de la production. Il peut résulter de la coupure de l'alimentation électrique ou de la mauvaise qualité de l'eau pompée suite à la submersion d'un puits (pollution, turbidité). Les captages, les postes de relèvement sont les points les plus vulnérables du réseau.

Cette analyse des enjeux doit être effectuée pour des territoires élargis.

_ Temporel

Il est nécessaire d'actualiser régulièrement le bilan d'une catastrophe. Certains enjeux non affectés pendant la crise peuvent l'être après, par le biais de différents vecteurs (vieillesse prématurée d'équipements, perte de clientèle...). L'actualisation permet également de prendre en compte les évolutions sociétales pour préparer la gestion de la prochaine crise. Cela est à rapprocher des « enjeux de développement » (B.Ledoux 2006), qui répondent plus à une vision prospective et aux orientations des politiques d'aménagements locales.

Figure 10. Indépendance des enjeux



Source : Lagnier 2006, cité dans Michel, M., *Analyse des enjeux et de la vulnérabilité au risque d'inondation du fleuve Charente : l'exemple des Saintes*, EPTB Charente, 2008, p. 37.

Ces différents niveaux d'analyse autorisent un recensement relativement complet des enjeux. Il convient maintenant de classer ces derniers de manière à traduire la vulnérabilité d'un territoire.

¹⁵ Pour un particulier, cela revient à considérer sa capacité à maintenir un train de vie normal, même s'il ne réside pas en zone inondable. Les problèmes se posent en terme d'accessibilité au lieu de travail, au réapprovisionnement, aux services publics... Pour une entreprise, il peut s'agir de son accessibilité vis à vis des fournisseurs, du personnel, des sous traitants et des clients. En ce qui concerne le secteur public, il faut que les secours puissent intervenir (et le matériel doit rester disponible) et les lieux d'hébergement doivent rester accessibles.

4.3.2. Une topographie des enjeux

4.3.2.1. Les enjeux participant à la gestion de crise

Il s'agit de toutes les structures susceptibles d'intervenir en période de crise :

- _ Au niveau sanitaire et santé : les hôpitaux, le SAMU et les cliniques,
- _ Au niveau des secours : pompiers, sécurité civile, Croix-Rouge,
- _ Au niveau de l'organisation pour la gestion de crise (centres de décision, sur le terrain : gendarmerie, police, DDE, entreprises de travaux publics), les associations de sinistrés.

4.3.2.2. Les enjeux nécessaires à la gestion post-crise

Toutes les structures pouvant aider à la reconstruction et au retour rapide à la vie normale :

- _ Les artisans du bâtiment : électriciens, plombiers, maçons, couvreurs, chauffagistes, vitriers, charpentiers, menuisiers, entreprises de BTP...
- _ Les entreprises de nettoyage
- _ Les gestionnaires de réseaux (déchets, électricité...)

4.3.2.3. Les enjeux aggravant les effets de la crise

Deux vecteurs d'aggravation de la crise : le vecteur social (entreprises viviers d'emplois, évacuation des personnes fragiles, des détenus...) et le vecteur sur-endommagement (pollution, matériaux dangereux...) :

- _ Sur-endommagement : industries et zones de stockage (SEVESO, installations classées), stations d'épuration, centres de recherche, stations service, réservoirs de gaz, dépôts pétroliers, activités agricoles, jardineries, industries phytosanitaires, parkings de grande capacité, casses, concessionnaires...
- _ Social : entreprises viviers d'emplois, maisons de repos, de retraite, hôpitaux, cliniques, unités de soins longue durée, centres d'hébergement et de réadaptation, centre pénitencier...

4.3.2.4. Les enjeux relatifs à la vie sociale) du territoire

Structures permettant aux personnes de continuer à vivre, même en période de crise :

- _ Approvisionnement alimentaire : commerces de proximité (épiceries, boulangeries, boucheries...), marchés, grandes surfaces...
- _ Santé de proximité : pharmacies, médecins et infirmiers libéraux...
- _ Enseignement : maternelles, primaire, collèges, lycées, supérieur
- _ Services sociaux (sécurité sociale, ANPE, juridiques (tribunaux, commissariats) et institutionnels (ministères, trésor public...), crèches, banques, postes.

Cette description des enjeux illustre bien toute la complexité du problème. En effet, il s'agit de comprendre ce qui fait la vie d'un territoire et de quelle manière cette dynamique peut être affectée par une catastrophe naturelle de type inondation.

Au total, la connaissance de l'aléa et des enjeux susceptibles d'être affectés nous ont permis de circonscrire le cadre d'analyse de la vulnérabilité. Il convient désormais d'aborder spécifiquement cette dernière, de manière plus opérationnelle en nous intéressant, au préalable, aux origines de cette notion.

4.4. Mesures d'intervention et de secours

Dès la constatation d'un danger majeur d'inondation, après appréciation de la gravité de la situation et des causes de l'événement, les autorités locales, régionales ou nationales décident des mesures de protection dictées par l'évolution probable. Il leur appartient de mettre en œuvre les mesures de précaution ou de protection planifiées, notamment: service d'alerte et d'alarme, bouclage du secteur menacé, information de la population sur le comportement à tenir, éventuellement ordonner l'évacuation de tout ou partie des habitants, des animaux domestiques et des biens culturels et des valeurs hors de la zone potentielle d'inondation.

La gestion des mesures de protection, de recherche, de sauvetage et d'assistance (approvisionnement, secours médicaux, évacuation) incombe aux autorités politiques et à leurs organes de conduite qui assurent l'engagement coordonné des moyens d'intervention civils et militaires.

Autant que possible, la collaboration sera recherchée avec les responsables de la sécurité des entreprises, les organisations de secours des communes voisines et les équipes de secours et d'aide d'urgence transfrontalières. Si les moyens nationaux se révèlent manifestement insuffisants, notamment en matière de protection de l'environnement (pollution par hydrocarbures ou produits toxiques), le gouvernement de l'Etat sinistré peut faire appel à l'aide internationale d'urgence en s'adressant au Département de l'aide humanitaire des Nations Unies (UNDHA).

4.5. Mesures de prévention et de précaution

Contrairement à d'autres phénomènes naturels (mouvements de terrain) ou à l'origine de certaines inondations (intempéries, tsunamis), les risques de crues des cours d'eau sont prévisibles dans leur intensité, mais il est difficile de connaître le moment où elles surviendront. Il est dès lors possible de déterminer les territoires menacés par l'inondation. Cette règle vaut par ailleurs pour les barrages hydrauliques dont les conséquences d'une rupture ou d'un débordement peuvent être calculées en considération du volume d'eau retenue, de la dénivellation et de la topographie de la vallée, ainsi que des capacités d'absorption des cours d'eau situés en aval.

Les mesures de prévention et de précaution à long terme consisteront essentiellement dans l'aménagement des zones menacées, par la mise en vigueur d'une législation exigeant l'appréciation systématique des dangers naturels potentiels, puis d'en tenir compte lors de la délimitation des secteurs constructibles et lors de l'octroi des permis de construire. Ces mesures préventives seront autant que possible complétées par une obligation de boisement et d'entretien des forêts et de la végétation, ainsi que par l'aménagement des cours d'eau en altitude. A cet effet, on ne peut que recommander la mise en œuvre d'un Institut hydrologique et géologique national chargé de l'étude de ces problèmes et de la coordination des mesures de prévention dans ce domaine.

Sur le plan communautaire, les mesures générales de prévention peuvent être résumées comme il suit:

- Observation permanente du risque d'inondation (mise en place d'un réseau de mesure du niveau des cours d'eau).

- Organisation d'une ou plusieurs centrales d'information et d'alarme-eau à l'intention de la population, notamment en ce qui concerne les barrages hydrauliques de grande capacité.

- Détermination des interdictions de construire, de séjour ou de circuler dans les zones menacées et mise en œuvre de systèmes de protection spécifiques (p. ex.: signaux d'alarme).

- Edification de constructions et d'aménagements destinés à éviter ou limiter les inondations, ainsi que protéger la population.

- Planification de l'évacuation des populations éventuellement menacées et information sur les règles de comportement en cas d'inondation.

- Constitution d'organes de conduite et de moyens d'intervention bien équipés et instruits.
- Abaissement préventif des retenues d'eau des barrages hydrauliques et augmentation du débit des cours d'eau (écluses).

La prévention demeure la solution la plus efficace pour se prémunir contre le risque d'inondation. Le caractère prévisible des crues et l'inertie du phénomène permettent en effet de se préparer à gérer la période de crise (et son aspect récurrent invite à le faire avant qu'il y ait alerte...).

Par ailleurs, d'autres mesures sont nécessaires telles que :

- _ L'amélioration de la connaissance du risque « inondation » ;
- _ La diminution et le ralentissement du ruissellement des eaux sur les bassins versants ;
- _ L'aménagement des lits des rivières et les plaines alluviales
- _ La diminution de la vulnérabilité à l'inondation en zones inondables.

4.6. L'utilisation des réseaux d'alerte pour l'étude des crues brutales

Le climat aride qui est celui de la majeure partie de la Tunisie se traduit sur le réseau hydrographique par des régimes d'écoulement particulièrement irréguliers caractérisés par des étiages très bas et des crues soudaines et violentes. Il en résulte, outre les difficultés de mesure de ces crues, des effets dévastateurs dans les plaines côtières et les zones basses que traversent les différents oueds.

De là est venue la nécessité de la création parallèlement au réseau hydrométrique d'un réseau d'annonce de crues en vue d'une part d'arriver au bon moment aux différentes stations de jaugeage, et par ailleurs de prévenir à temps les autorités civiles pour éviter les dégâts et pertes en vies humaines. Bien entendu le réseau d'annonce de crues est toujours en étroite relation avec le Service de Contrôle des Barrages.

Les crues de septembre -octobre 1969 et mars et décembre 1973 ont prouvé l'efficacité d'un tel dispositif d'annonce de crues.

On propose notamment de :

- _ Multiplier le nombre de postes secondaires et de stations secondaires notamment dans les régions côtières et au sud du pays.
- _ Renforcer le dispositif de communications par la généralisation des postes radio sur tout le Réseau d'Annonce de Crues.
- _ Coordonner nos activités avec la Météorologie Nationale qui dispose d'un détecteur radar pour les prévisions pluviométriques.
- _ Coopérer avec l'Algérie en ce qui concerne la partie amont de la Medjerda et du Mellègue, Oueds à caractère international.

4.7. Principes de comportement de la population

4.7.1 Lors d'un danger potentiel d'inondation

- _ Eviter autant que possible de vivre dans une zone inondable.
- _ Se conformer aux prescriptions concernant l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement, plus particulièrement en matière d'interdictions de construire et des mesures techniques de sécurité visant les installations, substances et déchets susceptibles de causer de graves dommages à l'homme et à l'environnement en cas de catastrophe.

_ Déterminer les niveaux supérieurs atteints par les inondations précédentes ainsi que la rapidité de montée des eaux. S'informer des mesures de protection ponctuelles à prendre, plus particulièrement se conformer aux prescriptions spécifiques de construction des immeubles et des installations.

_ Connaître les signaux d'alarme et les modalités de comportement, notamment les zones et cheminements d'évacuation.

_ Disposer, en permanence d'un bagage de secours pour la famille et de réserves d'approvisionnement pour la durée probable de la situation de nécessité.

_ Planifier les travaux de renforcement de l'immeuble et des bâtiments annexes, ainsi que pour la protection des installations vitales en cas d'inondation (électricité, gaz, eau, chauffage, évacuation des eaux usées, etc.).

_ Aménager l'installation intérieure de l'habitation en tenant compte des risques d'inondation plus particulièrement en disposant le mobilier et les biens de valeur ou vulnérables à l'eau aux étages supérieurs, en y conservant des réserves de nourriture, d'eau potable, une radio portative et une lampe de secours (ainsi que les matières polluantes).

_ Prévoir une réserve de matériaux utiles en cas d'inondation, p. ex.: briques, plâtre, ciment, sable, sacs de jute ou plastique, tissus, cordes, outillage, etc.

4.7.2. During a disaster

_ Garder son calme.

_ Alarmer les voisins et aider particulièrement les handicapés, les enfants et les vieillards.
-Se renseigner sur le danger et son évolution, écouter la radio, mais ne pas utiliser inutilement le téléphone (ne pas surcharger le réseau).

_ Couper l'électricité, le gaz et le chauffage central; si le temps est suffisant, transporter les objets de valeur ou délicats, ainsi que les produits polluants aux étages supérieurs, dans la partie la plus résistante de l'immeuble.

_ Exécuter les mesures planifiées pour la protection ponctuelle des personnes et de l'environnement (si possible, désentraver et libérer le bétail enfermé des étables).

_ S'il faut quitter son domicile, fermer le logement à clé et gagner à pied la zone d'évacuation par le cheminement prescrit par l'autorité (spécialement en cas de rupture de barrage hydraulique).

_ N'emporter que le strict nécessaire (bagage de secours, papiers d'identité et personnels, médicaments).

_ Ne traverser ni à pied, ni en voiture les zones inondées. Au besoin, s'assurer par des mains courantes (cordes, câbles).

_ Collaborer avec les organes officiels de sauvetage ainsi qu'avec les services d'assistance aux sans-abri.

4.7.3. Après l'inondation

_ Rester calme (Outter contre la panique).

_ Vérifier s'il y a des blessés dans le voisinage et si possible leur porter secours.

_ Ecouter la radio, mais ne pas se servir inutilement du téléphone.

_ Collaborer avec les organes officiels de sauvetage et les services d'assistance aux personnes sinistrées.

_ Se mettre à disposition pour collaborer aux travaux de réhabilitation.

5. Conclusion

Caractériser, et surtout quantifier l'influence anthropique sur le régime des eaux en général, et sur les crues et inondations en particulier, est un des enjeux de l'hydrologie, sur lequel nous progressons lentement, la complexité du problème étant majeure. Les questionnements scientifiques doivent répondre également à une demande sociale forte et pressante, nos sociétés modernes sont de plus en plus averses aux risques naturels, et admettent mal une certaine impuissance des aménagements face aux catastrophes naturelles.

Les inondations d'Oued Medjerda sont susceptibles de perturber l'équilibre et le dynamisme du territoire sous des aspects environnementaux, de dynamique des populations, des activités économiques, à court, moyen et long terme. Les inondations font partie des risques naturels qu'il est impossible d'endiguer totalement. On ne peut que s'y préparer. L'implantation des activités humaines dans le lit majeur de l'Oued est à la fois facteur d'aggravation de l'aléa, de création de nouveaux enjeux, de sources de dommages supportés par la collectivité. Le changement climatique peut lui aussi avoir une influence négative en ce qui concerne la fréquence et l'intensité de ce risque. Sur cette base, notre diagnostic de la vulnérabilité nous a permis de prioriser les axes d'intervention suivants : la sensibilisation, la prévention et la préparation à la gestion de crise et post-crise. D'ailleurs, beaucoup d'études de vulnérabilité s'accordent à dire que ces trois axes d'intervention sont les plus rentables. Au regard des coûts imputables aux inondations passées, cet argument économique et politique doit conduire à privilégier ce genre de démarche.

Par ailleurs, améliorer la gestion de crise en cas d'inondation passe essentiellement par un renforcement de la fonction de régulation des inondations des réservoirs, un renforcement du système actuel de prévision des inondations et d'alerte et finalement par une amélioration du système d'évacuation et de lutte contre les inondations. Les approches structurelles de gestion des risques par la maîtrise de l'aléa ont montré leurs limites. La réduction de la vulnérabilité semble aujourd'hui une voie complémentaire indispensable à la gestion des risques pour un territoire. L'attractivité économique est une cible prioritaire

6. Bibliographie

Arnal C., et Mazure, P., « *L'évaluation des impacts économiques et financiers de la catastrophe de Nîmes d'octobre 1988* », dans Hubert G., Ledoux B., Le coût du risque... L'évaluation des impacts socioéconomiques des inondations, Paris, Presses de l'ENPC, pp. 155-122, 1999.

Ballais J.L., et al., « *contribution de l'hydrogéomorphologie à l'évaluation du risque d'inondation : le cas du Midi méditerranéen français* », C. R. Géosciences 337, pp : 1120-1130, 2005.

Barroca B., et al, *Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge Aval*, Septième rencontre de Théo Quant, Janvier 2005.

BCEOM, LCHF, BRGM, « *Bilan synthétique des problèmes posés par les inondations dans le bassin de la Charente et de ses affluents – 1 – Description de l'état actuel* », Document Ministère de la Recherche et de la Technologie, Délégation aux risques majeurs, 1985.

BCEOM, *Lutte contre les inondations : méthode sommaire d'évaluation des critères économiques valant instruction pour la justification des projets*, Paris, Ministère de l'Environnement et du cadre de vie, DPPR, service central de l'hydrologie et de l'environnement, 1980, 28 p. + annexes.

Blong, R., « *A review of damage intensity scale, Natural hazards* », 29, pp. 57-76, 2003.

Cemagref, *Le ralentissement dynamique pour la prévention des inondations*, Guide, Septembre 2004.

D'Ercole R., « *Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse* », Revue de géographie alpine, Grenoble, tome 82, n°4, pp. 87-96, 1994.

Daoud, A. et al., *Couplage d'un évacuateur vanne avec une tranche de laminage, cas du barrage de Sidi Salem, en Tunisie*, Colloque CFBR-SHF: «Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues», 20-21 janvier 2009, Lyon.

Dartau B., « *L'étude économique des crues du bassin de l'Orb de décembre 1995 et janvier 1996* », dans Hubert G., Ledoux B., *Le coût du risque... L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*, Paris, Presses de l'ENPC, pp. 111-114, 1999.

DIREN Languedoc-Roussillon, « *Recommandations régionales pour la prescription de mesures de la vulnérabilité des biens existant au risque d'inondation dans les Plans de Prévention des Risques en région Languedoc Roussillon* », les études environnementales 07, CETE Méditerranée, juin 2006.

EPTB Loire, *Etude préalable à la réduction de la vulnérabilité des réseaux liée aux inondations en Loire Moyenne. Résultats, bilan, perspective*, étude Sogreah, Asconit, mars 2006.

Flax Lisa K. et al., « *Community vulnerability assessment tool methodology* », *Natural Hazard Review*, volume 3, nov. 2002.

Foster H.D., « *Assessing disaster magnitude: a social science approach*, *Professional Geographer* », 28 (3), pp. 241-247, 1976.

Graillet D., et al., *Analyse multicritère spatiale pour l'identification de la vulnérabilité aux inondations*, Ecole Normale Supérieure des Mines de Saint Etienne, 12 p., 2001.

Hubert G., Ledoux B., *Le coût du risque... L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1999, 232 p.

Laganier R., *Territoires, inondations et figures du risque. La prévention au prisme de l'évaluation*, Editions l'Harmattan, Collection linéaires Géographique, 2006, 257 p.

Ledoux B., *La gestion du risque d'inondation*, Editions Tec & Doc – Lavoisier, Londres-Paris-New-York, 2006, 770p.

Lefort, E., *Évaluation des vulnérabilités aux inondations dans le cadre de la gestion opérationnelle des risques et du développement local (application au bassin versant de l'Orge aval)*, Mémoire de DEA Sciences et Techniques de l'Environnement, ENPC-ENGREF-UPVM, 2004, 43 p. plus annexes.

Leone F. Aste J.P., et Leroi E., « *L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain* », *Revue de géographie alpine*, Grenoble, tome 84, n°1, pp. 35-46, 1996.

Oueslati A., et al., *La basse vallée de Oued Medjerda et la lagune de Ghar El Melh*, WADI Project, 5th International meeting, Tunis 6-9 December 2006.

Parker D., « *Floodplain development policy in England and Wales* », *Applied Geography*, vol. 15, n°4, pp. 341-363, 1995.

Parker D., Green C., Thompson P., *Urban flood protection benefits – A project appraisal guide*, Gower technical press, 1987, 284 p.

Penning-Rowsell e., Chatterton J., *The benefits of flood alleviation – A manual of assessment techniques*, Gower technical press, 1977, 297 p.

Penning-Rowsell, E., « *Evaluation of the socio-economic impacts of flooding – the situation in England and Wales* », dans HUBERT G., LEDOUX B., *Le coût du risque... L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*, Paris, Presses de l'ENPC, pp. 177-189, 1999.

Saint Michel, M., *Analyse des enjeux et de la vulnérabilité au risque d'inondation du fleuve Charente : l'exemple des Saintes*, EPTB Charente, 2008.

Torterotot J. P., *Le coût des dommages dus aux inondations : estimations et analyse des incertitudes*, Mémoire spécialité science et technique de l'environnement, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1993.

White G., « *Flood hazard in the United States: a research reassessment*, university of Colorado », Institute of behavioural sciences, Boulder, 1975.

Wood Nathan J. et al., « *Vulnerability assessment of a port and harbour community to earthquake and tsunamis hazards: integrated technical expert and stakeholder input* », *Natural Hazard Review*, volume 3, novembre 2002.