Ann. Rech. For. Algérie 2021, 11(02):16-30
© Institut National de Recherche Forestière

Article de synthèse

Reçu: 11 Mai 2021/Accepté: 06 Juin2021

Aménagements antiérosifs susceptibles de réduire l'intensité des crues dans le bassin versant de Ghardaïa en Algérie

M. Arabi[1]* ., L. Makhlouf[2]., A. Sadji[2]., A. Brague[3]., D. Benlabiod[3]., A. Hamoudi[2]., K. Tolba[2]., F. Bensaâda-Hamouche[2]

1 Station INRF de recherche pour la GCES BP 193 Ain Dheb-26001- Médéa-Algérie.
2 Institut National de la Recherche Forestière- (INRF) B.P. 37 Chéraga, Alger.
3 Station INRF de Djelfa, Algérie.

*** Auteur correspondant :** almouraddz@yahoo.fr

ملخص

أدت الكوارث التي سببتها فيضانات أكتوبر 2008 إلى انفعال السكان الجزائريين ولفت انتباه السلطات العامة نحو ضرورة حماية المدن الخمسة للمزاب. فتم تعبئة مجموعة متعددة التخصصات من وزارة الفلاحة بما في ذلك المعهد الوطني للبحث في علوم الغابات (INRF) في الميدان للمعاينة و إعادة تأهيل المناطق المتضررة. يأتي هذا المنشور لتشخيص الفيضانات وعرض أعمال مكافحة الانجراف التي من الأرجح أن تحمي غرداية والتجمعات السكنية المحيطة بها من فيضانات وادي مزاب. حيث أدت السيول الجارفة المرتبطة بأحداث هطول أمطار استثنائية إلى تدفقات المياه المفاجئة في مجاري المياه. مما تسبب في أضرار جسيمة في منطقة تتميز من جهة، بالتمدد الحضري الغير قانوني خلال السنوات الأخيرة، و الذي تم على طول ضفتي الوديان. كما تتميز من جهة أخرى بالتنمية السريعة للزراعة الشبه حضرية. فمن أجل الحد من الفيضانات ، يجب علينا تحسين النظام المائي الزراعي الحالي ، و غرس النباتات في الأحواض المائية حيثما أمكن ذلك، وكذا مكافحة تدفقات المواد الصلبة في السيول عن طريق انجراف المنحدرات. في هذا الإطار هناك مجموعة متنوعة من الترتيبات التي تهدف إلى خفض من معدلات تدفق الذروة و الحد من نقل المواد الصلبة في الخزانات وللتحكم في انجراف المنحدرات يمكن استعمال. يجدر الاشارة إلى أن كل هذه التدابير الميكانيكية والبيولوجية الخاصة بالحماية تأخذ في الاعتبار الأهداف البيئية لصيانة و تعزيز المجاري المائية ومناطقها الغرينية في حوض مياه المزاب.

الكلمات الأساسية : الزراعة الشبه الحضرية , الجزائر, التهيئة لمكافحة الانجراف , الفيضانات , المدن الخمسة للمزاب.

Abstract

The disasters caused during the floods in October 2008 have moved the Algerian population and drew the attention of government on the need to protect the people living in the Ghardaia. The National Institute of Forest Research (INRF) was one of the organizations that the Ministry of Agriculture has mobilized in the field to propose a plan of actions. This paper establishes the diagnosis of floods and presents the work of structures against erosion likely to protect Ghardaia and its cities against floods of the M'Zab River. Torrential floods linked to exceptional rainfall events cause sudden outbursts of rivers causing high damage. The region is characterized by uncontrolled urbanization that has spread along the banks of the river, which develops a peri-urban agriculture. To reduce flooding, we must improve the existing system hydro-agricultural, reforest catchments where possible and fight against erosion. In this context, a set of actions aimed at clipping the peak flows and reduce sediment transport in reservoirs and control the erosion on hillslopes have been proposed. These measures biological and mechanical protection take account of ecological preservation and improvement of rivers and their alluvial areas in M'Zab catchment.
Key words: Algeria, Antierosive fight, Floods, Ghardaia towns , Peri-urban agriculture.

Résumé

Les désastres occasionnés lors des inondations du mois d'octobre de l'année 2008 ont ému la population algérienne et appelé l'attention des pouvoirs publics sur la nécessité de protéger la pentapole mozabite. Une équipe pluridisciplinaire du ministère de l'agriculture dont celle de l'Institut National de Recherche Forestière (INRF) a été mobilisée sur le terrain pour dresser le constat et réhabiliter les zones sinistrées. Cette communication établit le diagnostic des inondations et présente les travaux antiérosifs susceptibles de mettre Ghardaïa et les agglomérations environnantes à l'abri des crues de l'Oued M'Zab. Les crues torrentielles liées à des épisodes pluvieux exceptionnels ont entraîné des débordements soudains de cours d'eau causant d'importants dégâts. La région se caractérise par une urbanisation sauvage qui s'est étalée, ces dernières années, le long des berges et le développement accéléré d'une agriculture périurbaine. Pour réduire les inondations, il faut améliorer le dispositif hydro-agricole existant, enherber les bassins versants là où c'est possible et lutter contre l'érosion torrentielle. Dans ce cadre, une panoplie d'aménagements visant à écrêter les débits de pointes et à limiter les transports solides dans les retenues et à contrôler l'érosion sur les versants a été proposée. Ces mesures mécaniques et biologiques de protection tiennent compte à la fois des objectifs écologiques de sauvegarde et d'amélioration des cours d'eau et de leurs zones alluviales dans le bassin versant du M'Zab.
Mots clés : Agriculture périurbaine , Algérie , Aménagements antiérosifs , Inondations , Pentapole mozabite.

1. Introduction

L'année 2008 a été une année exceptionnelle en inondations. Plusieurs régions du pays ont été touchées et ont subi des dommages importants. La wilaya de Ghardaïa (Figure 1) a connu au début du mois d'octobre de l'année 2008 les inondations les plus meurtrières de son histoire (Les Observateurs, 2008). Certaines digues séculaires n'ayant pu résister à l'immense pression des eaux ont rompu à plusieurs endroits, entraînant la submersion des villes et de vastes territoires situés sur l'oued M'Zab. Le bilan a été très lourd : quarante-trois morts et des dommages atteignant 5 milliards de DA (0,05 Milliards de $) selon le directeur de l'hydraulique de la wilaya de Ghardaia (Siouane, 2018). Dans un mouvement de solidarité sans précédent, la population s'est fortement mobilisée pour apporter aides et secours aux personnes sinistrées. Si l'événement pluvieux de fréquence rare est le principal facteur d'explication du phénomène, il apparait clairement que la morphologie du bassin, en particulier le profil en long très faible de l'oued, et l'urbanisation sauvage de la vallée ont fortement aggravé et amplifié la situation (El Watan, 2008).

Depuis les inondations meurtrières de Bab El Oued (un quartier d'Alger) en novembre 2001 (Bensaâda-Hamouche & Arabi, 2021), les crues et

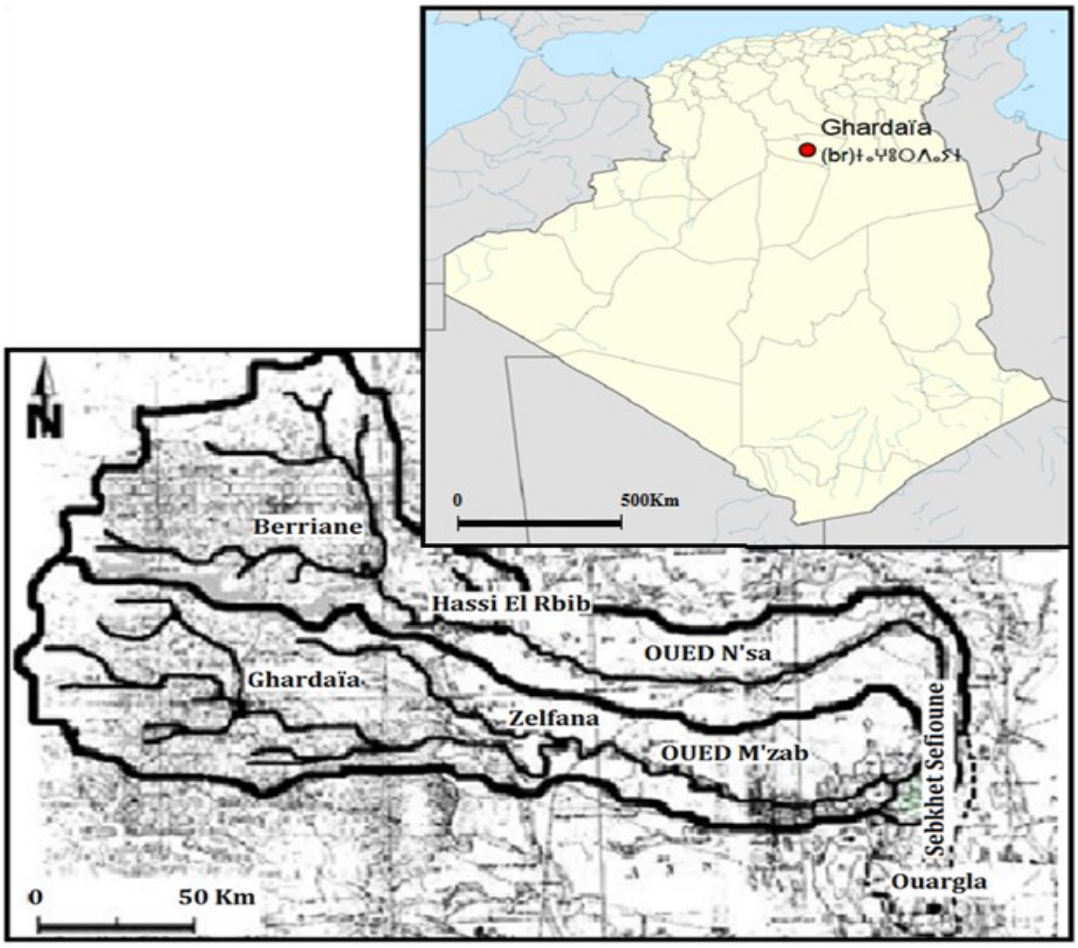

Figure 1. Localisation et Hydrographique la zone d'étude (Ouled Sidi Amor, 2016).

les dommages dus aux inondations restent d'actualité (ISDR, 2005 ; Djebali ,2015). Dans de nombreuses villes, la pression systématique des usages sur les zones inondables a sensiblement aggravé le risque d'inondation (Beloulou, 2008). Ce tableau est encore assombri par de récentes études sur l'impact des changements climatiques qui montrent que le risque général d'inondation va vraisemblablement augmenter au cours du siècle prochain (PNUD, 2003 ; Armin, 2005). C'est pourquoi il a été décidé par l'équipe ministérielle de renforcer la protection existante autour de Ghardaïa en adoptant un plan d'actions. Ce plan qui comporte des aménagements hydro-agricoles antiérosifs de conservation de l'eau et des sols vise les objectifs suivants :

- la réduction et la maîtrise des apports en crues,
- la diminution du ruissellement sur les versants,
- l'augmentation de la rétention des eaux en particulier sur les affluents de l'oued M'Zab,
- le développement agricole durable,
- la réduction des apports en pollutions directes.

Pour atteindre ces objectifs, il est indispensable que tous les acteurs engagés dans la protection contre les inondations coopèrent étroitement. L'approche sectorielle privilégiée jusqu'à présent doit faire place à une approche multisectorielle et à des actions globales à l'échelon local, régional et national. Le plan d'actions devra aussi être mis en œuvre sous forme d'un programme par étapes étalés dans le temps. Ceci permet, d'une part, de procéder au suivi des mesures réalisées et d'autre part, à préparer les actions nécessaires pour l'étape suivante et enfin, d'en assurer le financement.

2. Diagnostic : un milieu fragile perturbé

Le problème des inondations dans la région de Ghardaïa s'explique par un milieu naturel favorable et une situation socio-économique complexe. La région est située sur un grand plateau subhorizontal (Hamada), vaste étendue pierreuse d'altitude variant entre 300 et 800 mètres où affleure une roche de couleur noirâtre. Le paysage comporte une série de buttes découpées par l'érosion quaternaire, des versants plus ou moins raides (12 à 60 % de pentes) et des vallées larges et profondes où coulent par intermittence des oueds dont les principaux sont : le Zegrir, le N'sa, le M'Zab, alias Labiod et le Metlili (Tableau 1). D'autres appellations figurent également dans la littérature (Figure 2). D'une longueur de 1124 km, le réseau hydrographique structure la dorsale mozabite sur 17300 km2 (Tableau 1). Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées sur une épaisseur de 20 à 35 m (ANRH, 1986). Ces alluvions abritent partout dans les vallées des nappes phréatiques où l'action karstique semble devoir jouer un rôle non négligeable dans la recharge des aquifères (Behlouli, 2008 ; Benaoudj et al. 2014). Au cours des averses du mois d'octobre 2008, tous ces cours d'eau ont coulé en abondance provoquant partout des inondations catastrophiques.

En surface, les sols pierreux (lithosols et régosols) issus de roches calcaires turoniennes sont propices au ruissellement (BNEDER, 2000 ; Roose et al. 2001 ; Côte, 2008). Dans cette zone aride, le couvert végétal inférieur à 1 % n'a pas d'influence sur les écoulements. On rencontre (Dubost, 2002) : *Aristida pungens (drin), Retama retam (Rtem) Calligonum comosum, Ephedra allata, Urginea noctiflora, Erodium glaucophyllum* , dans les Ergs ; *Haloxylon scoparium, Astragalus gombo, Caparis spinosa, Zilla macroptera* , dans les Regs *et Phoenix dactillifera, Pistachia atlantica, Zyziphus lotus, Retama retam, Tamarix articulata, Populus euphratica,* dans les daïas où s'est concentrée une certaine humidité résultant des dernières précipitations. Dans les bas-fonds et en bordure des lits d'oueds, on y observe *des Eucalyptus*, *Populus* et surtout *Tamarix efolia*

Tableau 1. Principaux cours d'eau de Ghardaïa (Dubief, 1953).

Bassins versants	Superficies (Km^2)	Longueur de l'Oued (km)	Nombres de crues importantes
Oued Metlili	400	214	28 (de 1921-1950)
Oued M'Zab	5000	320	21 (de 1938-1951)
Oued N'Sa	7800	320	26 à 29 (de 1938-951)
Oued Zegrir	4100	270	33 (de 1921- 1950)
Total	**17300**	**1124**	**108**

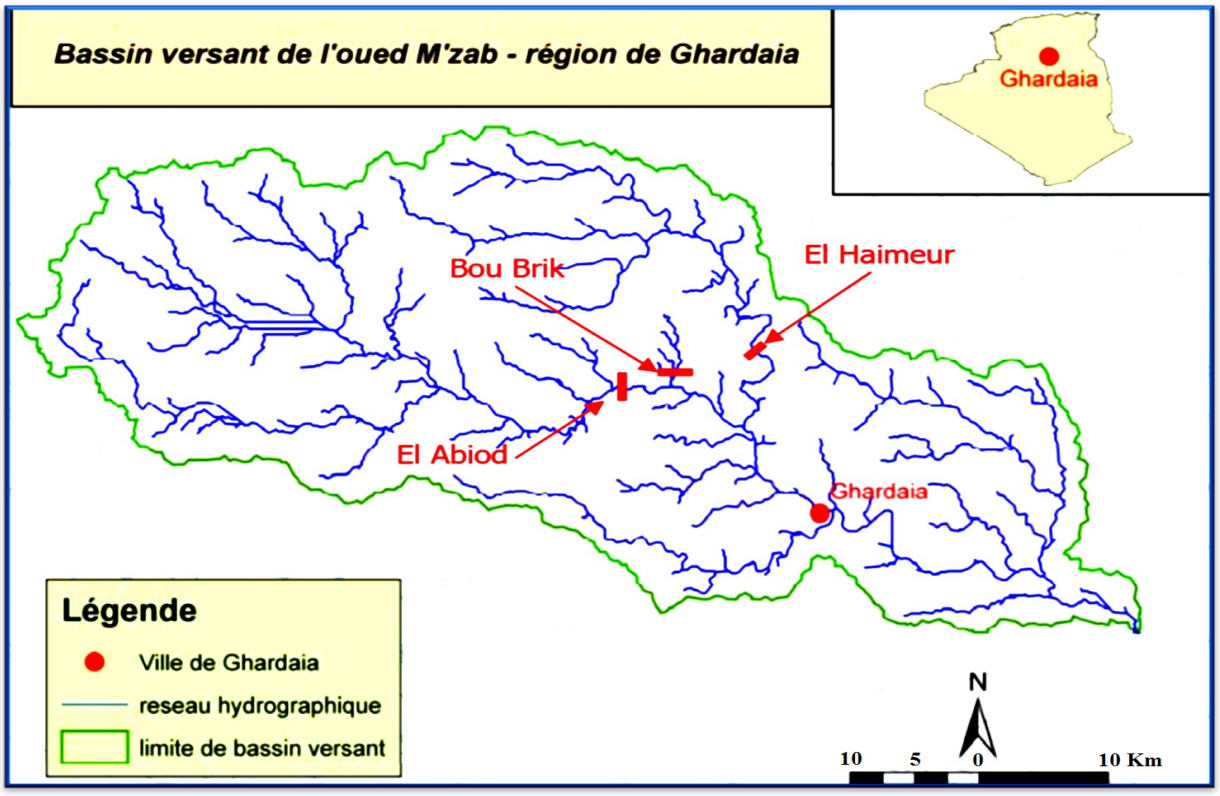

Figure 2. Bassin versant du M'Zabet ses affluents (Djellouli-Tabet & Sioussiou, 2009).

qui tapissent entièrement le fond de certains lits.

Le climat présente une saison très chaude et sèche et des écarts importants de températures entre le jour et la nuit. Les tempêtes de sables et vents violents ont un impact négatif sur l'écosystème. La moyenne annuelle des pluies ne dépasse guère les 80 mm/an. Le régime saharien constitue un handicap majeur au développement de l'agriculture, d'où la nécessité de recourir à l'irrigation.

Les oasis de Ghardaïa constituent un espace agricole soumis à une forte pression démographique. L'évolution rapide de la population a entraîné un démembrement excessif des parcelles agricoles. Les parcelles mesurant un hectare d'un seul tenant sont rares (BNEDER, 1980). En plus, l'extension des zones urbaines au-delà des limites des périmètres a profondément transformé le paysage agricole. Il est plus juste de parler d'agriculture périurbaine où se mêle à la fois des lopins agricoles et constructions en dur.

L'agroécosystème oasien se caractérise essentiellement par la culture du palmier dattier auquel sont associé d'autres cultures : maraîchères, arboricoles ou fourragères pour former des jardins multi étagés (multilayer tree gardens). Les parcelles sont souvent protégées par des haies vives à forte valeur ajoutée (surtout oliviers et grenadiers). Jadis, les cultures étaient destinées à la satisfaction des besoins familiaux. De nos jours, ce type d'agriculture périurbain continue de jouer un rôle crucial dans l'approvisionnement en produits frais des citadins mozabites, tout en procurant des revenus réguliers aux producteurs, et en recyclant une partie des déchets urbains (fumiers, compost). Avec l'ouverture du marché, il commence à connaître d'autres débouchés, notamment à l'exportation. Cependant, la durabilité économique et écologique des systèmes de production est mise en danger par des usages concurrents du foncier, des problèmes de qualité sanitaire et de pollution, ainsi que par les faiblesses de l'organisation des producteurs dans les circuits de commercialisation (Côte, 2008). Les pratiques agricoles favorisent-elles les inondations ? Il est vrai que le démembrement en-

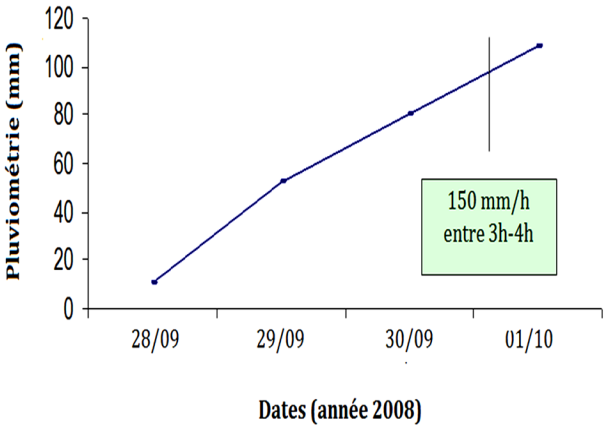

Figure 3. Cumul des pluies à Ghardaïa entre le 28/09 et 1/10/08.

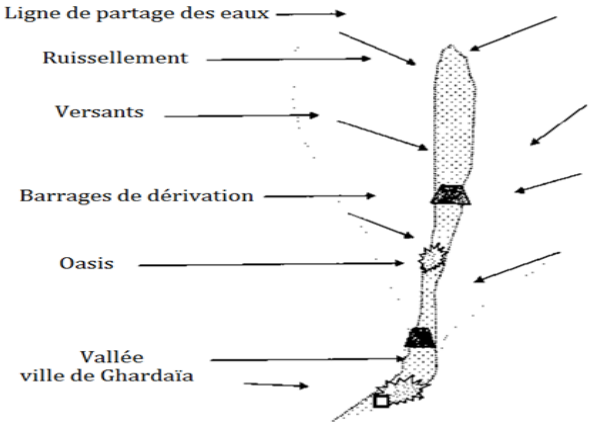

Figure 4. Croquis illustrant le fonctionnement de la production de ruissellement dans la vallée de Ghardaïa

traîne un morcellement poussé de la taille des parcelles, la disparition de nombreux aménagements ayant une fonction hydraulique de régulation, tels que les seguias, les fossés, les haies et les mares, la suppression des ruptures de pentes destinées à freiner l'écoulement des eaux et à favoriser les dépôts de sédiments (par exemple les talus), ou encore l'augmentation de la distance de parcours des eaux qui accroit le risque de cisaillement en provoquant le ravinement.

3. Les Risques

Malgré la faiblesse des pluies, Ghardaïa a subi en début du mois d'octobre de l'année 2008 des pluies automnales abondantes à caractère orageux. Selon les relevés météorologiques de l'ANRH (2008), le cumul de trois jours de pluies (du 28/ au 30/09/08) a atteint 80 mm avec un pic d'intensité de 150 mm/h en 1 heure entre 3 et 4 heures (Figure 3). Ces pluies violentes ont engendré une crue exceptionnelle de 1250 m^3/s, supérieure à celle de 1991 (1120 m^3/s), qui a gonflé les cours d'eau et provoqué des dégâts importants.

L'étude fréquentielle des crues (Dubief, 1953) montre que ces oueds ont connu par le passé d'importantes crues parfois plusieurs crues consécutives la même année (Tableau 2). On relève sur les annales météorologiques de Ghardaïa que 33 crues importantes en 30 ans (période 1921-1950) avec parfois des fréquences de 5 mois de crues en 1 an ont affecté l'oued Zegrir, 26 à 29 crues importantes le N'sa pour la même période et 21 crues importantes le M'Zab entre 1938 et 1951 (13 ans). Le bassin versant de Ghardaïa est constitué presque uniquement de calcaires peu perméables (ANRH, 2005). La topographie des versants y est prononcée (Le Houerou, 1992). Dès lors, le ruissellement est élevé et la quasi-totalité de l'eau de pluie qui n'est pas reprise par l'évaporation rejoint les cours d'eau. L'écoulement des eaux est d'autant plus difficile que la pente de la vallée est faible (0,33 %) et le réseau des cours d'eau est complexe (Figures 2

Tableau 2. Fréquences des crues importantes (Dubief, 1953).

Bassins versants	Temps	Fréquences des crues importantes par mois												
		J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	Total
Oued Zegrir	Pour 29 ans (1921-1950)	1	1	3	5	5	2	2	2	3	5	2	2	33
	Pour 100 ans	3	3	10	17	17	7	7	7	13	17	7	7	115
Oued N'sa	Pour 29 ans (1921-1950)	1	1	2	4	5	1	0	2	5	1	2	2	26
	Pour 100 ans	3	3	7	13	17	3	0	7	17	3	7	7	87
Oued M'zab	Pour 29 ans (1921-1950)	1	1	3	3	3	0	0	0	3	2	3	2	21
	Pour 100 ans	3	3	10	10	10	0	0	0	10	7	10	7	73
Oued Metlili	Pour 29 ans (1921-1950)	1	0	2	6	5	2	0	1	4	4	2	1	28
	Pour 100 ans	3	0	7	20	17	7	0	3	13	13	7	3	93

et 4). L'accumulation des pluies pendant ces trois jours consécutifs a entraîné une hausse exceptionnelle du niveau du lit. Selon certains témoignages (El Watan, 2008 ; Le Monde, 2008), les oueds de la région ont brutalement gonflé et le niveau de l'eau a pu atteindre par endroits 8 à 10 m de haut à la ville de Ghardaïa. Des quartiers entiers ont ainsi été inondés et des parcelles fortement ravagées. Les traces sur les murs des maisons et les dégâts matériels témoignent de l'ampleur du désastre (Figures 5 à 8).

La lenteur de la décrue résulte ensuite de la perturbation des écoulements au niveau des villes et des plaines alluviales barrées obliquement par une série de digues (Figure 9).

Ces digues de dérivation, appelées habas (du verbe arabe arrêter), sont au nombre de cinq : Djedid, Salem ou Aissa, Outchour, Laâdhira et Bounoura auxquels il faudra ajouter trois autres barrages en construction : Boubrik, Haïmer et Labiod. Ce dernier est en cours d'achèvement avec une capacité de réserve de 27 millions de m^3. L'ensemble des barrages, érigés d'amont en aval, constitue un système hydraulique sensé protéger la pentapole du M'Zab des inondations assez fréquentes dans la région. Décrit par de nombreux auteurs (Dubost,

Figure 5. Quartier Baba Saad dans les Ksour englouti par les eaux du M'Zab.

Figure 7. La ville est complètement cernée par les eaux.

Figure 6. Parcelles agricoles fortement ravagées par les inondations.

Figure 8. L'artère principale de la ville dévorée par le sapement de berges de l'oued M'Zab.

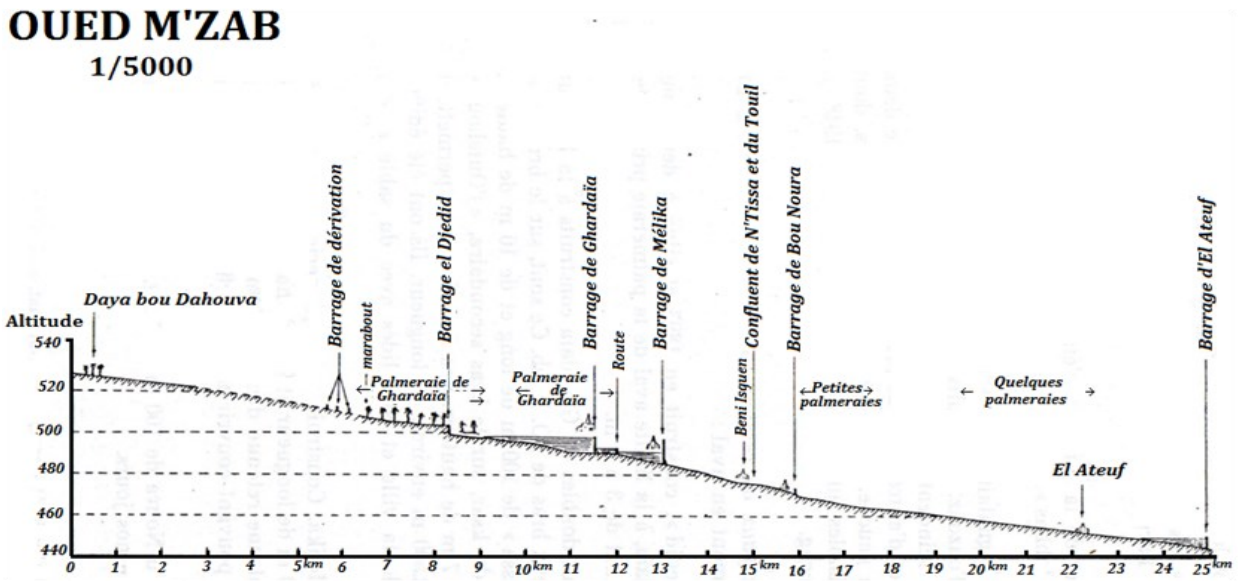

Figure 9. Profil en long de l'oued M'Zab (Dubief, 1953)

2002 ; Behlouli, 2008 ; Remini, 2020), cet ingénieux système, que les Mozabites ont mis au point il y a de cela plusieurs siècles, remplit trois fonctions :

1. Une fonction de régulation des débits de pointe : lorsque les crues sont importantes les eaux sont arrêtées derrière les digues puis étalées dans les périmètres sur plusieurs km.
2. Une fonction de recharge des nappes : les eaux stagnantes derrière les digues sont maintenues en l'état où de grands tranchés facilitent leur pénétration pour réalimenter les nappes phréatiques et relever le niveau des puits situés en aval.
3. Une fonction d'irrigation : en année humide, les crues sont scindées en plusieurs bras ; l'excédent d'eau est distribué collectivement par un réseau de séguia entre agriculteurs proportionnellement à la superficie des champs.

Cependant ces crues exceptionnelles ont mis à rude épreuve le dispositif hydraulique de protection qui n'a malheureusement pas été en mesure d'empêcher les inondations. Deux barrages ont cédé occasionnant d'importants dégâts. La rupture de la digue du barrage de Laâdhira, situé entre la commune de Ghardaïa et celle de Daya a provoqué une érosion régressive qui a emporté une partie de la palmeraie aval de Ghardaïa. L'onde de choc a été ressentie jusqu'à Sebkat Safioune près d'Ouargla (190 km). Selon le directeur de l'hydraulique de la wilaya (El Watan, 2008 ; Le Monde, 2008), la retenue de l'O. Labiod, interceptant plus de 20 millions de m^3 d'eau durant ces dernières inondations a évité une catastrophe plus meurtrière !

L'urbanisation incontrôlée du lit majeur de l'oued M'Zab explique l'ampleur des dommages provoqués par les inondations. En effet, l'imperméabilisation de grandes surfaces par l'édification de bâtiments et d'infrastructures : lotissements, parkings, routes, zones commerciales et industrielles à même le lit mineur, a inévitablement accentué le ruissellement, ce qui a provoqué une accélération des débits. Certains agriculteurs incriminent le nouveau collecteur d'assainissement de l'Office National de l'Assainissement (ONA) qui, en passant à travers la digue de Laâdhira, a causé son effondrement. Cette urbanisation croissante s'est traduite par une occupation massive du lit majeur des cours d'eau, exposant les demeures et les habitants à des risques d'inondation assumés, ignorés ou parfois refoulés.

4. Proposition d'un plan d'action

La Figure 10 présente les principaux aménagements préconisés des bassins versants dans la ré-

gion arides inondable de Chahbounia dans la wilaya de Médéa.

A la suite des dégâts constatés sur la plupart des sites (périmètres agricoles, infrastructures et équipements socio-économiques), nous proposons sur la base du diagnostic précédent, un programme d'aménagement. Parmi les actions à entreprendre figurent la correction torrentielle, la consolidation des ouvrages hydro- agricoles existants et la réhabilitation des périmètres agricoles affectés par les inondations. Les aménagements préconisés doivent être mis en place de façon adaptée et complémentaire à l'échelle du bassin versant, qui constitue l'unité physiographique naturelle d'aménagement, en particulier pour la gestion des ressources naturelles et la lutte antiérosive, de l'amont vers l'aval, en totale concertation avec les agriculteurs et usagers de l'espace.

4.1 Protection dans la partie amont

Pour réduire l'impact des inondations, des épandeurs de ruissellement retardant la vitesse d'écoulement de l'eau sur les pentes, et des aménagements semi perméables réduisant le transport solide sur les versants et dans les ravines sont proposés. Ainsi, Les aménagements suivants, testés avec succès dans les stations expérimentales de l'INRF

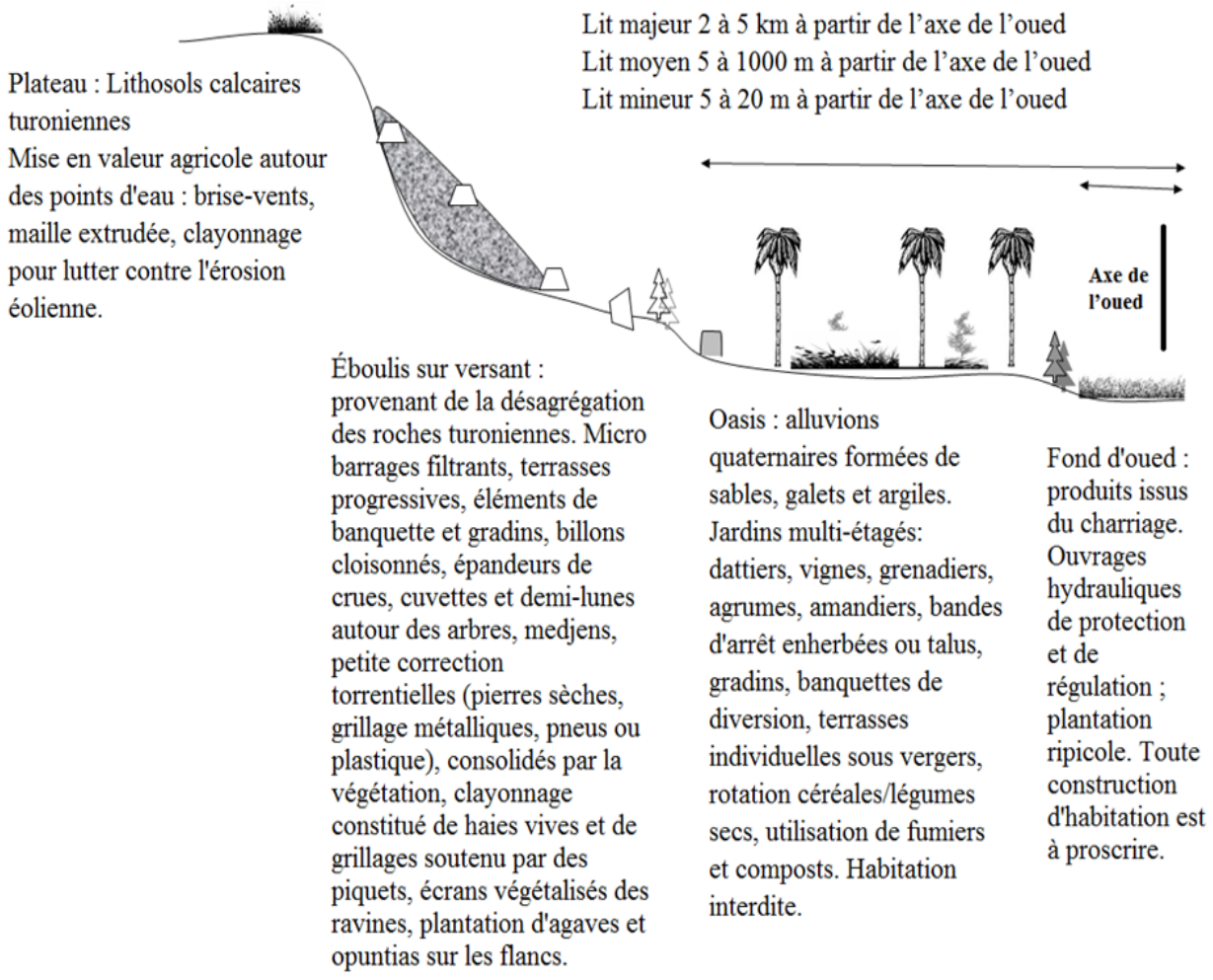

Figure 10. Aménagements préconisés.

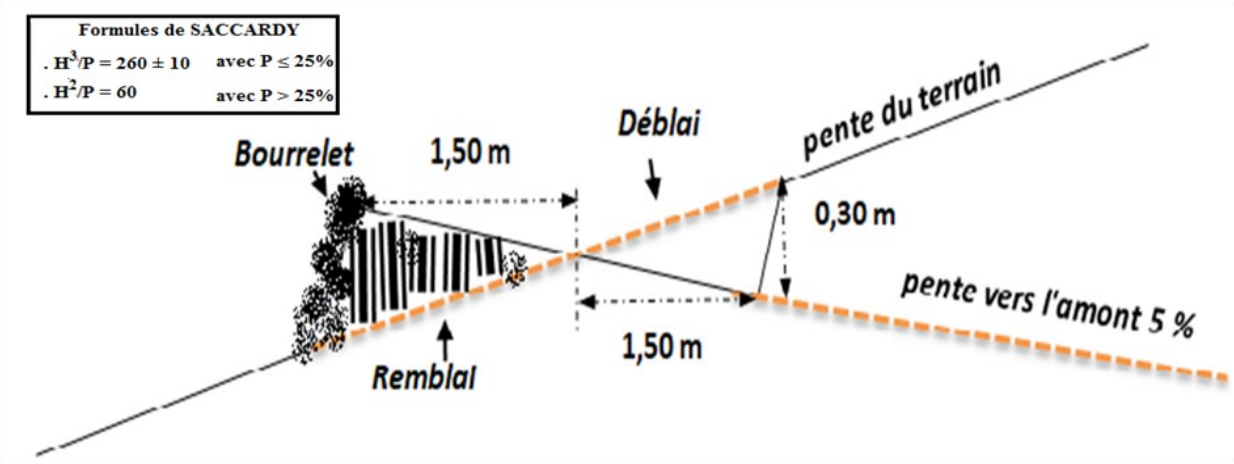

Figure 11. Élément d'une banquette de diversion d'un mètre de long, bassin versant d'Isser, El Azzizia, Médéa.

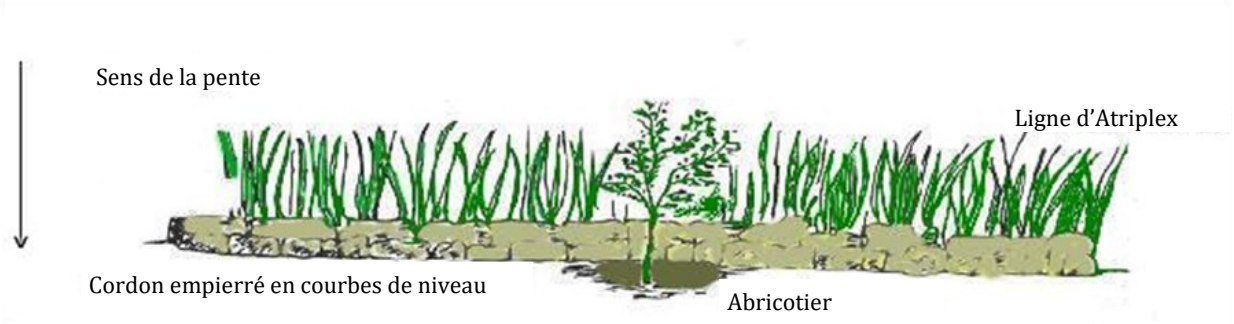

Figure 12. Schéma d'un cordon empierré réalisé à Boughezoul- Médéa (1999/2003).

(Arabi, 2005 ; Arabi et al. 2017; Roose et al. 2017) seront proposés en amont du bassin versant :
1. Éléments de banquette et gradins : pour contrôler le ruissellement (Figure 11) ;
2. Micro barrages filtrants : ensembles d'ouvrages dont les murettes, les lignes de pierres, les cordons empierrés ou à fascines (Figure 12 ; Figures 13 A et B) ;
3. Terrasses progressives : ouvrages d'absorption d'une partie de l'eau avec un exutoire de secours ; (Figure 14)
4. Petite correction torrentielles : Construction d'ouvrages résistants, disposés dans le sens opposé au courant, faits de divers matériaux disponibles : pierres sèches, grillage métalliques, pneus ou plastique), consolidés par la végétation. Sur les flancs des berges, on adopte un système de clayonnage constitué de haies vives et de grillages soutenu par des piquets (Figures 15 ; 16 ; 17 ; 18 ; 19) ;
5. Techniques de récolte d'eau : medjens avec impluvium, mares et retenues (Figures 20 A, B et C) ;
6. Autres aménagements : des billons cloisonnés, épandeurs de crues, cuvettes et demi-lunes autour des arbres ;
7. Écrans végétalisés des ravines : dispositifs constitués d'embroussaillement au fond des ravines ;
8. Haies vives : en courbes de niveau sur parcelles et en alignement sur les bords des routes et pistes.

4.2 Protection dans la partie aval

Dans les vallées, l'accent sera mis surtout sur l'amélioration du système de production mais aussi sur le laminage des crues. Le panel de solutions

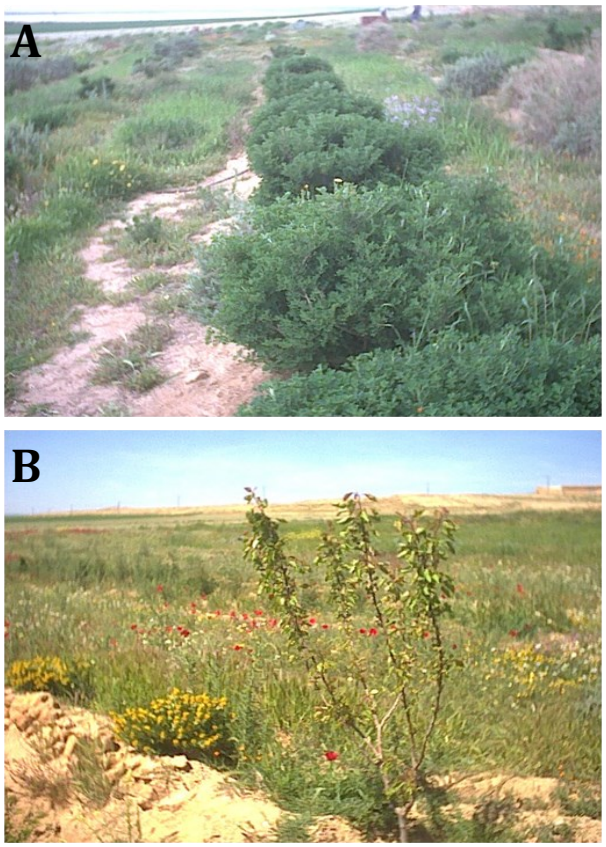

Figure 13. Cordon empierré sous Atriplex (**A**) et abricotiers (**B**) à Boughezoul-Médéa (1999/2003).

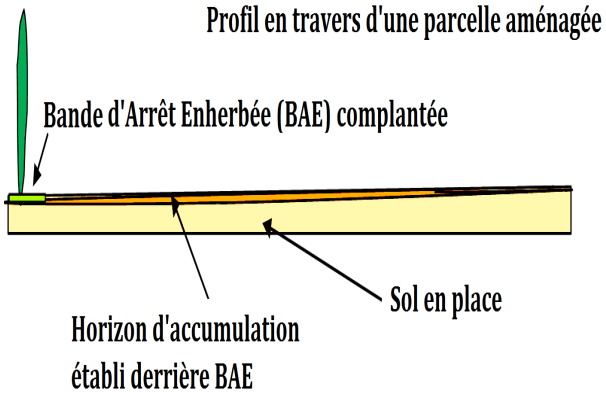

Figure 14. Représentation du blocage de l'érosion par un système de Bande d'Arrêt Enherbée (B.A.E.).
A mi pente, l'épaisseur de l'horizon superficiel est enrichi en particules grossières de terres érodées et de matières organiques. Cette augmentation devient significative a partir de 5 m de la BAE ce qui diminue la pente d'avantage.

Figure 15. En tête de ravine, sous le head cut.
On a implanté un seuil en gabions en cours de réalisation pour protéger la route située en amont ; l'eau et les sédiments piégés derrière le seuil constituent un milieu favorable à l'installation d'une végétation pionnière. Coût du m3 de gabion 2360 DA. (projet PNR 1999/2003, impact Hririza, Boughezoul – Algérie)

Figure 16. Correction des ravines : seuils en pneus usés (**A**) et en sacs plastiques (**B**) (Hririza, Boughezoul –Médea, 1999/2000).
Leur efficacité s'est avérée au moins égale si non supérieure à celle des gabions qui exigent une main d'œuvre spécialisée pour sa réalisation. Le prix varie du ¼ à 1/5 du prix des gabions.

Figure 17. Introduction du peuplier de l'Euphrate (Boughezoul-Médea 1999/2003).

Figure 18. Seuil léger en grillage métallique (Hririza, Boughezoul–Médea 1999/2003).
Le grillage de faible maille (0.4mm) est tendu sur simple T (40 mm), enfoncé sur 70 cm dans le sol et stabilisé par des tendeurs galvanisés. Leur efficacité est remarquable face à la dernière crue en interceptant tous les débris en transit sur le canal. Son prix est égal à 40% de celui des gabions.

Figure 19. Seuil en pierres sèches (Boughezoul–Médéa, 1999/2003).
Derrière le seuil en pierres sèches, s'est accumulée une masse d'alluvions encore humide, malgré une forte évaporation au mois d'août, favorable à l'installation d'une végétation pionnière.

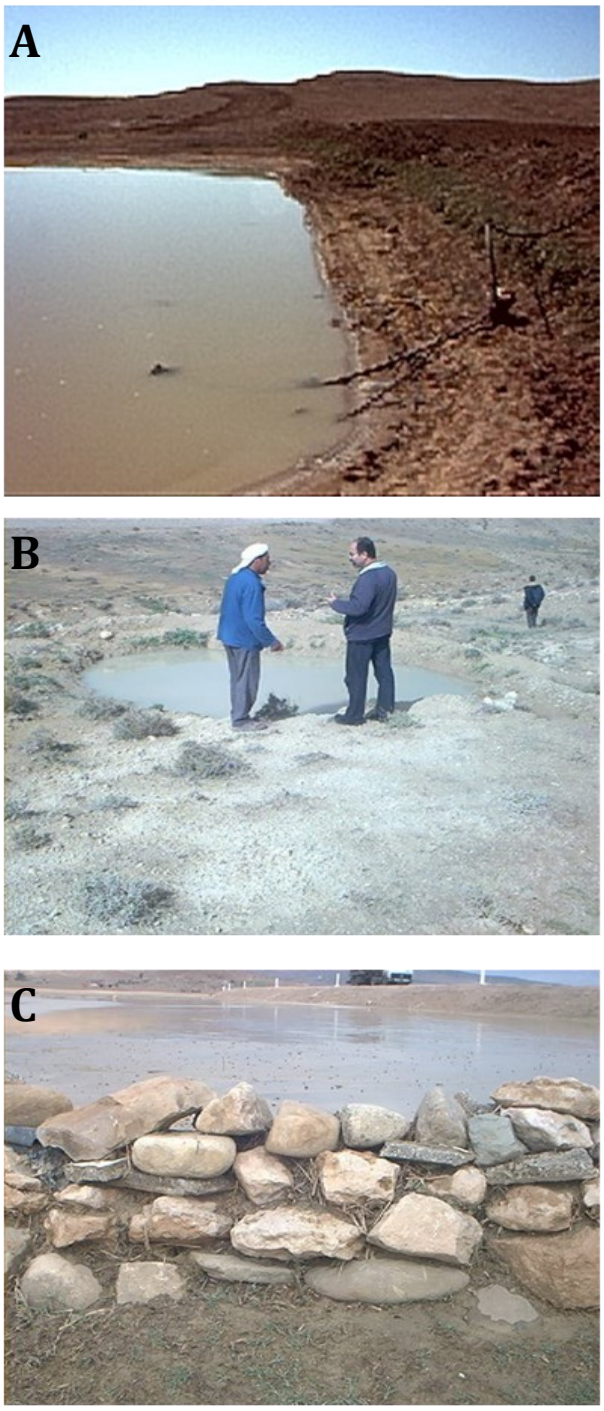

Figure 20. Techniques de collecte d'eau pluviale : retenue (**A**) et marre (**B**) pour le développement agricole et épandeur de crues (**C**) réalisés par le paysan (Boughezoul-Médéa, 1999/2003).

techniques proposées pour améliorer l'infiltration, collecter et stocker provisoirement l'eau peut être perçue dans le programme de réhabilitation des périmètres agricoles.

4.3 Réhabilitation des périmètres agricoles

La comparaison des données sur l'aptitude des sols, les risques d'inondation et l'occupation des terres permet de distinguer, de prime à bord, trois classes de potentialités des terres pour lesquelles nous proposons les d'aménagements reportés dans le Tableau 3.

Enfin, il faut rechercher des systèmes de production qui tiennent compte autant du milieu écologique que du milieu humain (besoins des populations, cultures rentables, marché local, niveau de connaissance des populations et autosuffisance alimentaire). Il faudra donc développer des rotations pluriannuelles, une fertilisation et des amendements adaptés aux sols et aux plantes, localiser les terres qui seront réservées au parcours, des blocs de culture, et des zones irriguées ou drainées associés si possible aux bonnes pratiques cultu-

Tableau 3. Réhabilitation des périmètres agricoles.

		Caractéristiques	Propositions d'aménagement
La classe 1		Elle concerne les dayas (bas-fonds) où subsiste une certaine humidité après les pluies automnales. Les pentes sont faibles (0 à 2 %) mais les contraintes à l'agriculture augmentent en fonction de la faible épaisseur du sol, du taux de cailloux et du niveau de la dalle de calcaire sous-jacente.	Ces terres conviennent plutôt au pâturage hivernal à condition de veiller à la préservation des ressources végétales locales par un parcours contrôlé et équilibré.
La classe 2		Elle concerne les flancs de versants plus ou moins pentus (3 à 12%).	Les contraintes aux cultures sont si élevées qu'aucune mise en valeur ne pourra être envisagée sans irrigation.
La classe 3	**Le lit mineur**	Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles).	Essentiellement de la correction torrentielle passive en complément du programme de la direction d'hydraulique de la wilaya. Toute activité socio-économique est à proscrire (voir les illustrations sur l'aménagement des ravines dans les régions aride de Médéa).
	Le lit moyen	Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur laquelle s'écoulent les crues moyennes.	Murs de soutènement en gabions le long des berges, épis et mur en béton armé pour limiter la divagation des lits d'oueds sur certains cotés sensibles, consolidés par des plantations ripicoles à forte valeur ajoutée : peupliers de l'Euphrate, Eucalyptus, cyprès du Tassili …
	Le lit majeur	Le lit majeur comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles. Le lit majeur fait partie intégrante de la rivière.	La majorité des périmètres agricoles sont situés dans le lit majeur. Interdire l'activité agricole qui fait vivre des milliers d'agriculteurs dans ces zones d'expansion de crues c'est mettre fin à la politique de développement agricole de proximité prônée par les pouvoirs publics. Il y a là un enjeu économique important qui justifie le maintien voire l'intensification et le développent d'une agriculture oasienne spéculative. Les mesures préventives préconisées sont : 1. Terrasses progressives pour réguler l'eau, définies par des bandes de terre travaillées vers l'aval, en s'appuyant sur des bandes d'arrêt enherbées ou des talus (Figures 21 A et B) ; 2. Système de gradins à pente nulle pour les zones à forte pression démographique ; 3. Éléments de banquettes tels qu'ils sont connues au nord du pays ou un système de terrasses individuelles, pour les vergers. En même temps que ces dispositifs retardent le ruissellement sur les faibles pentes (supérieure à 3 %), ils stockent une partie de l'eau. Or le stockage des eaux en période d'averses violentes est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux.

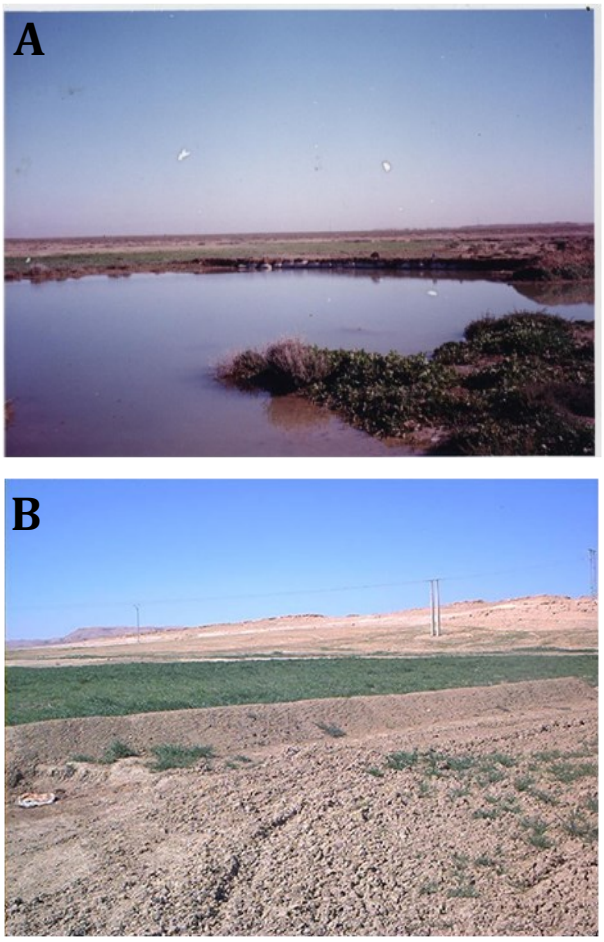

Figure 21. Techniques de régulation et d'épandage de l'eau pluviale.
L'eau excédentaire et stockée (**A**) puis épandue sur la parcelle de céréale (**B**).

rales telles que la double dérayure, les ados, les billons évolutifs et les haies vives.

Il devient de plus en plus urgent de rétrocéder aux oueds une grande partie de l'espace requis pour l'épandage naturel des crues. En effet, l'oued M'zab s'est vu retirer une partie importante de ses surfaces alluviales inondables au cours des deux derniers siècles sous l'impact de l'urbanisation des zones riveraines et des usages agricoles (Figure 22). Les mesures visant à enrayer ce processus en classant, préservant et étendant les zones alluviales inondables et en améliorant la rétention des eaux sur l'ensemble du bassin doivent se poursuivre simultanément. Le risque d'inondation doit

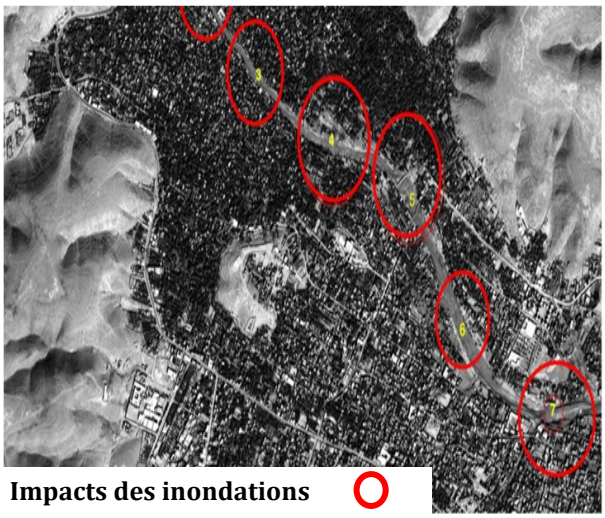

Figure 22. Image satellite de Oued M'zab
Extension démesurée de la palmeraie de Ghardaia le long de l'oued M'zab. Seul le lit mineur reste visible sur cette image prise après les inondations du 01 octobre 2008 (Bensiradj & Benhamouda, 2008).

donc être pris en compte à l'avenir dans les procédures d'occupation des sols et d'aménagement du territoire, lorsque les zones alluviales ne peuvent être rendues aux oueds. Il faut renforcer la prise de conscience et encourager les populations et les exploitants industriels et commerciaux potentiellement concernés à se prévenir individuellement du risque d'inondation. Il est ainsi possible par exemple d'éviter ou de limiter les dommages en adaptant aux inondations le mode de construction dans les zones supposées protégées, mais qui restent cependant menacées par les crues extrêmes.

5. Conclusion

Les inondations qui ont frappé la wilaya du Ghardaïa ont deux causes principales : des conditions naturelles favorables (pluies exceptionnelles, roches imperméables, pentes de lits d'oueds faibles) et des effets aggravés par l'intervention humaine (surtout urbanisation sur les berges). Les pluies violentes sont assez fréquentes en automne dans cette région mais leur l'ampleur est exceptionnelle par les intensités de pluie (150 mm/h en 10 min) et la surface concernée 16900 km2). On en recense trois ou quatre chaque siècle. Contraire-

ment à l'opinion générale, les sols sont imperméables sur les versants. La plupart des oueds traversent les zones urbaines. Du fait de l'explosion démographie, les banlieues se sont étendues jusqu'au lit mineur. En dépit d'une maîtrise des crues par une gestion séculaire du risque, les oueds et leurs affluents sont sortis de leur lit et ont provoqué des dommages aux personnes et aux biens. Pour réduire les inondations, il faut améliorer le dispositif hydro- agricole existant, en revégétalisant les bassins versants là où c'est possible et lutter contre l'érosion. Dans ce cadre un ensemble cohérant d'actions visant à écrêter les débits de pointes, contrôler l'érosion sur les versants et dans les cours d'eau actifs est proposé. Une inondation représente un enjeu lourd de conséquences, tant sur le plan humain que matériel. En dehors des propositions envisagées pour obvier aux dommages causes par les inondations, Il est utile d'approfondir nos connaissances sur les risques et vulnérabilité des crues afin de prévenir les effets avant de les subir.

Références

ANRH (1986). Inventaire des sols d'Algérie. Agence National des Ressources Hydrauliques Algériennes. 49 pages.

ANRH (2005). Cartes des études agro-pédologiques pour la période 1963-2004. Agence National des Ressources Hydrauliques Algériennes (ANRH).

Arabi, M., Bourougaa, L., Kedaid, O.E.K (2017). Chapitre 47. Lutte antiérosive et intensification de l'agriculture en milieu steppique (Boughezoul, Algérie) In : Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2017 (généré le 06 juin 2021). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/irdeditions/24504>. ISBN : 9782709922784. DOI : https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.24504.

Arabi, M. (2005). Aménagements antiérosifs sur petits basins versants expérimentaux en milieu semi aride algérien. Z. Geomorphology, 50(2), 209-220.

Arabi, M., Roose, E. (2017). Effets de la GCES sur la production agricole en moyenne montagne méditerranéenne algérienne In : Lutte antiérosive : Réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2012 (généré le 06 juin 2021). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/irdeditions/12737>. ISBN : 9782709922753. DOI : https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.12737.

Armin, P (2005). Contribution to the development of the Swiss strategy for disaster risk reduction. Floods August 2005 in Switzerland. Twelfth Session of the Inter-Agency Task Force on Disaster Reduction 22-24 November, Geneva, 30 p.

Behlouli L. Crues et inondations en Algérie. ANRH, 2008 ; 43 p.

Beloulou L. 2008. Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville de Annaba (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat d'État Option Hydrologie, Université Badji Mokhtar-Annaba 342 pages.

Benaoudj, A., Touaibia, B., Hubert, P. (2014). Les inondations dans la vallée du M'zab : genèse et prédiction. Revue scientifique et technique. LJEE 24 & 25, 20-34.

Bensaâda – Hamouche F. & Arabi M. 2021. Le risque inondation dans le bassin versant de l'oued Korrich et les limites territoriales. Cas des inondations de Bab El Oued, Alger. , 13 p. Annales de la recherche forestière en Algérie 11(2), 1-15. Sous presse.

Bensiradj, A., Benhamouda, F. (2008). Évaluation des dégâts et cartographie des niveaux de danger à partir des images à haute résolution : cas des inondations de Ghardaïa (Oct. 2008). Éditions com., Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme & Agence Spatiale Algérienne, 13 pages.

BNEDER. (1980). Inventaire des terres et forêts de l'Algérie du Nord. Bureau National d'Études et de Développement rural. Rapport final, Alger ; 263 p.

BNEDER. (2000). Étude de mise en valeur agricole du périmètre de Nakousset-II (300 ha) dans la commune de Zelfana. Bureau National d'Études et de Développement rural, rapport 37 p.

Côte, M. 2008. La ville et le désert : le Bas-Sahara algérien. Karthala Éditions.

Djebali, K. (2015). Contribution à l'étude de l'aléa « inondations» : Genèse et prédiction Cas de la vallée d'El-Abadia (W.Ain Defla), Master en Hydraulique Option : Aménagement et Ouvrages Hydrotechniques, ENSH, 122 pages.

Djellouli-Tabet,, Y., Sioussiou, R. (2009). Le bassin versant du M'zab, région méditerranéenne hyperaride (Algérie) : ressources en eau, risques et gestion. Communication *PowerPoint* in "International seminar on river basin, Management and cooperation in the Mediterranean region" And General assembly of the Mediterranean Network of basin organisations Beirut (Lebanon) – 07-09 october 2009, 17 diapos

Dubief, J. (1953). Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara (No. 553.70966). Gouvernement général de l'Algérie, Direction du service de la colonisation et de l'hydraulique, Service des études scientifiques.

Dubost, D. (2002). Écologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Biskra CRSTRA 2002 ; 423 p.

El Watan (2008). Catastrophe naturelle-Inondation de la

vallée du M'zab : Le bassin versant du M'zab contrarié par l'urbanisation. www.elwatan.com/pages-hebdo/magazine/catastrophe-naturelle-inondation-de-la-vallee-du-mzab-le-bassin-versant-du-mzab-contrarie-par-lurbanisation-08-10-2008. Publié le : 08 octobre à 18 h 05 min

ISDR. (2005). International Strategy for Disaster Reduction. 12th meeting 22-24 November 2005, Geneva, Palais des Nations, Conference Room XVI.

Le Houerou, HN. (1992). Bioclimatologie et biogéographie de steppes arides du Nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertification. Série B n°10 CIHEAM Montpellier France 1992 ; 215 p.

Le Monde (2008). Algérie : au moins 33 morts dans des inondations à Ghardaïa. https://www.lemonde.fr/afrique/article/2008/10/02/algerie-au-moins-13-morts-dans-des-inondations-a-ghardaia_1102076_3212.html. Publié le 02 octobre à 10h56

Les Observateurs (2008). Ghardaïa, une ville sous la boue. Observers.france24.com/fr/20081010-ville-ghardaia-ensevelie-boue-inondations. Publié le : 10/10/2008 - 12 :18 Modifié le : 06/10/2010 - 10 :12

Ouled Sidi Amor, T. (2016). Vulnérabilité a la pollution des eaux de la nappe superficielle de la vallée du M'Zab. Master en Géologie Option : Hydrogéologie. Universite Kasdi Merbah –Ouargla.

PNUD. (2003). Comment le réchauffement de la planète va-t-il modifier notre milieu ? Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) 2003. UNEP/IUC/2003/9.

Remini, B. 2020. Oued M'zab's irs development population and flood, life in harmony part1 : Hydraulic structures. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (42), 63-95.

Roose, E., Chebbani, R., & Bourougaa L. (2001). Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Science et changements planétaires/Sécheresse, 11(4), 317-26.

Roose, E., Arabi, M., Bourougaa, L., Hamoudi, M., Morsli, M, Mededjel, N., Mazour, M., Brahamia, K. (2017). Chapitre 33. La lutte antiérosive, la GCES et la restauration de la productivité de sols dans les montagnes du nord de l'Algérie In : Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2017 (généré le 06 juin 2021). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/irdeditions/24396>. ISBN : 9782709922784. DOI : https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.24396.

Siouane, Z. (2018). Dix ans après : les images les inondations à Ghardaïa restent gravées dans les mémoires. https://www.algerie360.com/dix-ans-apres-les-images-des-inondations-a-ghardaia-restent-gravees-dans-les-memoires/. Publié le : vendredi 2 octobre à 12:04.