

# **Etude de la gestion d'un bassin versant comprenant des technologies de gestion durable des terres**

**Exemple du bassin versant de l'oued Hallouf en Tunisie**

**Masterarbeit**

der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Bern

vorgelegt von  
Cyprien Hauser

2011

Leiter der Arbeit:  
Prof. Dr. Hans Hurni  
Dr. Hanspeter Liniger

Centre for Development and Environment (CDE)  
Geographisches Institut

Etude de la gestion d'un bassin versant comprenant des technologies de gestion durable des terres  
Exemple du bassin versant de l'oued Hallouf en Tunisie

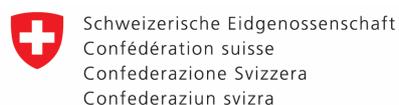
Travail de Master  
Soumis à la Faculté des Sciences Naturelles, Université de Berne, Suisse  
Par Cyprien Hauser  
2011

Superviseurs:  
Prof. Dr. Hans Hurni, Dr. Hanspeter Liniger  
Centre pour le Développement et l'Environnement (CDE)  
Institut de Géographie de l'Université de Berne, Suisse

Encadreur pour les travaux de terrain :  
Dr. Mohamed Ouessar  
Institut des Régions Arides, Médenine, Tunisie

Contact:  
Cyprien Hauser  
Rue de Morimont 38  
2900 Porrentruy  
cyprien.hauser@gmail.com

Page de couverture: Arboriculture dans la zone amont du bassin versant de l'oued Hallouf,  
(Cyprien Hauser, mai 2010)



Avec le soutien du Département  
fédéral des affaires étrangères

**Département de Géographie Intégrée  
Institut de Géographie  
Université de Berne**

# **ÉTUDE DE LA GESTION D'UN BASSIN VERSANT COMPRENANT DES TECHNOLOGIES DE GESTION DURABLE DES TERRES**

**EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED HALLOUF EN TUNISIE**



**Travail de Master  
Cyprien Hauser  
2011**

**Superviseurs:  
Prof. Dr. Hans Hurni  
Dr. Hanspeter Liniger**

# Préface

*Que sait du désert celui qui ne regarde qu'un grain de sable ?*

Erik Orsenna, 2003

Cette citation offre l'avantage d'illustrer deux facettes de ce travail de Master.

La première est son invitation à la vision d'ensemble, et sous plusieurs aspects, d'une même problématique. En effet, la présente étude a été effectuée dans le cadre des projets de recherche du Centre pour le Développement et l'Environnement, lié à l'Institut de Géographie de l'Université de Berne. L'approche qui y est privilégiée est justement multidisciplinaire et intégrative. La possibilité de pouvoir toucher par ce travail à plusieurs thématiques rencontrées durant mon cursus de géographie a renforcé mon intérêt pour ce type d'approche. De même, le défi d'aborder différents domaines de la géographie physique et humaine, ainsi que d'utiliser divers outils méthodologiques (questionnaires, systèmes d'information géographique), a constitué pour moi une réelle source de motivation.

La deuxième se rapporte à l'environnement aride constituant à la fois le thème de ma recherche et le décor dans lequel j'ai eu la chance de me rendre au printemps 2010 pour effectuer le travail de terrain. J'ai en effet saisi l'opportunité d'avoir pour région d'étude un bassin versant situé dans le Sud de la Tunisie, aux environs de Médenine. Le séjour à l'Institut des Régions arides, a été intéressant non seulement du point de vue scientifique, mais a également constitué une expérience enrichissante dans un contexte culturel différent. Le fait que le français soit couramment parlé en Tunisie a sans doute facilité la communication et participé au bon déroulement du travail pratique sur place.

Je souhaite adresser ici mes remerciements aux personnes ayant contribué d'une manière ou d'un autre à la réalisation de ce travail, tant en Suisse qu'en Tunisie.

Ainsi, je tiens à remercier le Prof. Dr. Hans Hurni et le Dr. Hanspeter Liniger, accompagnateurs de ce travail, pour leur patience dans le suivi malgré leur importante charge professionnelle. Ma gratitude va également à l'équipe WOCAT, et plus particulièrement à Gudrun Schwilch, pour son soutien dans l'organisation du travail de terrain et ses conseils méthodologiques.

Elias Hodel, collègue étudiant, mérite une mention spéciale pour son aide dans l'utilisation des systèmes d'information géographique.

Je veux de même remercier le Département fédéral des affaires étrangères pour sa participation financière octroyée pour le voyage en Tunisie.

Ma reconnaissance traverse également la Méditerranée à l'intention des collaborateurs de l'Institut des Régions Arides à Médenine. Merci donc au Dr. Mohamed Ouessar, chercheur spécialisé dans la lutte contre la désertification, pour son encadrement dans mes activités sur place, et à Mongi Ben Zaid, Messaoud Guieb et Lazhar Atoui pour leur accompagnement et leur explications dans le bassin versant d'étude.

Mes remerciements sont de même adressés aux étudiants suisses ou tunisiens que j'ai eu le plaisir de côtoyer dans une ambiance agréable, ainsi qu'à ma famille pour m'avoir soutenu durant mes études.

# Résumé

Le Sud de la Tunisie, comme de nombreuses zones arides, est touché par des phénomènes de désertification. Ceux-ci sont causés par les conditions climatiques difficiles et la pression importante exercée sur les ressources naturelles. La dégradation des terres y pose non seulement des problèmes environnementaux, mais sape également les efforts de développement rural. La mise en œuvre d'une stratégie de lutte contre la désertification, notamment basée sur des techniques de conservation des eaux et des sols adaptées au contexte biophysique et social, constitue une réaction à cette problématique. De telles expériences de gestion durable des terres requièrent un besoin d'évaluation et de documentation à des fins de prise de décisions ou de partage des connaissances.

Le but principal de ce travail est justement de contribuer à l'analyse des technologies et des approches de conservation à l'échelle d'un bassin versant. La zone d'étude est le bassin versant de l'oued Hallouf, situé dans le gouvernorat de Médenine en Tunisie. Cet objectif nécessite trois étapes pour être atteint.

La première consiste à relever l'emplacement des ouvrages de rétention d'eau et de sédiments, par reconnaissance sur des images satellitaires à haute résolution. La répartition spatiale des aménagements de versants et de voies d'eau renseigne en effet sur leurs combinaisons et leurs interactions. Les résultats montrent que l'optimisation des effets bénéfiques des mesures de conservation passe par leur arrangement en système. De ce fait, les sections amont et aval du bassin versant comportent différents types de technologies et donc d'utilisation du sol. Toutefois, les importants investissements qu'ils nécessitent se complètent dans leur rôle de mobilisation des ressources en eaux et en sols ainsi que de protection contre les crues.

La seconde est l'évaluation des impacts de la gestion intégrée du bassin versant d'étude. Les informations nécessaires à l'utilisation de la méthode WOCAT (Panorama mondial des approches et technologies de conservation) ont été collectées auprès des divers acteurs locaux et à l'aide de la littérature disponible. Les résultats obtenus démontrent les effets globalement positifs des politiques de développement rural et de lutte contre la désertification. Parmi ceux-ci figurent la participation grandissante de la population locale, l'amélioration des conditions de vie et des systèmes de production ainsi qu'un usage plus durable des terres. Les pratiques de conservation des eaux et des sols souffrent toutefois de leur coût important et des difficultés liées à leur mise en œuvre.

La troisième est le développement d'une méthode de documentation adaptée à la gestion des bassins versants. Dans le cadre de ce travail, la région de l'oued Hallouf a servi de zone de test à un nouveau questionnaire standardisé WOCAT. Celui-ci a ainsi été amélioré et sa portée et ses limites spécifiées. Ce questionnaire sur les bassins versants rassemble, une fois rempli, des informations générales sur les processus de dégradation et les solutions qui leur sont apportées au niveau local.

Ce travail a mis en évidence la dimension holistique, mais proche du contexte local, de l'évaluation de la gestion durable des terres par bassin versant. Le Sud de la Tunisie se prête bien à ce type d'analyse et constitue un exemple en matière de lutte contre la désertification, en raison des bénéfices obtenus suite aux importants moyens et efforts déployés.

# Summary

Southern Tunisia, like several arid zones, is affected by desertification. This is due to harsh climatic conditions and important pressures on natural resources. Land degradation not only causes environmental problems, but also hinders the development efforts. The implementation of a strategy to combat desertification, based on soil and water conservation technologies adapted to the biophysical and social contexts, constitute a reaction to this challenge. Such sustainable land management experiences need evaluation and documentation for decision support and knowledge sharing.

Therefore, the main goal of this thesis is to contribute to the analysis of conservation approaches and technologies at the watershed level. The study zone is the watershed of oued Hallouf, located in the governorate of Medenine in Tunisia. Meeting this objective requires three stages.

Firstly, the water and sediment harvesting technologies are located on high-resolution satellite images. The spatial distribution of slope and waterways structures provides information about their combinations and interrelations. Results show that the beneficial impacts of conservation measures are optimized when working as a system. Thereby upstream and downstream sections of the watershed have shown different types of technologies and also land uses. However, the large investments required complement each other in water and soil harvesting and in protection against flooding.

Secondly, the impacts of integrated land management at a watershed level are evaluated. The information needed to use the WOCAT (World overview of conservation approaches and technologies) methodology has been collected from local stakeholders and from available literature. Obtained results show the globally positive effects of rural development policies and strategies against desertification. Among the benefits take place the increasing involvement by the local population, the better living and production conditions and a more sustainable land use. Soil and water conservation practices are hindered because of difficulties and high costs in their implementation.

Thirdly, a documentation methodology suitable for watershed management has been developed. For this thesis, the oued Hallouf region thus served as test area to a new standardized WOCAT questionnaire. It has in this way been improved and its scope and limits have been specified. Once filled out, this questionnaire on watersheds contains general information on degradation processes and on solutions that have been applied at local level.

This thesis has highlighted the holistic dimension, but close to the local context, of the sustainable land management evaluation in a watershed. Southern Tunisia is well suited to this type of analysis and is an example in the fight against desertification, because of the benefits obtained following substantial means and efforts.

# Table des matières

<b>Partie I Introduction</b> .....	1
<b>1. Problématique</b> .....	1
1.2 La désertification au niveau global .....	1
1.3 La désertification au niveau régional (Tunisie).....	2
1.4 Objectifs du travail et justification du choix de la région d'étude .....	3
<b>2. Zone d'étude</b> .....	4
2.1 Situation géographique.....	4
2.2 Climat .....	5
2.3 Géomorphologie.....	8
2.4 Hydrologie.....	9
2.5 Utilisation des terres.....	10
2.6 Végétation .....	13
2.7 Sols.....	14
2.8 Aspects socio-économiques .....	14
<b>3. Conservation des eaux et des sols dans le bassin versant de l'oued Hallouf</b> .....	15
3.1 Contexte des pressions climatiques et humaines.....	15
3.2 Les techniques de conservation des eaux et des sols .....	16
<b>Partie II Méthodologie</b> .....	21
<b>4. Théorie</b> .....	21
4.1 État de la lutte contre la désertification au niveau mondial .....	21
4.2 État de la lutte contre la désertification dans le Sud de la Tunisie.....	21
4.3 Le programme WOCAT.....	22
4.4 Questionnaire sur les bassins versants .....	24
<b>5. Méthodologie de l'objectif 1 (Cartographie)</b> .....	25
5.1 Objectif.....	25
5.2 Collecte et analyse des données .....	25
<b>6. Méthodologie de l'objectif 2 (Analyse des impacts)</b> .....	28
6.1 Objectif.....	28
6.2 Collecte et analyse des données .....	28
<b>7. Méthodologie de l'objectif 3 (Test sur le terrain)</b> .....	30
7.1 Objectif.....	30
7.2 Collecte et analyse des données .....	31

<b>Partie III Résultats et discussion</b> .....	33
<b>8. Résultats de l'objectif 1 (Cartographie)</b> .....	33
8.1 Système de technologies .....	33
8.2 Cartographie des technologies .....	37
8.3 Toposéquence des technologies .....	38
8.4 Données chiffrées de l'aménagement du bassin versant .....	39
8.5 Discussion .....	41
<b>9. Résultats de l'objectif 2 (Analyse des impacts)</b> .....	43
9.1 Classification des impacts selon leurs objectifs .....	43
9.2 Bénéfices et inconvénients .....	45
9.3 Impact global des technologies .....	47
9.4 Résumé de l'approche par bassin versant .....	49
9.5 Discussion .....	51
<b>10. Résultats de l'objectif 3 (Test sur le terrain)</b> .....	54
10.1 Portées et limites .....	54
10.2 Difficultés et changements apportés .....	56
10.3 Discussion .....	57
<b>Partie IV Conclusion</b> .....	59
<b>11. Synthèse</b> .....	59
<b>12. Perspectives</b> .....	60
<b>Bibliographie et références</b> .....	61

## Définitions

**Lutte contre la désertification :** activités qui relèvent de la mise en valeur intégrée des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, en vue d'un développement durable et qui visent à prévenir et/ou réduire la dégradation des terres, à remettre en état les terres partiellement dégradées et à restaurer les terres désertifiées. (Source : Organisation des Nations unies 1994)

**Zones arides, semi-arides et subhumides sèches :** zones, à l'exclusion des zones arctiques et subarctiques, dans lesquelles le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration possible se situe dans une fourchette allant de 0,05 à 0,65. (Source : Organisation des Nations unies 1994)

**Dégradation des terres :** diminution ou disparition de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres du fait de leur utilisation, causant l'érosion des sols par le vent et/ou l'eau, la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques ou économiques des sols, et la disparition à long terme de la végétation naturelle. (Source : Organisation des Nations unies 1994)

**Développement durable :** mode de développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre les capacités des générations futures à répondre aux leurs. (Source : Organisation des Nations unies, Rapport Brundtland 1987)

**Gestion durable des terres (GDT) :** utilisation des ressources naturelles, y compris des sols, de l'eau, des animaux et des plantes, pour la production de biens répondant à l'évolution des besoins humains, tout en assurant simultanément le potentiel productif de ces ressources à long terme et leur fonctions environnementales. (Source : WOCAT 2007)

**Gestion intégrée de bassin versant :** orientation et organisation de l'utilisation des terres et des autres ressources d'un bassin en vue de fournir à la population les biens et services souhaités, de manière durable et sans porter préjudice aux sols et aux ressources hydriques. (Source : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture 2008)

**Bassin versant :** zone réceptrice des précipitations qui alimentent un système de cours d'eau et de fleuves s'écoulant vers la même embouchure. (Source : Réseau international des organismes de bassin 2009)

**Conservation des eaux et des sols (CES) :** activités au niveau local, permettant de maintenir ou d'améliorer la capacité productive des terres dans les zones affectées par, ou sujettes à, la dégradation. (Source : WOCAT 2007)

**Technologies de CES :** pratiques agronomiques, végétales, structures physiques et/ou modes de gestion qui préviennent et contrôlent la dégradation des terres et améliorent la productivité des terres cultivées. (Source : WOCAT 2007)

**Approches de CES :** manières et moyens permettant l'introduction, la mise en œuvre, l'adaptation et l'application des technologies de CES sur le terrain. (Source : WOCAT 2007)



# Partie I Introduction

## 1. Problématique

### 1.2 La désertification au niveau global

Définie comme étant «la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches résultant de différents facteurs et notamment des variations climatiques et de l'activité humaine» (Organisation des Nations unies 1994), la désertification menace l'équilibre environnemental et la survie des populations aux quatre coins du monde.

Les zones arides, représentant environ 40% de la surface des terres émergées et concernant approximativement 2 milliards d'habitants, sont les plus exposées aux phénomènes de dégradation. En effet, il est estimé que 10 à 20% des régions arides ont leur environnement naturel déjà altéré (Millenium Ecosystem Assesment 2005).

La désertification est le résultat d'une incapacité sur le long terme à équilibrer l'offre et la demande en services environnementaux. La surexploitation des ressources naturelles déjà fragiles combinée à une sécheresse d'origine climatique explique la vulnérabilité des régions arides. Les besoins en eau d'irrigation, en terres cultivables, en bois et fourrage sont autant de facteurs accroissant la pression sur les écosystèmes. Ces causes de la désertification sont renforcées indirectement par l'accroissement des populations, la pauvreté, les conflits et les faiblesses institutionnelles (Millenium Ecosystem Assesment 2005).

La dégradation des terres a des conséquences désastreuses sur les populations comme sur l'environnement. Dans les régions arides, celle-ci se manifeste entre autres par l'insécurité alimentaire due à la perte des terres arables, l'émigration, la pauvreté et l'altération des capacités de régénération des écosystèmes. L'ampleur de ces phénomènes se fait ressentir au-delà des zones directement affectées et sape les efforts de développement.

Une fois le processus de désertification entamé, il devient difficile de le stopper. Il est en effet plus complexe de mettre en œuvre des pratiques de réhabilitation que de prendre des mesures de prévention et de mitigation. C'est pourquoi de nombreux pays situés en zones arides ont développé des stratégies nationales de lutte contre la désertification (voir p. 21).

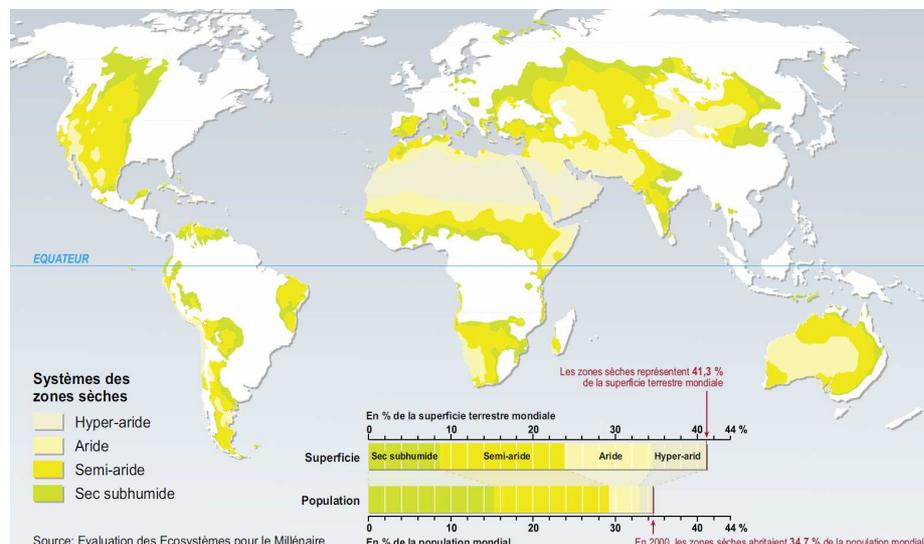


Figure 1: Carte mondiale des zones sèches, c'est-à-dire où le climat est défini comme sec subhumide, semi-aride, aride ou hyper-aride. Source: Evaluation des Écosystèmes pour le Millénaire 2005.

### 1.3 La désertification au niveau régional (Tunisie)

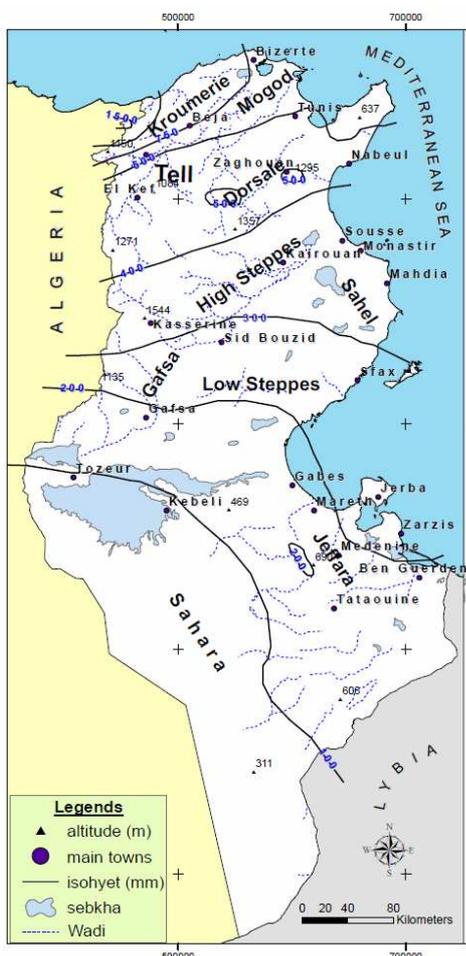
L'Afrique est le continent le plus menacé par la désertification. Environ les deux tiers de sa surface sont considérés comme des zones arides ou désertiques, et les trois quarts de ses terrains agricoles arides subissent des phénomènes de dégradation (Convention de lutte contre la Désertification 2009).

Située entre le désert du Sahara et la Méditerranée, la Tunisie n'est pas épargnée par les processus de désertification. Ceux-ci concernent les 75% de son territoire (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 1998).

Les populations ont vécu durant des siècles en s'adaptant à la faible pluviométrie combinée à une pauvreté en végétation et en sols. Les terres labourables sont effectivement situées à 90% en zones considérées comme semi-arides ou arides (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 1998). L'équilibre entre la société et l'environnement a été bouleversé avec la forte croissance démographique et l'augmentation des besoins qui l'accompagne. Ainsi, en plus de l'aridité naturelle, l'exploitation inappropriée des ressources a mené à la désertification à partir de la période coloniale (fin du 19<sup>e</sup> siècle).

Cette menace grandissante se manifeste de façon généralisée en Tunisie par la dégradation des sols et de l'eau. Plus précisément, les conséquences actuelles de la désertification sont l'érosion (hydrique et éolienne), l'ensablement, la salinisation et la diminution des réserves en eaux (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 1998). Au-delà de leur impact environnemental, elles affectent globalement le développement rural, la gestion des ressources naturelles et l'environnement économique de ce pays du Maghreb.

Consciente de sa vulnérabilité face à la désertification, la Tunisie a déployé d'importants efforts de lutte contre la désertification parallèlement aux politiques de développement rural.



La Tunisie présente un étagement de ses zones climatiques du nord au sud correspondant à la pluviométrie.

Ainsi le Nord, région la plus arrosée du pays (entre 400 et 1500 mm) et présentant un important relief, possède un climat subhumide à semi-aride lui permettant un mode de production agro-sylvo-pastorale. Les défrichements et le surpâturage des forêts y accentuent la pression sur les terres en pente, très sensibles à l'érosion. Le Centre, semi-aride à aride (entre 200 et 400 mm), est à dominance agropastorale. L'action de l'homme, conjuguée à des conditions climatiques défavorables, cause par l'érosion un décapage des plaines sableuses. Les croûtes calcaires affleurantes sont les prémices d'une désertification.

Le Sud, situé en zone aride à saharienne car nettement moins arrosé (moins de 200 mm), connaît surtout une exploitation de type pastoral. Les très faibles ressources en sols et en eaux résistent difficilement à l'intensification des modes d'exploitation (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 1998).

Figure 2: Zones climatiques de la Tunisie

Source: Ouessar 2007

## **1.4 Objectifs du travail et justification du choix de la région d'étude**

Le but principal de ce travail est de contribuer à l'évaluation de technologies et d'approches de gestion durable des terres (GDT) au niveau d'un bassin versant. Le contexte est celui de la lutte contre la désertification à l'aide de mesures de conservation des eaux et des sols dans le sud de la Tunisie.

L'intention est également de documenter la gestion et l'aménagement du bassin versant d'étude selon un nouvel outil méthodologique mis au point par le programme WOCAT (World Overview of Conservation Approaches and Technologies).

Plus spécifiquement, ce travail s'articule autour des trois objectifs suivants :

- 1) Etudier à l'aide de la télédétection les systèmes de technologies de gestion durable des terres et leur répartition spatiale
- 2) Evaluer les impacts de la gestion intégrée du bassin versant de l'oued Hallouf (Tunisie) suivant la méthodologie WOCAT
- 3) Tester en situation réelle et remplir un nouveau questionnaire WOCAT consacré à la gestion des bassins versants

Afin d'atteindre ces objectifs, ce travail part des principes généraux suivants :

- La dégradation des terres est au moins ralentie par l'aménagement d'un bassin versant avec des technologies de conservation des eaux et des sols.
- Les activités de gestion intégrée de bassin versant ont des impacts perceptibles
- Il existe un besoin mondial de synthèse et de partage des expériences de gestion durable des terres

Le fait qu'une recherche ayant pour thème la conservation des eaux et des sols (CES) soit effectuée en région aride peut sembler curieux. En effet, dans le Sud tunisien, les sols sont peu profonds et sableux et les écoulements d'eau sont rares.

Pourtant, cette région pré-désertique s'avère propice à l'étude des phénomènes de dégradation des terres puisqu'elle est fortement sensible à la désertification. Au cours des quarante dernières années, la pression sur les ressources naturelles s'y est effectivement accentuée et le système agropastoral a subi d'importants bouleversements.

Les risques pesant sur un milieu de plus en plus contraignant ne sont cependant pas considérés comme une fatalité. Ainsi, des projets ambitieux de développement rural et de lutte contre la désertification par des aménagements de CES y ont été mis en œuvre.

La complexité des problèmes environnementaux mêlée à une riche dynamique socio-économique rend le Sud de la Tunisie particulièrement adapté à l'étude de la gestion durable des terres. Il constitue un exemple représentatif d'une région en proie à des processus de dégradation spécifiques aux zones arides, tout en faisant référence à une approche et des techniques locales.

De plus, le sol souvent dénudé à cause du climat aride facilite la reconnaissance des ouvrages de conservation par télédétection.

## 2. Zone d'étude

### 2.1 Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Hallouf, zone d'étude de ce travail, est situé dans le Sud-Est de la Tunisie, à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Médenine. Comme son nom l'indique, il comprend la surface alimentant l'oued (cours d'eau temporaire des régions désertiques) Hallouf et ses affluents, avant que celui-ci rejoigne l'oued Oum Zessar. D'une superficie de 80 km<sup>2</sup>, ce bassin versant s'étend sur environ 30 km de long pour une largeur maximale d'environ 5 km. Son altitude passe d'une altitude supérieure à 600 m. pour les sommets à environ 100 m. pour son point le plus bas.

Du point de vue administratif, la zone d'étude est partagée entre les délégations de Beni Khedache et Médenine Nord, toutes deux faisant partie du gouvernorat de Médenine. Elle est traversée par une route parallèle à l'oued qui relie les villages de Ksar Hallouf à Koutine, en passant par El Bhayra.

La région de l'oued Hallouf est considérée comme représentative des zones arides situées sur la bordure orientale de la chaîne montagneuse des Matmatas parcourant la Tunisie méridionale du nord au sud.

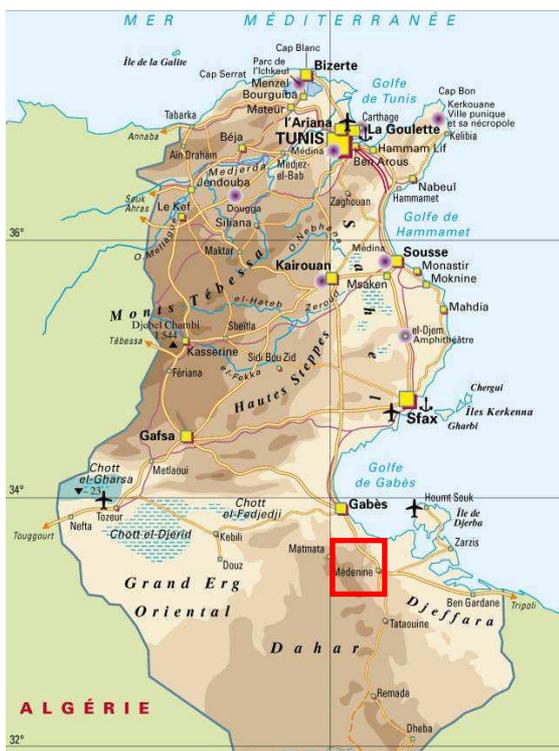


Figure 3

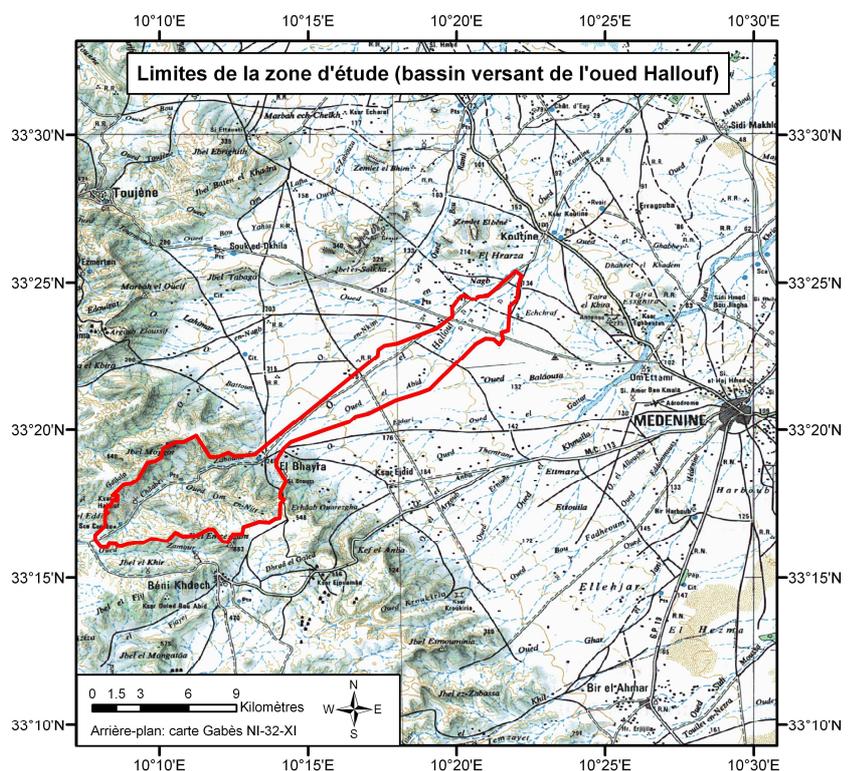


Figure 4

Figures 3 et 4: Situation de la zone d'étude à l'échelle nationale de la Tunisie et à celle, plus restreinte, de la région de Médenine.

## 2.2 Climat

La Tunisie, en raison de sa position géographique, voit son climat influencé à la fois par les masses d'air sec et chaud provenant du Sahara et celles plus tempérées, humides et variables de la Méditerranée. Il en résulte un régime climatique subtropical méditerranéen caractérisé par des étés très chauds et secs contrastant avec des hivers assez doux fournissant les principales précipitations. Les intersaisons présentent des conditions climatiques transitoires s'apparentant aussi bien aux situations estivales qu'hivernales.

L'influence du désert au sud du pays sur le climat diminue avec l'augmentation de la latitude. Ainsi, le Nord doit son régime climatique plus doux aux masses d'air maritimes. Entre les deux, le centre de la Tunisie est sous l'effet conjugué des deux régimes.

En plus de la latitude, l'altitude et la proximité de la mer sont des facteurs importants quant aux variations climatiques (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 2001).

Tout comme le reste du pays, la Jeffara tunisienne, plaine située entre le plateau du Dahar et la mer, est sous l'influence des climats méditerranéens (golfe de Gabès à l'est) et sahariens (grand erg oriental au Sud-Ouest). Son régime climatique aride persiste du littoral jusqu'à l'erg, en passant par la chaîne montagneuse des Matmatas.

- Température

Le régime thermique globalement sec et aride de la région de l'oued Hallouf offre un contraste allant des gels occasionnels (jusqu'à  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) des mois d'hivers aux chaleurs étouffantes de l'été (jusqu'à  $48\text{ }^{\circ}\text{C}$  à l'ombre). Les températures dans la région dépendent non seulement du relief et de l'éloignement à la mer, mais également de la provenance (mer ou continent) du vent qui y souffle (Genin et al 2006 ; Ouessar 2007).

Le changement climatique devrait selon le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) mener à une augmentation de la température en Tunisie de l'ordre de  $1.3$  à  $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . à l'horizon 2100 (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 2001).

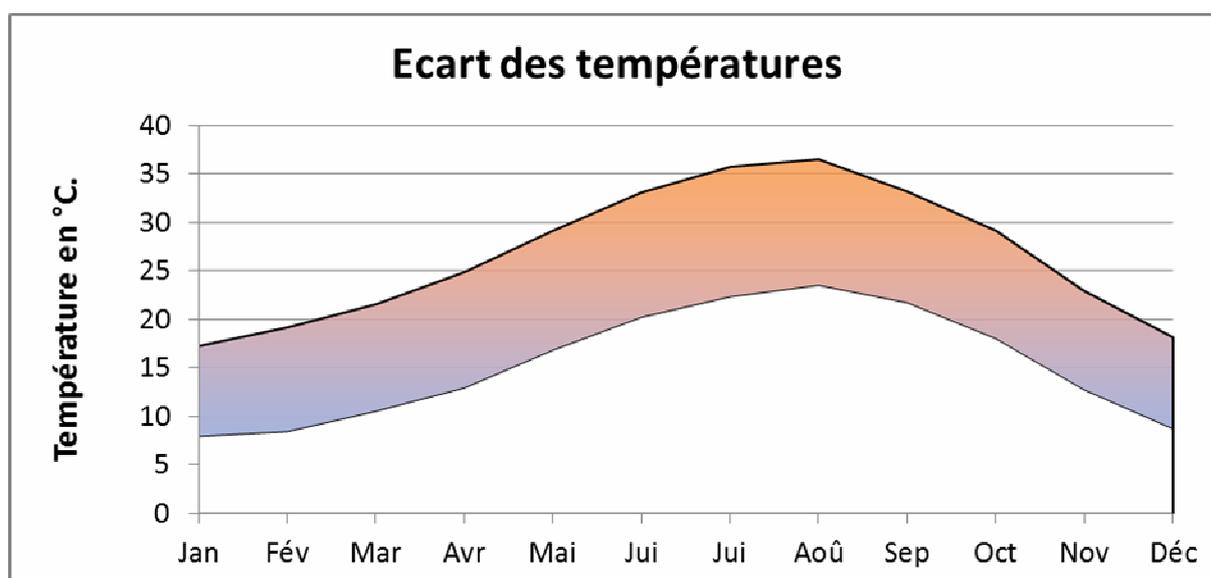


Figure 5: Ecart entre les moyennes mensuelles de températures (en  $^{\circ}\text{C}$ .) minimales et maximales pour Médenine entre 1979 et 2002. Source: Genin et al 2006

- Précipitations

Située en zone aride, la région de la Jeffara a une pluviométrie annuelle faible (moins de 200 mm par an) et peu fréquente (environ 30 jours de pluie par an) (Genin et Sghaier 2003). « Toutes les études entreprises sur le régime des pluies et sa variabilité dans les régions méridionales de la Tunisie concordent pour mettre en avant l'extrême variabilité de la pluviométrie annuelle » (Genin et al 2006). En effet, les précipitations y sont caractérisées par une répartition spatio-temporelle inégale, une variabilité interannuelle forte et une haute intensité. La majeure partie des pluies sont obtenues entre octobre et mars, tandis que les mois de juin, juillet et août sont quasiment secs.

Aucune tendance significative imputable aux changements climatiques n'a été jusqu'à présent constatée dans l'étude des séries pluviométriques (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 2001).

Carte 1. Isohyètes de la région de la Jeffara

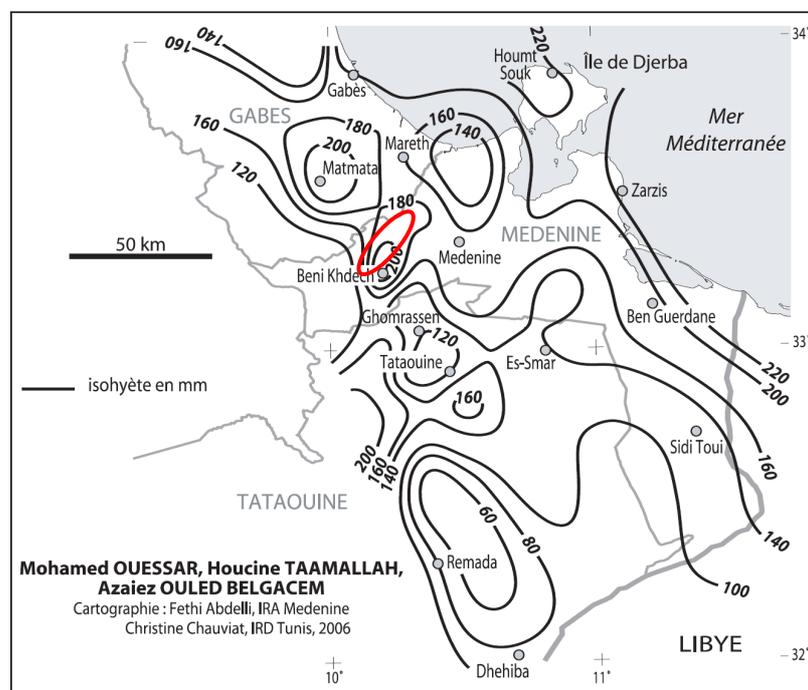


Figure 6: Carte présentant la pluviométrie moyenne interannuelle durant la période 1949-2001. Les régions littorales et les zones montagneuses ont une pluviométrie supérieure. En rouge l'emplacement du bassin versant de l'oued Hallouf. Source: Genin et al 2006

- Evapotranspiration, vent et sécheresse

Non seulement la Jeffara tunisienne reçoit peu de précipitations, mais elle souffre aussi d'une importante évapotranspiration. Celle-ci est due aux hautes températures, à une insolation moyenne forte (3200-3400 heures par an avec en moyenne 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/jour) (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 2001), aux faibles précipitations ainsi qu'au régime de vents d'étés chauds et secs qui accélèrent l'évapotranspiration (De Graaff et Ouessar 2002).

La forte évapotranspiration potentielle compense très nettement les précipitations, ce qui conduit à un déficit hydrique toute l'année. Celui-ci est particulièrement important durant la période estivale, lorsque le bilan hydrique est fortement négatif à cause d'une importante évaporation et de très faibles précipitations (Genin et al 2006).

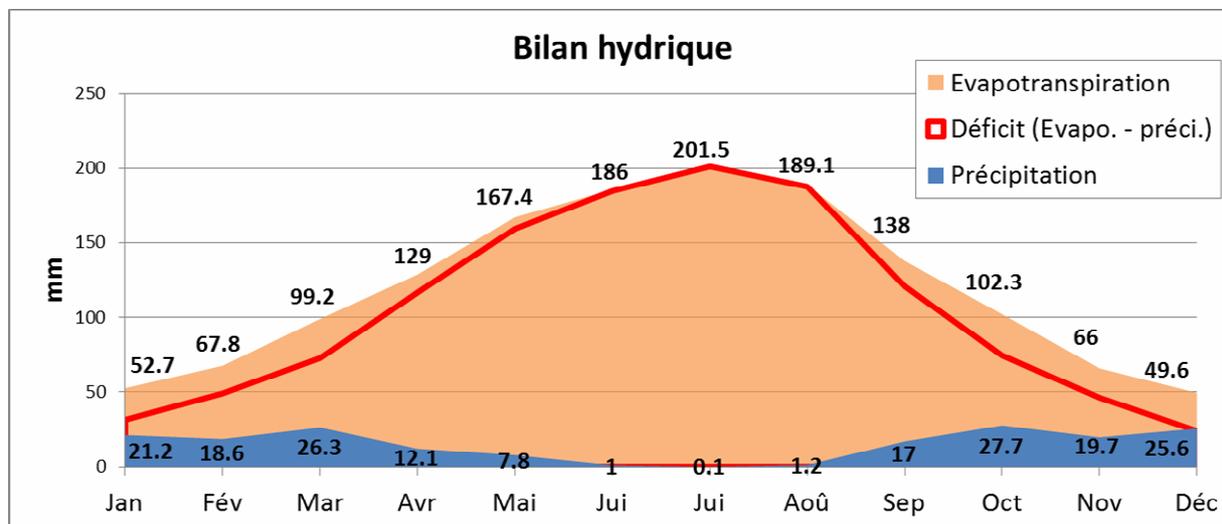


Figure 7: Bilan hydrique mensuel entre évaporation (en mm., calculée par la méthode d'Hargreaves) et précipitations (en mm.) pour Médenine (1979-2002). D'après Ouessar 2007.

L'analyse des données pluviométriques à l'échelle de la région permet de caractériser l'évolution de la sécheresse météorologique. Il apparaît ainsi que les années sèches sont récurrentes et généralement isolées, tout en s'inscrivant dans des périodes alternativement à tendance humide ou sèche.

La sécheresse est évidemment d'autant plus sévère que les années déficitaires au niveau hydrique se suivent directement (Genin et al 2006).

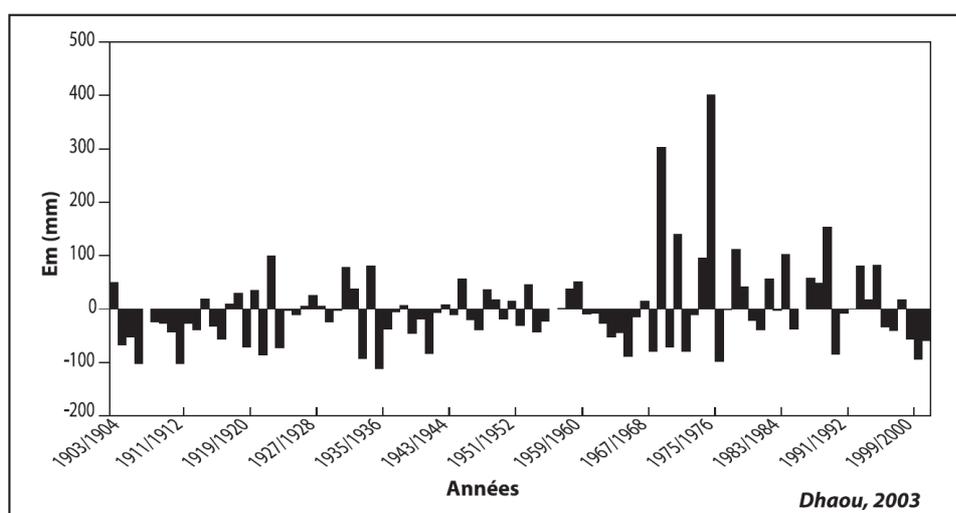


Figure 8: Indication de l'intensité de la sécheresse mesurée par l'écart de la pluviosité annuelle à la moyenne de la période d'étude, à Médenine.

Cette station constitue le meilleur exemple de caractérisation de la sécheresse à l'échelle de la saison puisqu'elle comporte la série de données la plus longue (suite de 96 années). Source: Genin et al 2006

## 2.3 Géomorphologie

Le relief du Sud-Est de la Tunisie est constitué d'une structure sédimentaire tabulaire simple. Il s'agit d'une cuesta avec un faible pendage vers l'ouest, ayant d'ouest en est le plateau du Dahar comme revers de ce plan incliné, la région montagneuse des Djebels comme corniche et la plaine de la Jeffara comme zone de dépression.

Le bassin versant d'étude se situe sur le versant oriental de la cuesta. Il comprend les formes morphologiques suivantes :

- Les Djebels (ou chaîne montagneuse des Matmatas)

Principal relief de la région (jusqu'à 600 m. d'altitude), la chaîne des Djebels s'étend selon un axe nord ouest – sud est à une cinquantaine de kilomètres de la côte. Elle borde le bassin versant de l'oued Hallouf à l'ouest et en constitue la partie supérieure. Ces collines massives résultent du creusement par l'érosion éolienne et hydrique de vallées profondes dans les roches tendres du front de la cuesta (Genin et al 2006). La structure de la chaîne des Matmatas est bien visible puisque les versants sont découverts de végétation et de sols (De Graaff et Ouessar 2002).

- Le piedmont

La transition entre les Djebels et la plaine se fait par la zone de piedmont. Les dépôts d'éléments grossiers à fins résultant de l'érosion s'y accumulent sous forme de cônes de déjection ou de couches de loess. La présence de limons est favorable à la fertilité des sols et donc à leur mise en culture (Genin et al 2006).

- La plaine de la Jeffara

Cette plaine vaste et presque plate, à l'exception de quelques collines, s'étend de la zone de piedmont à la mer. D'une altitude maximale avoisinant 200 mètres, sa surface incisée de plusieurs oueds est inclinée très faiblement (<1%) selon un axe sud-ouest nord-est. Sa bordure littorale contient par endroits des sebkhas (Genin et al 2006 ; De Graaff et Ouessar 2002).

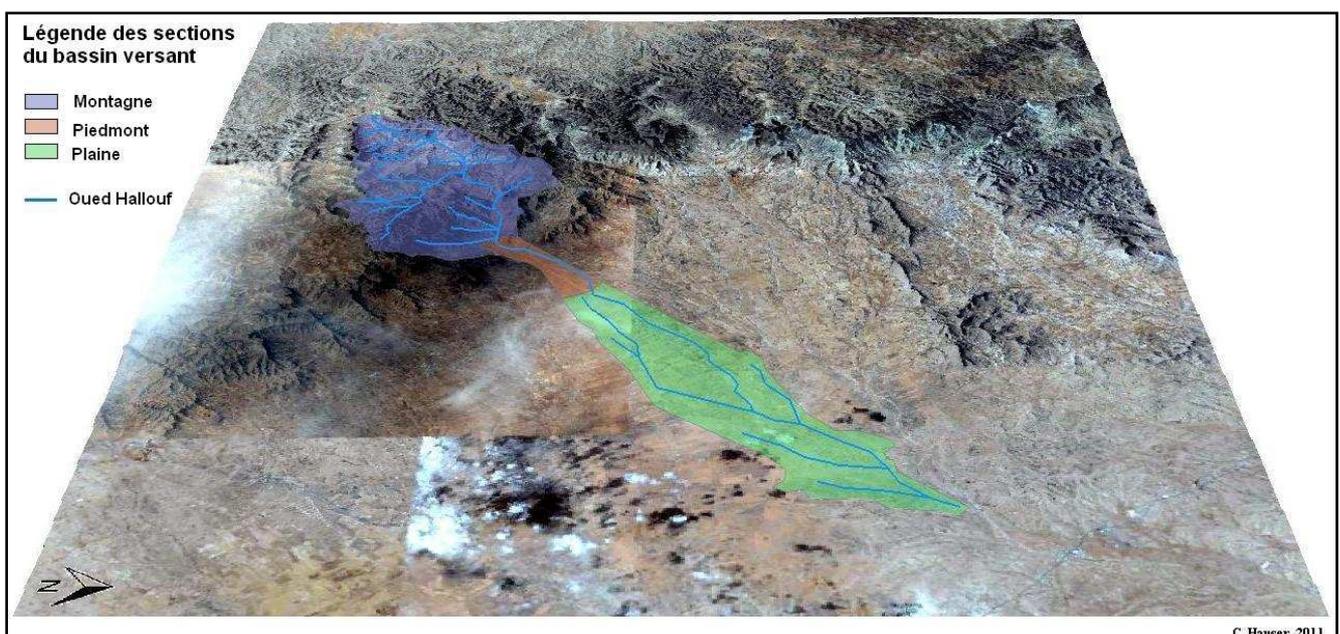


Figure 9: Etendue des différentes zones géomorphologiques. Délimitations selon Genin et al 2006.

## 2.4 Hydrologie

- En surface

Le réseau hydrographique dense et hiérarchisé drainant l'est de la chaîne des Matmatas est composé de plusieurs grands oueds ayant comme exutoire la mer ou une sebkha. En raison des conditions climatiques arides, les écoulements concentrés dans les lits des oueds n'ont lieu que tous les quatre à cinq ans, lors de très intenses précipitations orageuses. Seules des crues exceptionnelles permettent aux eaux d'atteindre la mer (Genin et al 2006).

Les ruissellements, bien que temporaires et irréguliers, sont essentiels aux pratiques agricoles et font l'objet de mesures de conservation des eaux et des sols (CES). Le bilan hydrique des zones en amont est rendu plus déficitaire qu'en aval à cause de ruissellements plus importants.

L'oued Hallouf prend naissance au niveau de Ksar Hallouf (450 m.), dans la zone plus arrosée des Djebels, traverse les zones à faible pente de la Jeffara et aboutit à sa confluence avec l'oued Oum Zessar (à 105 m. d'altitude). Son bassin versant présente dans sa partie supérieure et pentue un réseau de drainage dendritique dans des vallées sèches en forme de U. La zone de piedmont recueille une importante partie de la charge sédimentaire transportée lors de crues, ce qui explique la profondeur supérieure à la moyenne des sols. Alors que son lit s'élargit en fonction de sa progression vers l'aval, l'oued Hallouf est organisé en réseau hydrographique parallèle dans sa partie inférieure à très faible pente.

<b>Caractérisation du bassin versant</b>	<b>Oued Hallouf</b>
Aire (km <sup>2</sup> )	80.8
Périmètre (km)	69.4
Ramification (Classification de Strahler)	4
Réseau de drainage	Dendritique (amont) Parallèle (aval)
Densité du drainage (km/km <sup>2</sup> )	1.1
Pente moyenne	18 % (amont) 0.7 % (aval) 1.1 % (total)
Coefficient de Gravelius	1.13 (amont) 1.46 (aval) 1.37 (total)

Figure 9 (tableau): Dans son ensemble, le bassin versant de l'oued Hallouf, avec sa forme allongée et sa faible pente en aval, devrait donner lieu à un ruissellement lent et peu concentré. Toutefois, à cause de son fort dénivelé et de sa forme compacte (coefficient de Gravelius proche de 1), la zone amont est caractérisée par un fort débit de pointe, violent et érosif. Celui-ci vient ensuite s'épancher dans la plaine.

- En profondeur

Bien que peu fournie en eau de surface, la région de l'oued Hallouf bénéficie d'importantes ressources hydrauliques souterraines.

Situées proches de la surface (<50m), les principales nappes phréatiques sont essentiellement situées hors du bassin versant d'étude, plus en aval. Elles sont alimentées par des nappes de moindre importance situées dans les vallées des oueds et résultant de l'infiltration des eaux pluviales qui s'écoulent à travers les alluvions du lit des oueds.

Dans la partie amont du bassin versant d'étude se trouve une petite nappe phréatique (40 m. d'épaisseur, salinité de 1-5 g/l et 5 l/s de ressource exploitable) faisant partie de l'extrémité orientale d'une nappe du Dahar (Genin et al 2006).

Malgré leur faible capacité, ces ressources hydrauliques souterraines sont exploitées au moyen de puits et de pompes.

Le bassin versant de l'oued Hallouf s'étend sur trois importantes nappes profondes.

En amont d'abord, on distingue la nappe du Jurassique de Beni Khedache pouvant être atteinte à 200-300 m. de profondeur. D'une salinité de 1.7 à 6 g/l, elle est principalement captée (ressource exploitable de 16 l/s) pour l'approvisionnement en eau du cheptel du plateau du Dahar.

En aval ensuite, la nappe de Grès du Trias (profondeur 100-300 m., salinité de 0.9 à 3 g/l et ressource de 150 l/s) fournit de l'eau potable et permet l'irrigation. Sa recharge s'effectue principalement par infiltration dans la zone de piedmont et à travers le lit des oueds. D'importance régionale avec ses 785 km<sup>2</sup>, la nappe de Zeuss-Koutine (profondeur 100-300 m., salinité de 1.5 à 5 g/l et ressource de 300 l/s) est utilisée pour l'industrie, l'irrigation et l'alimentation en eau potable des villes du gouvernorat (De Graaff et Ouessar 2002 ; Genin et al 2006).

## 2.5 Utilisation des terres

Malgré des conditions climatiques arides contraignantes dues notamment à un déficit en eau et en sols, la région de la Jeffara a connu durant les quatre dernières décennies une évolution considérable de l'occupation de son espace rural. Celui-ci est désormais principalement occupé par des surfaces agropastorales.

Traditionnellement basé sur la complémentarité d'une production agricole intensive en petites parcelles et d'une exploitation pastorale extensive, le système agraire a montré ses limites lorsque la pression sur les ressources naturelles s'est intensifiée et a conduit à une dégradation du milieu et des structures agropastorales. A la suite de vastes programmes de conservation et de mobilisation des ressources, l'utilisation des terres est passée d'une stratégie d'adaptation à une stratégie d'évitement des risques naturels. Ainsi le système agropastoral repose désormais sur une production plus intensive, individuelle et hétérogène où la compétition pour les sols et l'eau joue un rôle important. C'est pour cette raison que les activités agricoles doivent être considérées comme une catégorie essentielle d'utilisation des terres (Genin et Sghaier 2003 ; Genin et al 2006).

Situé en zone rurale, le bassin versant d'étude est caractérisé par une occupation du sol alliant principalement des surfaces de production agricole à des steppes peu propices à l'exploitation. Compte tenu des conditions climatiques et hydrologiques défavorables, les ouvrages de

conservation des eaux et des sols (voir p. 16) conditionnent directement l'utilisation du sol sur lequel ils se trouvent. En effet, une emprise et un développement agricole aussi importants en région aride ne peuvent s'expliquer que par la mise en valeur et la mobilisation de toutes les ressources disponibles. La production agricole reste toutefois irrégulière, à productivité faible et peu rentable.

Dans le bassin versant de l'oued Hallouf, l'aridité explique aussi le fait que toute surface exploitable soit occupée et que l'affectation des terres soit représentative non pas de la couverture du sol (bien souvent nu) mais de la prépondérance d'une pratique agricole sur la zone alentour.

L'utilisation pérenne des terres se résume principalement en deux catégories : l'arboriculture et le pastoralisme. Chacune de ces deux classes se divise encore suivant son appartenance topographique, à savoir entre montagne et plaine (Ouessar 2007).

Les zones de cultures saisonnières et occasionnelles (essentiellement céréales et légumes) ne sont pas considérées comme une catégorie permanente d'utilisation des terres (Ouessar 2007) mais nécessitent d'être prises en compte.

## **Arboriculture**

La plantation d'arbres fruitiers dans le bassin versant d'étude se fait uniquement sur les terrasses fertiles créées par les ouvrages de rétention d'eau et de sédiments. Elle est dominée à près de 90 % par l'olivier (Ouessar 2007). Les autres espèces fruitières cultivées sont l'amandier, le figuier, le palmier dattier et la vigne. La quantité de la récolte annuelle varie suivant les conditions pluviométriques de l'année précédente.

- Oliviers sur jessours

La culture en jessours (voir p. 17) est traditionnellement la principale utilisation agricole des terres dans les régions montagneuses ou vallonnées du sud de la Tunisie. L'essor de l'arboriculture en zone de montagne au cours des dernières décennies (progression d'environ 280% entre 1974 et 1999) (Genin et al 2006) a conduit à une intensification de l'utilisation des fonds de vallées. Ce développement accroît les pressions sur les ressources hydrauliques et rend nécessaire des apports en eau lors des grandes sécheresses.

La densité d'arbres en zone de jessours est relativement importante et peut atteindre jusqu'à 60 arbres par hectare. En moyenne, un cultivateur possède 6 parcelles de 0.25 hectares (Ouessar 2007).

- Oliviers sur tabias

La forte croissance de l'arboriculture, notamment encouragée par des politiques publiques d'aide à la plantation, a conduit à l'expansion des vergers fruitiers jusqu'en zone de piedmont puis en plaine, où la superficie de l'arboriculture a progressé de 900% (Genin et al 2006) entre 1974 et 1999. De même qu'en région montagneuse, l'arboriculture n'est possible qu'en présence d'ouvrages de rétention d'eau, lesquels conditionnent ainsi fortement la répartition spatiale de cette classe d'utilisation des terres.

La densité d'arbres en plaine est légèrement inférieure (environ 40 arbres par hectare) à celle en zone montagneuse, sans doute car plus d'espace y est disponible. L'aire cultivée varie de 5 à 46 hectares par agriculteur (Ouessar 2007).

La mise en arboriculture gagne de plus les portions de terres sensibles à l'érosion et marginales car ne bénéficiant pas d'une qualité de sols suffisante. Les périodes de sécheresse y représentent alors un important risque pour les arbres (surtout les amandiers, moins résistants à l'aridité) et nécessitent la pratique de l'irrigation d'appoint (Genin et al 2006).

## **Pastoralisme**

Les zones de parcours (terrains à faible végétation non cultivés et utilisés pour le pâturage) représentent la catégorie d'utilisation des terres la plus présente dans le bassin versant de l'oued Hallouf. La division en deux entités (montagne et plaine) est justifiée par la différence de phénologie de la végétation et par les pratiques pastorales (Ouessar 2007).

- Terres de parcours en montagne

Pratiqué dans la partie amont du bassin versant, ce type d'usage des sols concentre tous les terrains impropres à la culture à cause de leur forte pente, de leur faible sol ou de leur difficile accessibilité. Depuis des siècles, la pratique de l'élevage ou du pastoralisme de petits ruminants se fait surtout dans les vallées, dans les steppes alentours ou en cas de besoin sur le vaste plateau à vocation pastorale du Dahar (Hannafi et al 2002).

- Terres de parcours en plaine

La plaine de la Jeffara était traditionnellement occupée par les troupeaux provenant des zones montagneuses transhumant sur des terrains collectifs. Les steppes servent désormais toute l'année à la pâture pour différents animaux (chèvres, moutons, chameaux). Les pressions exercées sur les terres notamment par l'augmentation de l'arboriculture et la privatisation des domaines ont conduit à un rétrécissement des zones de parcours en plaine. Les effectifs du cheptel sont en revanche en augmentation et de moins en moins mobiles, ce qui accroît les risques de surpâturage. Des projets de sauvegarde et de réhabilitation des zones de parcours dégradées sont en cours. L'élevage, pratiqué par environ 70 % des ménages (Genin et Sghaier 2003), se concentre sur les steppes résiduelles autour des exploitations et devient de plus en plus dépendant des ressources extérieures (fourrage).

- Cultures occasionnelles et irriguées

Ce type d'agriculture, bien que répandu dans le bassin versant d'étude, ne constitue pas de catégorie d'utilisation des terres en lui-même en raison de son caractère épisodique ou de sa présence sur des domaines destinés à l'arboriculture. Profitant des premières pluies de l'automne et de la fraîcheur de l'hiver, les agriculteurs des zones montagneuses plantent des céréales et des légumes (oignons, pois) sur les terrasses des jessours.

En région de piedmont ou de plaine, les périmètres irrigués privés occupent une surface de 0.2 à 10 hectares par exploitant (Ouessar 2007). Ils nécessitent de forts investissements devant assurer une production complémentaire à valeur ajoutée de céréales et légumes et limiter l'impact des aléas climatiques sur la culture.

La très importante progression de cette forme la plus intensive d'utilisation des terres dans la région pose des problèmes d'inégalité d'accès aux ressources et de surconsommation d'eau de puits et de forage.

## 2.6 Végétation

« Le couvert végétal constitue en zones arides un élément fondamental du fonctionnement des écosystèmes et un support important d'activités humaines. Cette végétation présente des caractéristiques d'adaptation édapho-climatiques remarquables, mais est fragilisée par des pressions anthropiques » (Genin et Sghaier 2003).

Le type de végétation le plus présent dans le bassin versant de l'oued Hallouf est la steppe. Les espèces qui la composent se différencient toutefois selon le relief et le type de sols.

Les matorrals bas (paysage de broussailles) sont ainsi fréquents dans les Djebels, et les steppes à chamaephytes et à graminées pérennes se rencontrent sur les piémonts et les plaines (Genin et al 2006). Le lit des oueds est particulièrement riche en espèces végétales de diverses origines biogéographiques, amenées par le ruissellement (Ouessar 2007).

De multiples efforts ont été déployés pour contrer la dégradation de la couverture végétale, laquelle joue notamment un rôle important de lutte contre l'érosion éolienne.



Figure 10: Zone de steppe dans la plaine de la Jeffara.  
Au loin les Djebels (chaîne des Matmatas) sont visibles.

## 2.7 Sols

Les ressources pédologiques du bassin versant d'étude sont relativement maigres. Seules des techniques de conservation des eaux et des sols permettent une utilisation agricole de ces sols peu fertiles et de faible épaisseur.

Système pédologique	Matériau originel	Types de sols prédominants	Caractéristiques
Système amont	Sables et limons du quaternaire d'origine éolienne	Sols minéraux bruts et sols peu évolués d'érosion lithosoliques et régosoliques	Sols très peu profonds, sableux à sablo-limoneux; teneur faible en matière organique, très forte charge en cailloux en surface
Système aval	Dépôts fluviatiles localisés au niveau des lits d'oueds et éoliens	Sols calcimagnésiques rendzines et sols isohumiques bruns calcaires tronqués avec des sols d'apport hydrique au niveau des lits d'oueds	Sols peu profonds, sableux à sablo-limoneux; teneur faible en matière organique, forte charge en cailloux en surface avec des sols très profonds au niveau des zones d'apport

Source: Genin et al 2006

## 2.8 Aspects socio-économiques

La région de l'oued Hallouf, de même que le Sud tunisien en général, a connu un développement démographique, social et économique conséquent. Ainsi la population a presque doublé entre 1975 et 2004 dans le gouvernorat de Médenine et le développement des infrastructures (routes, électrification, réseau d'eau), des services et du tourisme en ont achevé le désenclavement (Genin et al 2006).

Ce dynamisme démographique est toutefois à nuancer, puisque les régions rurales ou hors des principaux axes de communication perdent depuis quelques années des habitants en raison des migrations régionales, nationales ou internationales.

Des statistiques valables uniquement pour la zone d'étude n'étant pas disponibles, les données actuelles suivantes sont jugées comme équivalentes et représentatives :

Densité de population	Environ 40 habitants / km <sup>2</sup>
Espérance de vie	72 ans
Population (2004)	Koutine (aval) 1980
	El Bayhra (piedmont) 2561
	Ksar Hallouf (amont) Estimée à 100
Personnes par ménage	6.5 en moyenne
Démographie	-0.9 % à Beni Khedache entre 1994 et 2004
Âge moyen	28.8 ans
Revenu annuel moyen	2764 DT (env. 2000 US\$) pour Médenine Nord

Source : Institut national de la statistique 2004 ; Ouessar 2007 ; Genin et al 2006

Bien qu'habitant en zone rurale, la population de la zone d'étude diversifie ses sources de revenus. Elle ne peut en effet baser toute son économie sur un secteur agricole fortement dépendant des aléas climatiques et risquant de causer un état de précarité lors des sécheresses. L'agriculture, occupation ayant le plus d'impacts sur la conservation des eaux et des sols, est ainsi de plus en plus le complément d'activités liées au commerce, à la migration ou encore aux emplois publics. De ce fait, « 34,5 % des actifs de la zone ont un statut professionnel lié au secteur agricole et seulement 17 % des chefs de ménage déclarent que les activités agropastorales constituent leur principale source de revenus. Pourtant, près de 88 % des ménages ont une activité agropastorale » (Genin et al 2006). Les hommes délaissant toujours plus le travail agricole afin de diversifier leur revenu, les femmes et les vieillards assument une responsabilité grandissante dans l'exploitation familiale.

S'il fallait définir les caractéristiques d'une exploitation agropastorale typique de la région de la Jeffara, ce serait « une activité familiale comprenant 3-4 actifs/ménage, la possession d'environ 70 pieds d'oliviers, une trentaine d'autres arbres fruitiers, la mise en culture de céréales en sec (avec très peu d'intrants) de 2 à 5 ha quand les conditions climatiques le permettent (2 à 3 années sur 5) et la propriété d'un troupeau sédentaire d'une trentaine de têtes de petits ruminants (2/3 ovins, 1/3 caprins) » (Genin et Sghaier 2003).

### **3. Conservation des eaux et des sols dans le bassin versant de l'oued Hallouf**

La menace de désertification qui pèse sur le Sud tunisien dépend des interactions entre phénomènes biophysiques et processus socio-économiques. Ainsi les conditions climatiques difficiles et les faibles ressources en sols ont constamment été sources de limitations et de risques pour les populations locales. Celles-ci se sont toutefois bien adaptées à cet environnement peu propice. Depuis une quarantaine d'années toutefois, l'artificialisation du milieu et l'intensification de pratiques agraires à la pertinence économique incertaine bouleversent le fragile équilibre écologique, aggravant ou créant des problèmes de dégradation.

#### **3.1 Contexte des pressions climatiques et humaines**

Les phénomènes et processus suivants représentent les principales contraintes pour la gestion durable des terres dans la zone d'étude:

- Aridité

Une pluviométrie faible et irrégulière, des moyennes de température élevées et une forte évaporation font de la région d'étude une zone aride, où par définition toute pratique agro-pastorale se révèle être précaire.

- Crues

Bien que peu fréquentes (tous les 4 ou 5 ans) (Genin et Sghaier 2003), les crues, causées par des événements orageux, sont dévastatrices pour les ouvrages de conservation et les infrastructures présentes à proximité de l'oued. Cela est dû au coefficient de ruissellement élevé du bassin versant et à la forte charge solide mobilisable.

- Erosion

L'érosion hydrique, allant du décapage diffus et localisé au ravinement, est due aux précipitations torrentielles, à la très faible végétation et au sol fragile. Elle touche fortement le bassin versant de l'oued Hallouf dans sa partie amont et est la principale cause de la dégradation de la couche superficielle, mais devient moins importante en direction de l'aval où la pente est moins forte.

L'érosion éolienne, moins présente, affecte principalement les surfaces de steppes ayant été dénudées et labourées en vue d'une utilisation agropastorale (Ministère de l'environnement et du développement durable, 2006).

- Pression sur les ressources

L'augmentation de la population durant les dernières décennies, combinée à la forte emprise sur les terres (privatisation, extension des superficies cultivées, transformation de l'usage des sols) exerce une pression considérable sur les ressources naturelles et représente ainsi un facteur de dégradation du milieu. En effet, la trop forte mise en valeur des eaux souterraines conduit non seulement à leur surexploitation, mais aussi à une répartition inégale des ressources hydriques, laissant aux populations rurales de faibles quantités d'eau de plus en plus salées. De même, la couverture végétale dégradée par la densification des activités pastorales n'offre plus toujours une protection efficace des sols face à l'érosion éolienne.

## 3.2 Les techniques de conservation des eaux et des sols

Les aménagements et techniques de lutte contre la désertification font désormais partie intégrante du paysage du Sud de la Tunisie. Ils constituent la réaction du secteur agricole face aux processus de dégradations des fragiles ressources naturelles, mais permettent également de rendre productif cet environnement aux conditions difficiles.

Plusieurs structures (par exemple les ruines d'un ouvrage de rétention datant de l'époque romaine à proximité du village de Koutine) témoignent des efforts d'adaptation au milieu aride entrepris depuis des temps très anciens. C'est cependant avec la colonisation française et surtout après l'indépendance du pays que les travaux de conservation des eaux et des sols ont véritablement été organisés en stratégie de lutte anti-érosive (Genin et al 2006). L'État tunisien est depuis ses débuts engagé dans une « politique de maîtrise des eaux de surface et de sauvegarde des terres en pente, de lutte contre l'ensablement et d'amélioration des parcours » (Genin et Sghaier 2003).

Les techniques de conservation des eaux et des sols suivantes ont été mises en œuvre dans le bassin versant de l'oued Hallouf :

- Jessours

La technique ancestrale des jessours (pluriel de « jessr », littéralement « pont » en arabe) est emblématique de la chaîne montagneuse des Matmatas. Ces aménagements, disposés habituellement en série le long des talwegs, servent à collecter les eaux de ruissellement ainsi que les sédiments résultant de l'érosion des versants. Une unité de jessour est constituée d'une digue en terre consolidée de pierres (15-50 m. de long et 2-5 m. de haut), d'un déversoir latéral ou central destiné à évacuer l'eau en excès vers l'aval et d'une retenue se transformant progressivement en terrasse suite à l'accumulation des alluvions piégés. L'apport en eau se fait par un impluvium propre à chaque unité, ou par le débordement des ouvrages en amont.

Les matériaux meubles collectés derrière la digue forment un sol artificiel permettant une mise en culture (arboriculture, céréaliculture) autrement non envisageable dans ce milieu.

Les eaux emmagasinées, en plus d'irriguer les cultures, s'infiltrent et rechargent l'aquifère. D'autres bienfaits sont à mettre sur le compte des jessours, comme la protection contre les dégâts des crues en ralentissant les écoulements, ou encore la rétention des sédiments fins susceptibles d'être emportés par le vent s'ils atteignent la plaine (Fetoui et al 2002).

L'efficacité de cet ingénieux système hydraulique est mise en péril par l'évolution socio-économique de la région. En effet, l'importance déclinante du secteur agricole, le manque de cohésion sociale et l'émigration ne permettent plus d'assurer correctement l'exploitation et l'entretien des jessours. Pour éviter leur abandon ou leur rupture, des associations locales essaient d'organiser au mieux la gestion de ces aménagements.



Figure 11: Paysage de jessours arrangés en cascade près de Beni Khedache.

- Tabias

La technique relativement nouvelles des tabias a été importée par les montagnards ayant émigré au cours du dernier siècle en direction de l'aval. Ils se sont inspirés des jessours pour développer ces aménagements, très répandus dans les zones de piedmont et de plaine (où la pente n'excède pas 3% et où le sol est relativement profond) (Ouassar 2007).

Cette pratique de collecte des eaux est composée d'une longue banquette en terre d'environ 1.5 mètre de haut pour 50 à 200 mètres de long, disposée en courbe de niveau sur les versants ou les oueds de moindre importance et construite manuellement ou mécaniquement. En plus de leur répartition géographique, des banquettes latérales aux extrémités de la digue principale différencient également les tabias des jessours. L'objectif de ces ouvrages est toutefois similaire, à savoir la collecte des eaux de ruissellement pour l'irrigation complémentaire des arbres et des cultures annuelles, la recharge de la nappe par infiltration et la protection contre les crues et l'érosion. A cause de leur structure en terre, les tabias subissent inévitablement des ruptures lors des événements pluvieux extrêmes.

Les tabias, en plus d'être essentiels à la culture en zone de piedmont et en plaine, sont également utilisés comme protection d'infrastructure contre les crues ou encore comme élément de délimitation de parcelles.



Figure 12: Oliviers situés au plus près de la digue en terre (tabia), où les écoulements s'accumulent et s'infiltrent.

- Ouvrages en gabion

Les ouvrages en gabion (cages métalliques remplies de pierres) sont des petits barrages de 2 à 3 mètres de haut disposés à intervalles réguliers en travers des oueds principaux dans le but d'en ralentir, collecter et infiltrer en profondeur les écoulements. Ils sont issus de l'ingénierie civile et font partie du domaine public hydraulique. L'investissement important qu'ils nécessitent dans leur mise en œuvre et leur entretien est compensé par une contribution efficace à la recharge de la nappe phréatique et au laminage des eaux de crues (Abdelli et al 2004). A moyen terme toutefois, les aménagements en gabion subissent une diminution (plus forte en amont qu'en aval) de leur capacité de rétention d'eau à cause des sédiments issus de l'érosion qui s'accumulent derrière ces ouvrages de recharge. L'aire de retenue comblée ne pouvant pas être curée pour des raisons de coût, elle est mise en culture afin de profiter de l'épaisseur de sol ainsi créée.

Les structures en gabion sont aussi utilisées pour renforcer l'extrémité de digues, le plus souvent en terre, qui sont positionnées au bord de l'oued afin de dévier une partie du flux et de le canaliser vers une zone de culture. Ces ouvrages d'épandages sont présents sur les oueds secondaires où les crues ne sont pas trop fortes, mais ils nécessitent tout de même un dimensionnement adéquat afin de dévier un maximum d'eau sans pour autant capter l'oued.



Figure 13: Exemple d'ouvrage en gabion vu depuis son aval.

- Puits filtrants

Ce système de recharge expérimental a été développé pour remédier à l'imperméabilisation progressive du sol derrière les aménagements de recharge. Il consiste en un tube métallique reliant la surface à la nappe phréatique, placé dans l'aire de retenue des ouvrages en gabion. Contribuant efficacement à court terme à la recharge de l'aquifère à l'aide des eaux de ruissellement, cette technique est confrontée au colmatage de ses filtres par les sédiments, ce qui diminue fortement sa capacité d'infiltration (jusqu'à une perte de plus de 90% après dix cycles d'utilisation) (Ouessar 2007). Les puits filtrants font l'objet de recherche et de test destinés à en améliorer les performances, avant que cette technique soit propagée.

Il est à signaler qu'aucun de ces ouvrages de recharge n'est à l'intérieur des limites strictes du bassin versant. Quelques-uns sont cependant situés à environ 1 kilomètre à l'aval de l'exutoire de l'oued Hallouf. Puisqu'ils « font partie du paysage » des aménagements de collecte des eaux et que leur impact direct (recharge de la nappe) est mesurable dans la zone d'étude, ils ont été pris en compte dans l'inventaire des technologies.



Figure 14: Puits filtrant perforant le sol dans la retenue d'un ouvrage en gabion (non visible).

- Citernes

Les citernes sont traditionnellement en Tunisie des ouvrages importants de collecte des eaux pluviales. Qu'il s'agisse de cuves familiales (majel) d'une petite contenance de quelques mètres cubes ou de réservoirs communaux (fesguia) plus volumineux, les citernes sont constituées d'un impluvium qui recueille et dirige les eaux de pluie, d'un bassin de décantation de sédiments et d'une fosse de stockage étanche en pierre et ciment.

L'eau des citernes est utilisée pour les différentes activités domestiques. Bien que potable, l'eau de puits, lorsque disponible, lui est toutefois préférée pour la consommation.

Ces réservoirs enterrés sont aussi répartis dans les terrains pastoraux, où ils servent à l'abreuvement du bétail lorsque les eaux souterraines ne suffisent quantitativement ou qualitativement pas (De Graaff et Ouessar 2002). Lors des périodes de sécheresse, les citernes fournissent également l'arrosage d'appoint.



Figure 15: Citerne enterrée de type « majel ». Les écoulements de l'impluvium naturel sont canalisés jusqu'à l'ouverture menant au réservoir.

#### Résumé des fonctions de conservation des eaux et des sols des technologies

	Jessour	Tabia	Ouvrages en gabion	Citerne	Puits de recharge
Protection contre l'érosion	✓	✓			
Collecte des eaux de ruissellement	✓	✓		✓	
Protection contre les crues	✓		✓		
Recharge de la nappe			✓		✓

# Partie II Méthodologie

## 4. Théorie

### 4.1 État de la lutte contre la désertification au niveau mondial

Comme c'est le cas pour la plupart des préoccupations liées à l'environnement, la véritable prise de conscience et la volonté d'agir contre le phénomène de la désertification remontent aux années 1970. Ainsi, sans doute incitée par l'importante sécheresse dont a été victime l'Afrique à cette période-là, une conférence des Nations unies sur la désertification (UNCOD) a eu lieu en 1977 à Nairobi, au Kenya. Pour la première fois la désertification y est présentée comme un problème mondial, ce qui conduit à l'adoption d'un Plan d'action pour la combattre (Convention de l'Organisation des Nations unies sur la lutte contre la désertification). La lutte contre la désertification a ensuite été un point important lors du Sommet « planète Terre » de Rio de Janeiro en 1992. Cette conférence a lancé une approche nouvelle visant à promouvoir le développement durable à un niveau local.

Depuis, 102 pays (mars 2009) ont défini leur plan d'action national de lutte contre la désertification. Ces programmes gouvernementaux visent à étendre les collaborations avec d'autres parties prenantes du développement durable au niveau national, comme les organisations non gouvernementales et les instituts de recherche par exemple. Afin de ne pas rééditer les erreurs du passé, ils doivent être suffisamment souples pour s'adapter aux circonstances locales (Convention de lutte contre la Désertification 2009).

D'autres projets, comme le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) ou l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire, contribuent également au développement durable des pays touchés par la sécheresse et la désertification.

### 4.2 État de la lutte contre la désertification dans le Sud de la Tunisie

Afin de préserver ses ressources, la Tunisie déploie d'importants efforts de lutte contre la désertification et d'encouragement au développement durable. Au niveau national comme au niveau régional de la Jeffara, trois phases de l'évolution des approches concernant les stratégies élaborées et les projets mis en œuvre peuvent être distinguées (Genin et al 2006).

- Lors de la réalisation des premiers plans de lutte contre la désertification dans les années 1960, l'ensablement était vu comme le principal fléau à combattre. Plusieurs interventions de stabilisation des dunes et de reboisement ont ainsi eu lieu, notamment afin de protéger les infrastructures contre les accumulations sableuses. Les résultats mitigés de ces pratiques sont dus à l'absence de prise en compte des causes de l'ensablement, aux moyens techniques inappropriés et au manque de concertation avec les populations concernées.
- Suivant la stratégie nationale de lutte contre la désertification établie en 1985, les politiques menées se basent sur des solutions techniques telles que la fixation des mouvements de sable, le reboisement ainsi que les travaux de conservation des eaux et

des sols. Devant participer au développement socio-économique et à la conservation du milieu naturel, cette approche technique a eu des impacts ponctuels positifs, mais a surtout inscrit les méthodes de lutte dans un cadre plurisectoriel et préventif. Toutefois, des manquements dans le suivi des projets, dans la gestion des ressources et dans l'implication des populations ont été relevés.

- Après avoir ratifié la Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification en 1995, l'Etat tunisien a mis en œuvre un Programme d'Action national de Lutte contre la Désertification. En plus de combattre la désertification à long terme, son objectif est d'atténuer les effets de la sécheresse « grâce à des mesures efficaces prises à tous les niveaux dans le cadre d'une approche intégrée en s'appuyant sur le partenariat et la coopération entre les populations touchées et toutes les institutions étatiques et paraétatiques, les organisations professionnelles et les ONG, en vue de contribuer à l'instauration d'un développement durable dans les zones touchées » (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 1998).

Ce plan national est fractionné au niveau du gouvernorat en plans directeurs régionaux. Le Plan d'Action Régional de Lutte Contre la Désertification pour le gouvernorat de Médenine sert ainsi de document cadre aux politiques de développement intégré qui concernent le bassin versant d'étude. Il a pour but ultime de « participer, à travers le renforcement des capacités et la valorisation et la mobilisation des ressources humaines et naturelles rurales, à la création des conditions favorables au décollage social et économique de la région et notamment du monde rural » (Ministère de l'environnement et du développement durable 2006). Ce plan s'articule en plusieurs stratégies décennales. Celle actuellement en cours (2002-2011) a comme projets pour le secteur de l'oued Hallouf des activités concernant les aménagements de CES, la sauvegarde et la valorisation du patrimoine arboricole, l'appui aux activités féminines et l'amélioration de l'infrastructure rurale.

### **4.3 Le programme WOCAT**

Dans le plan d'action nationale, la valorisation des acquis de la recherche figure parmi les orientations pour une lutte contre la désertification plus efficace. En effet, la recherche doit non seulement participer à l'amélioration technique des ouvrages de conservation des eaux et des terres, mais aussi et surtout contribuer à la mise en place de systèmes de suivi. A l'aide d'indicateurs, ces processus d'évaluation permettent de déterminer les impacts biophysiques et sociaux des actions entreprises et servent également à la gestion à long terme de la lutte contre la désertification au niveau régional.

En plus des projets nationaux, le bassin versant de l'oued Hallouf bénéficie d'une couverture importante en programmes de recherches internationaux. Ceux-ci, s'étendant généralement au-delà de ce seul bassin versant, sont conduits par l'Institut des Régions Arides à Médenine (centre de recherche et de formation sur le développement du secteur agricole, la conservation des ressources naturelles et la lutte contre la désertification dans les régions arides et désertiques), en collaboration avec des équipes de chercheurs étrangers. La région est en effet jugée propice pour étudier la désertification puisqu'elle présente les caractéristiques d'une zone agro-pastorale aride faisant l'objet de mesures de conservation car rendue sensible par sa dynamique socio-économique et ses phénomènes de dégradation.

Les principaux projets mobilisant la communauté scientifique sur le site du bassin versant de l'oued Hallouf sont :

Nom	Objectifs	Mandataire
Plan d'action national de lutte contre la désertification (PAN)	Lutte contre la désertification et atténuation des effets de la sécheresse en Tunisie	Etat tunisien
Observatoire de la désertification	Echange d'informations sur la lutte contre la désertification	OSS, ROSELT
Sustainable Management of Marginal Drylands (SUMAMAD)	Gestion durable et conservation des terres arides marginales	UNU, ICARDA, UNESCO
Land degradation Assesment in Drylands (LADA)	Développement et diffusion de méthodes d'évaluation de la dégradation des terres	UNCCD, PNUE, FAO
Desertification mitigation and remediation of land (DESIRE)	Définition de stratégies alternatives d'utilisation et de gestion des terres	EU
World overview of conservation approaches and technologies (WOCAT)	Aide à la décision et partage des connaissances en gestion de l'eau et des sols	SDC, FAO, UNEP

Ce travail s'inscrit pleinement dans le cadre méthodologique du projet WOCAT.

L'acronyme WOCAT (en français : « Panorama mondial des approches et technologies de conservation ») est un réseau international fondé à Berne en 1992 dans le but de documenter, évaluer et diffuser les diverses connaissances en matière de conservation des eaux et des sols et ainsi de contribuer à la gestion durable des terres. Il sert de support à l'innovation et d'outil à la prise de décision grâce à sa base de données ouverte aux différents acteurs concernés. Les bénéficiaires du projet WOCAT, qui se veut participatif, se trouvent ainsi parmi les spécialistes de CES, les planificateurs, les exploitants agricoles ou les politiques. Son domaine principal d'action est la lutte contre l'érosion hydrique.

Les concepts méthodologiques du programme WOCAT sont les suivants :

- évaluation de la distribution locale et de l'adoption de cas réussis de gestion durable des terres
- apport d'un cadre standardisé permettant la comparaison et le partage au-delà du niveau local
- inclusion d'aspects aussi bien socio-économiques que biophysiques
- utilisation des connaissances des spécialistes et des utilisateurs des terres comme source de données, avec des informations scientifiques comme complément si disponibles
- usage de deux mêmes procédés pour l'évaluation et le partage du savoir.

Source : (Schwilch et al 2010)

La méthode du projet WOCAT repose sur l'utilisation de questionnaires standardisés et de la base de données qui les accompagne.

Les questionnaires WOCAT, complémentaires, sont au nombre de trois actuellement :

- Le questionnaire sur les techniques de CES  
Il rassemble pour chaque pratique de CES des informations concernant ses spécifications techniques, son environnement naturel et socio-économique ainsi que ses impacts.
- Le questionnaire sur les approches de CES  
Il renseigne sur la mise en œuvre des activités de conservation, et plus particulièrement sur leur fonctionnement, leur financement et leur suivi.
- Le questionnaire sur la cartographie de CES  
Il représente spatialement la répartition des différents types de dégradation et les mesures de conservation devant y remédier.

Ce procédé d'évaluation, mis en pratique dans le monde entier, est intégré dans les programmes DESIRE et LADA.

DESIRE compare les pratiques de gestion durable en 18 lieux différents par leurs caractéristiques socio-économiques et leur système d'utilisation des terres. Il a recours à la méthode WOCAT dans l'inventaire des connaissances locales. L'objectif de ce projet est de tester et développer des stratégies alternatives dans l'exploitation et la protection des zones vulnérables.

LADA répond aux besoins de comprendre l'évolution des phénomènes de dégradation à différentes échelles (locale, nationale et globale). L'approche WOCAT est mise à contribution pour la conception d'outils de cartographie au niveau national et pour la documentation des expériences locales de GDT à l'aide de ses questionnaires ([www.wocat.net](http://www.wocat.net)).

#### **4.4 Questionnaire sur les bassins versants**

Connaissant « les importants investissements mondiaux dans les approches de gestion de bassin versant pour la GDT et les besoins d'expérience dans l'évaluation et le partage du savoir accumulé » (WOCAT 2010), le projet WOCAT a développé un nouveau module consacré à la gestion intégrée de bassin versant. Il existe en effet une demande au niveau mondial pour obtenir, en consultation avec les parties prenantes, un aperçu de l'état et des possibilités d'amélioration des politiques de gestion des bassins versants (Achouri 2005).

En combinant les trois formulaires de base du programme, le nouveau questionnaire doit non seulement permettre de documenter les interactions des techniques et approches de GDT dans un bassin versant, mais aussi déterminer les impacts environnementaux et socio-économiques de sa gestion. La méthodologie du projet part du principe que les activités humaines ayant lieu sur les terres en sont les principales causes de dégradation.

Le contenu du questionnaire est structuré en chapitres comportant des données successivement sur les caractéristiques du bassin versant, sur sa gestion et sur l'analyse de son plan de gestion.

En 2010, WOCAT disposait d'une première version du questionnaire sur les bassins versants. Celui-ci a été élaboré par une équipe de chercheurs issus de plusieurs instituts collaborant au programme. Afin de déterminer ses points forts et faiblesses et de l'affiner, il a été décidé de tester sur le terrain ce nouveau questionnaire (voir objectifs p. 3).

## 5. Méthodologie de l'objectif 1 (Cartographie)

### 5.1 Objectif

Du point de vue technique, la gestion intégrée du bassin versant de l'oued Hallouf repose sur plusieurs mesures et ouvrages de conservation des eaux et des sols (voir p. 16). Certains de ces aménagements agissent de manière interdépendante, c'est-à-dire que « l'impact global souhaité ne peut être atteint qu'en faisant fonctionner conjointement et de façon intégrée toutes ces technologies » (WOCAT 2010). Considérer ces interactions revient donc à évaluer le fonctionnement même du principe de gestion par bassin versant du point de vue de son aménagement de CES.

L'analyse de ces combinaisons peut se faire schématiquement via le questionnaire (voir son chapitre 2.4). Elle est alors basée sur la littérature scientifique, l'avis de spécialistes et les observations de terrain. Cependant, la représentation figurée des systèmes de technologies ne possède pas de composantes spatiales précises capables de fournir une aide pratique à la décision sur le terrain. Une carte régionale exposant de manière générale les zones couvertes par les mesures de conservation existe (Ouessar 2007), mais aucune ne montre leur agencement exact les uns par rapport aux autres. La cartographie des technologies permet non seulement de réaliser cet objectif, mais fournit aussi une source de données pouvant être utilisée à d'autres fins, telles que le suivi de l'évolution des aménagements, l'optimisation de leur agencement ou l'étude de l'utilisation du sol. Cette dernière est en effet, en zone aride, fortement conditionnée par les ouvrages de conservation des sols.

Le choix de la télédétection plutôt que de la récolte de données au ras du sol s'explique par le fait que les moyens satellites ou aéroportés permettent une vue d'ensemble d'un territoire parfois peu accessible, trop grand ou ne disposant pas d'assez de ressources cartographiques pour que les mesures de conservation puissent y être convenablement localisées.

### 5.2 Collecte et analyse des données

Les mesures de CES devant être géolocalisées sont celles documentées pour la région de la Jeffara tunisienne dans le questionnaire WOCAT sur les technologies. Sur celles qu'il était initialement prévu de considérer, deux (la mise en défens et les puits filtrant) ont dû être écartées puisque n'apparaissant pas dans les limites du bassin versant de l'oued Hallouf. Elles sont de toute façon difficiles à repérer sans indications préalables sur leur localisation.

Les citernes, par manque d'informations concernant leur répartition spatiale et étant très difficilement discernables par télédétection, n'ont non plus pas été prises en compte. Les structures des jessours, tabias (avec différenciation plaine/piedmont) et ouvrages en gabion ont donc été cartographiées.

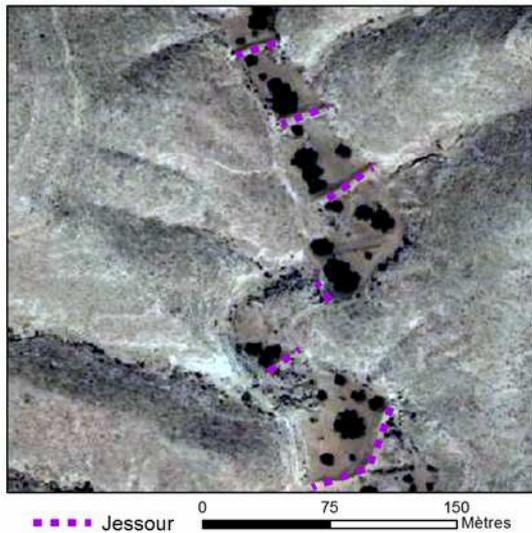


Figure 16

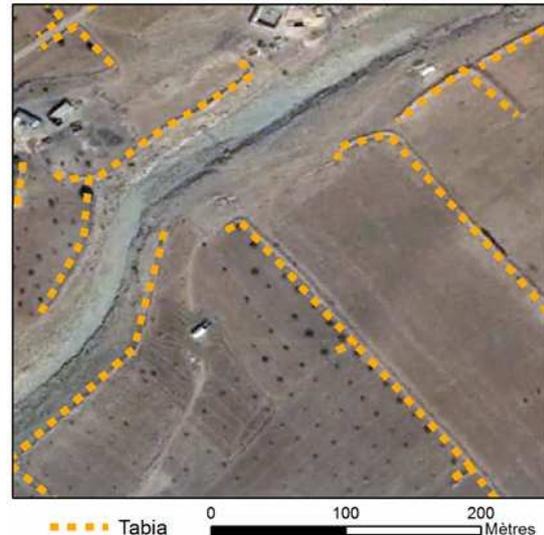


Figure 17

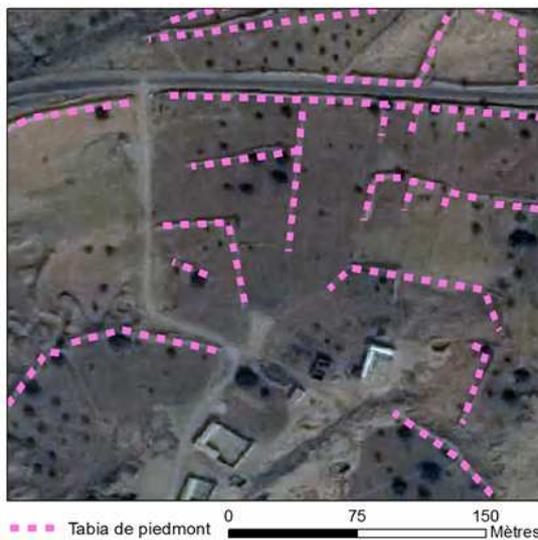


Figure 18



Figure 19

Figures 16, 17, 18 et 19: Apparence des technologies de conservation par télédétection. Les structures se trouvent sous les lignes en trait tillé. Images satellitaires de Google Earth.

- Collecte des données

Les images satellitaires sont celles disponibles sur le logiciel Google Earth. Elles ont été extraites puis assemblées par le logiciel informatique TTQV de Touratech. Ces images du satellite QuickBird présentent l'avantage d'une très bonne résolution (60 cm.) et d'un accès libre. La zone d'étude est couverte par des images de trois dates différentes : août 2004, octobre 2004 et septembre 2006. L'homogénéité temporelle semble conservée puisque l'évolution des aménagements n'est pas aussi rapide.

Ces images ont ensuite été intégrées au système d'informations géographiques ArcGIS, à partir duquel a pu être tracé la forme au sol des technologies à cartographier.

Deux zones nuageuses opaques (au total d'environ 1.5 km<sup>2</sup>) compromettaient sur une petite superficie la reconnaissance des structures par télédétection. La solution a été de remplacer la surface qu'elles occupaient par des fragments d'images Spot d'une résolution faible mais suffisante pour en tirer les informations nécessaires.

La reconnaissance des aménagements de CES et leur délimitation par des polygones s'est faite aisément, sauf dans certaines parties de l'aire d'étude où des zones d'ombres ont compliqué la tâche. La précision de la cartographie, estimée comme étant inférieure à 5 mètres, est jugée bonne, de même que la couverture totale du bassin versant de l'oued Hallouf. Les structures présentes dans la zone d'étude ont ainsi été relevées de manière exhaustive, que leur aire de retenue soit mise en culture ou non.

La différenciation entre tabias et jessours (voir p. 17) pour les technologies contenant des digues en terres s'est avérée délicate dans les zones de pédiment et dans les vallées. En effet, de longues levées de terre disposées en lanière et pourvues de rabats latéraux possèdent les caractéristiques des tabias, mais sont disposées sur des terrains plus pentus en zone montagneuses comme les jessours. C'est pourquoi la classe des tabias de piedmont a été introduite, comme d'ailleurs suggéré sur une carte (Ouessar 2007), afin de pouvoir considérer ces structures hybrides.

- Analyse spatiale

Les limites du bassin versant d'étude et le tracé des principaux écoulements (oued Hallouf inclus) ont été calculés à partir d'un modèle numérique de terrain. Ce dernier, d'une résolution horizontale de 30 mètres et de 20 mètres verticalement, est issu du programme américano-japonais ASTER GDEM. Dans la partie inférieure de la zone d'étude, le manque de relief rendant le modèle peu exploitable, il a fallu s'appuyer sur la documentation disponible et les cartes existantes.

Concernant la toposéquence des technologies (voir figure 32), l'extraction de l'altitude des parcelles occupées par un ouvrage de conservation a été effectuée grâce à l'outil de ArcGIS « Extract by Mask, » dans « Spatial Analyst».

Les propriétés spatiales (nombre et longueur) des structures relevées ont été calculées à l'aide des outils de géométrie d'ArcGIS. La surface exploitable créée par les technologies est basée sur une approximation de l'étendue moyenne derrière chaque type de structure. Celle-ci a été évaluée comme étant de 75 mètres pour les tabias et de 25 mètres pour les jessours comme pour les tabias de piedmont.

L'aire des parcelles derrière les ouvrages de conservation a été utilisée pour estimer la répartition des coûts de mise en œuvre et d'exploitation des aménagements CES (voir figure 36). Le calcul se base alors sur les données suivantes, issues des questionnaires WOCAT :

Technologie de CES	coût de construction en US\$	coût d'entretien par année en US\$
Tabias	670 par ha.	200 par ha.
Jessours	3000 par ha.	900 par ha.
Ouvrages en gabion	15000 par unité	1500 par unité
Tabias de piedmont	670 par ha.	200 par ha.

## 6. Méthodologie de l'objectif 2 (Analyse des impacts)

### 6.1 Objectif

Les importants investissements de conservation des eaux et des sols dans le bassin versant de l'oued Hallouf poursuivent les objectifs de lutte contre la désertification et de développement rural définis dans le plan d'aménagement régional (voir Ministère de l'environnement et du développement durable 2006).

Cette analyse n'a pas la prétention de fournir un examen détaillé des effets biophysiques, économiques et sociaux de la gestion intégrée du bassin versant. Cet examen fait partie du domaine de compétence des programmes de recherches tunisiens et de leurs partenaires. La région d'étude a en effet la chance d'être bien documentée car faisant l'objet d'un suivi actif en divers domaines (agriculture, développement, démographie, hydrologie, etc.).

Le questionnaire WOCAT peut en revanche fournir une vision globale et interdisciplinaire des enjeux de développement durable. Le diagnostic des impacts constatés suite aux politiques entreprises peut servir de base à la prise de décision ainsi qu'à une synthèse de l'expérience de CES mise en œuvre. Ces informations peuvent ensuite être utilisées par divers programmes de recherche actifs dans le domaine de la lutte contre la désertification (tels les projets DESIRE ou LADA par exemple).

### 6.2 Collecte et analyse des données

L'acquisition des informations nécessaires à l'évaluation de la gestion a été effectuée dans la région d'études, en collaboration avec les acteurs locaux. Les données recueillies concernent à la fois les technologies et les approches mises en œuvre.

Une partie des informations aurait déjà pu être extraite des rapports et ouvrages scientifiques disponibles sur la lutte contre la désertification dans le Sud de la Tunisie. Il a toutefois été fait abstraction de ces renseignements puisque le questionnaire devait être testé sur sa capacité à être rempli sur place. De même, il était nécessaire de prendre en compte les points de vue des diverses parties prenantes concernées, et non pas du seul milieu académique.

Ci-dessous un aperçu de la provenance des données suivant leur thématique :



Figure 20: Aspects socio-culturels. Entretien semi-dirigé avec une représentante de l'Association des Jeunes de Zammour (oeuvrant pour un développement social, culturel et environnemental durable du village de Zammour et environs).



Figure 21: Aspects agricoles. Entretien dirigé avec des exploitants des terres près du village de Alamet.



Figure 22: Aspects institutionnels et administratifs. Entretien semi-dirigé avec le chef d'arrondissement du Commissariat Régional au Développement Agricole (CRDA) de Médenine.



Figure 23: Aspects scientifiques. Entretiens et déplacements sur le terrain avec des chercheurs de l'Institut des Régions Arides de Médenine.

Une fois le questionnaire rempli, les paramètres (voir la question 3.1 du questionnaire WOCAT) sur lesquels l'influence de la gestion du bassin versant a été jugée « négligeable » n'ont plus été pris en compte. Ceux ayant subi une évolution significative ont tous servi à l'élaboration de l'analyse (voir p. 43).

La période de référence ne bénéficiant pas de gestion intégrée du bassin versant et donc considérée comme neutre au niveau des effets est située avant la mise en œuvre du Programme d'Action national de Lutte contre la Désertification en 1998.

Afin que l'évaluation soit cohérente, il a fallu définir des critères à partir desquels un paramètre est considéré comme influencé par les pratiques de gestion. Bien qu'un impact évident soit constaté sur certains paramètres (comme la quantité des récoltes), sur d'autres (comme les conflits pour les terres) l'effet est plus difficile à évaluer.

Ainsi l'impact global des aménagements est privilégié. C'est celui qui exprime le mieux la viabilité de la gestion du bassin versant sans faire de distinctions entre les acteurs, les endroits et la période concernés.

Certains processus sont toutefois complexes et leur impact secondaire ne peut être négligé. Ce dernier est de ce fait pris en compte et répertorié comme tel dans l'analyse. C'est le cas pour :

- Les effets globalement positifs présentant potentiellement des aspects négatifs  
Par exemple l'érosion est fortement réduite par les ouvrages de conservation, mais elle se trouve subitement et localement augmentée lorsqu'ils cèdent.
- Les effets ambivalents  
Par exemple la demande en eau d'irrigation est réduite par les ouvrages de collecte des eaux, mais lors de périodes de sécheresse les surfaces de culture nouvellement créées nécessitent plus d'irrigation d'appoint.

L'importance (faible, moyenne, grande) de l'impact sur les différents paramètres n'a pas été considérée. En effet, une analyse statistique sur ce classement des bénéfices et inconvénients n'était pas pertinente, puisque l'absence de données quantitatives n'a pas permis une attribution rigoureuse et objective aux différentes classes.

L'analyse se base dès lors sur l'arrangement et le classement de la base de données pour en faire ressortir une synthèse des politiques de lutte contre la désertification et de développement.

Afin d'éviter les auto-corrélations entre les classes de données, les objectifs du Plan d'Action Régional du gouvernorat de Médenine ont servi de références pour la classification des impacts. Dans le même but, la partition du bassin versant en sections, réalisée pour sa caractérisation dans le questionnaire WOCAT, n'a pas été prise en compte. En effet, dans la région de l'oued Hallouf, les technologies de conservation sont justement agencées suivant leurs caractéristiques géomorphologiques, sur lesquelles sont aussi basées les sections.

La synthèse des impacts de l'approche par bassin versant (voir p. 49) repose bien entendu sur les effets documentés dans le chapitre 3.1 du questionnaire, mais également sur les orientations générales pour la poursuite des activités de CES formulées lors des entretiens avec les divers acteurs locaux. Elle réunit les objectifs déclarés ou tacites et l'approche qui doit permettre de les réaliser.

## 7. Méthodologie de l'objectif 3 (Test sur le terrain)

### 7.1 Objectif

La confrontation du questionnaire avec la réalité du terrain fait partie du processus d'élaboration du nouveau module sur les bassins versants (voir schéma ci-après). Le but est de rassembler le plus possible d'éléments non seulement sur la zone d'étude mais également sur cet outil d'évaluation. L'hypothèse est que malgré les efforts fournis par l'équipe l'ayant préparé, le bon fonctionnement du remplissage et la pertinence des données ne peuvent être vérifiés que lors de la mise en pratique.

Une analyse critique doit non seulement donner la possibilité d'affiner le questionnaire sur la forme et le fond, mais aussi de constater ses modalités d'utilisation (temps de remplissage, compatibilités avec le domaine de la recherche, etc.).

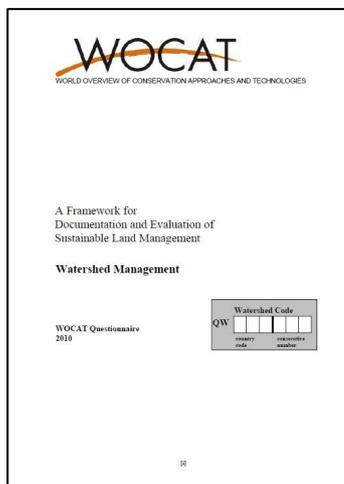


Figure 24

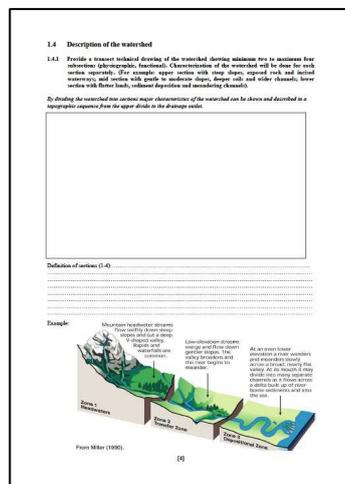


Figure 25

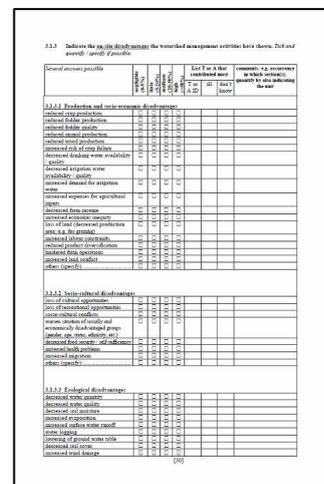
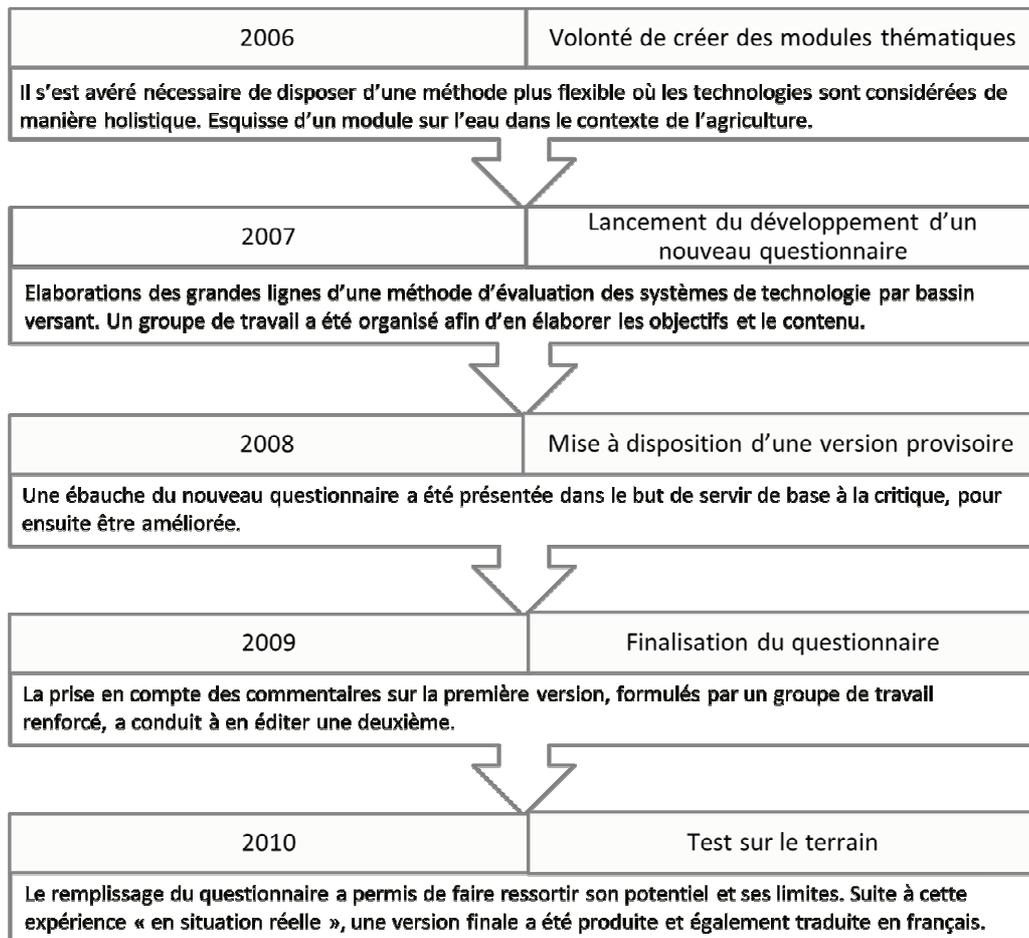


Figure 26

Figures 24, 25 et 26: Aperçus du nouveau questionnaire WOCAT sur les bassins versants.

- Historique du développement d'un nouveau module complémentaire WOCAT



(d'après Centre for Development and Environment 2007-2009)

## 7.2 Collecte et analyse des données

Une première identification des points sujets à discussion ou des questions délicates a été menée par le groupe de travail avant la mise à l'essai sur le terrain. Il demeurait ainsi des interrogations au niveau des efforts nécessaires pour parvenir à certains renseignements (chapitre 3.1 d'analyse des impacts) ou sur le mode d'analyse de quelques données (partition du bassin versant en sections).

Les capacités du questionnaire ont été évaluées lors de son remplissage. Il a fallu porter une attention particulière aux possibles contradictions, imprécisions et insuffisances. Les remarques émises au cours des entretiens ont été prises en compte, de même que la facilité avec laquelle les personnes questionnées ont répondu. Les modifications à apporter, répertoriées, ont servi de base à l'élaboration de la dernière version du questionnaire.

La pertinence et la cohérence des données ont été examinées pour les domaines thématiques, spatiaux, temporels, qualitatifs et quantitatifs (voir p. 54).

Cette caractérisation situe la « niche » méthodologique occupée par cette nouvelle approche par bassin versant.



# Partie III Résultats et discussion

## 8. Résultats de l'objectif 1 (Cartographie)

### 8.1 Système de technologies

L'aménagement des versants et celui des voies d'eau n'ont pas été réalisés de façon indépendante l'un de l'autre. Leur fonctionnement a été optimisé en combinant leurs mesures de conservation des eaux et des sols. Le schéma suivant est représentatif des systèmes de technologies présents sur la bordure orientale de la chaîne des Djebels, dans le sud tunisien.

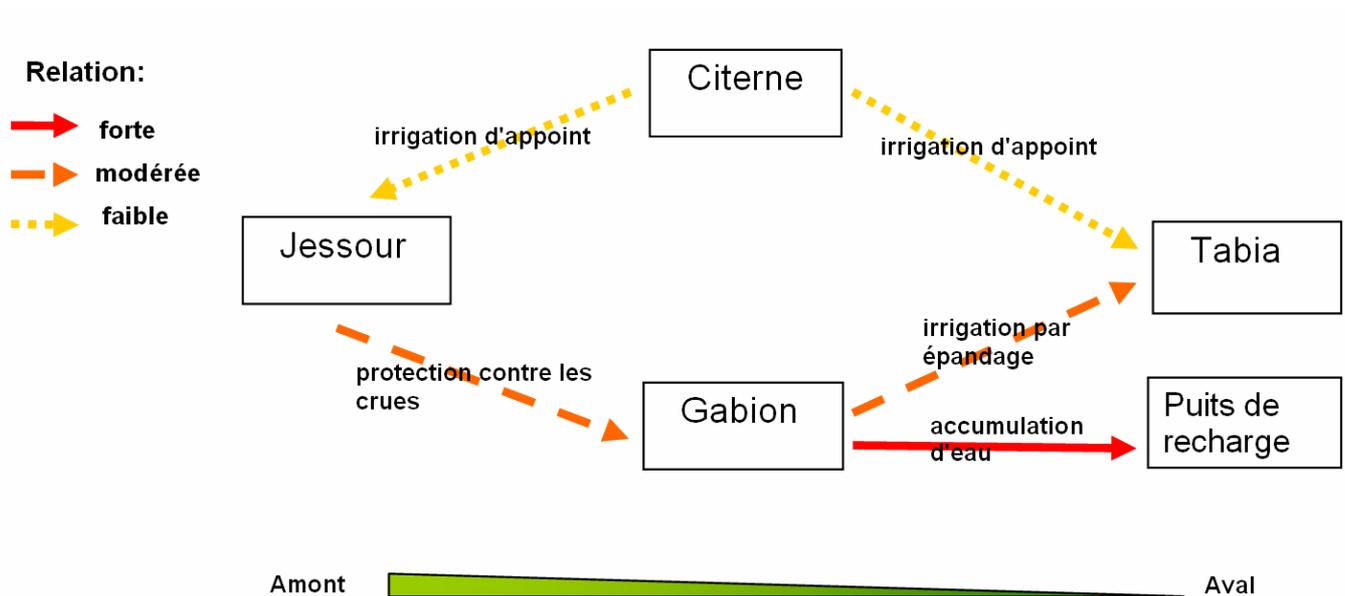


Figure 27: Description du système de technologies interdépendantes tel que présent dans la région de la Jeffara. L'importance des relations est déterminée en fonction de leur nécessité pour le bon fonctionnement des deux technologies concernées (forte lorsque nécessaire, modérée lorsque la technologie fonctionne aussi individuellement et faible pour les cas particuliers).

Les combinaisons de technologies, prises une à une, sont commentées plus précisément dans les lignes qui suivent.

- Combinaison Jessour - - - protection contre les crues - - - Gabion

Les jessours et les ouvrages en gabion ont pour objectif commun la réduction des crues. Ils sont toutefois eux-mêmes également sensibles aux trop forts flux d'écoulement. La résistance aux crues des ouvrages en aval dépend donc de la présence et de la maintenance des éléments en amont. En cas de rupture en cascade de ceux-ci, les dégâts causés dans la partie inférieure du bassin versant seraient importants (Bonvallet 1979).

Les ouvrages en gabion destinés à la recharge de la nappe par augmentation de l'infiltration se trouvent principalement en plaine (A) ou sur les oueds secondaires, à l'abri des crues violentes. En amont et dans la zone de piedmont, bien que les jessours permettent d'atténuer le volume des écoulements, la charge de sédiments charriés empêche toute implantation d'ouvrage de recharge. Il a en effet été démontré (Ouessar 2007) que les pertes de capacité de rétention des ouvrages situés en amont peuvent atteindre près de 90%, puisque le matériel érodé s'accumule prioritairement derrière les premières structures atteintes.

Ainsi il apparaît sur la carte ci-dessous que des seuils en gabion destinés à casser la vitesse des flux d'eau sont disposés sur les axes d'écoulement dépourvus de jessours (B) ou à proximité d'infrastructures et de zones de culture (C). Ces tronçons d'oued, où le manque d'aménagements en jessours a été compensé par des seuils en gabion placés juste avant la confluence avec d'autres secteurs de l'oued, souffrent sans doute d'une faible accessibilité.

Dans la partie supérieure du bassin versant, l'association des ouvrages en gabion et des jessours est ainsi effective localement lorsqu'il s'agit de protéger des secteurs spécifiques contre la violence des crues, et également régionalement par la maîtrise des écoulements qu'ils procurent.

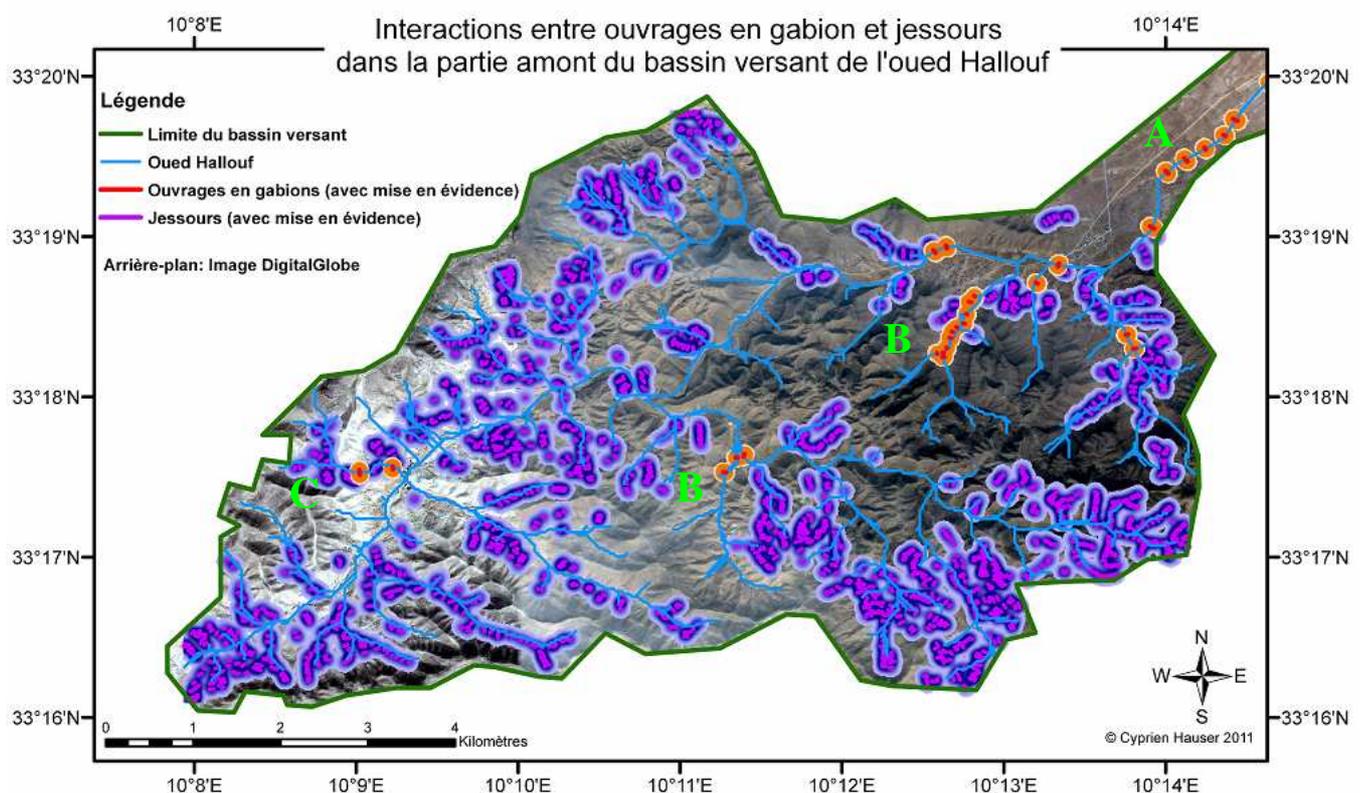


Figure 28: représentation cartographique de l'aménagement de la partie supérieur du bassin versant en ouvrages de rétention et de contrôle des eaux. Source: Cyprien Hauser



En période de sécheresse, les arbres fruitiers bénéficient d'une irrigation d'appoint souvent salvatrice. L'eau de celle-ci provient soit de forages, soit des citernes présentes en grand nombre dans les diverses zones du bassin versant d'étude.

En temps normal, les eaux de pluie collectées par les majels et surtout par les fesguias (voir p. 20) permettent un arrosage ponctuel des parcelles situées derrière les jessours ou les tabias.

Des études (Sghaier et Chahbani 2001) affirment que l'eau des citernes n'est pas assez exploitée comme arrosage d'appoint ou irrigation à petite échelle. La mise en valeur du haut potentiel de ces eaux doit permettre une amélioration des rendements des cultures sur les parcelles formée par les jessours et tabias (De Graaff et Ouessar 2002).

L'interaction entre les citernes et les ouvrages de retenue peut toutefois être jugée comme secondaire. En effet, elle ne conditionne ni le bon fonctionnement individuel des tabias et des jessours, ni celui des citernes. De plus, la relation entre ces technologies repose sur l'utilisation de l'aire de retenue des ouvrages, et non pas sur la structure de ces technologies. L'impact généré par l'irrigation d'appoint est donc très localisé, ce qui permet facilement d'en mesurer les effets directs.



Les ouvrages d'épandages font partie des technologies de CES de récupération des eaux de crues. Ils sont constitués d'un ouvrage en gabion, disposé en travers du lit de l'oued, qui lors d'écoulements rehausse le niveau de l'eau qui est alors déviée et distribuée par un réseau de digues en tabias et de petits canaux vers des champs avoisinants. Les volumes d'eau ainsi détournés servent à la recharge de la nappe et à la mise en culture (principalement céréales, arbres fruitiers, plantes aromatiques et légumes) (De Graaff et Ouessar 2002). Cette association de technologies est limitée spatialement aux zones couvertes par les tabias, donc en plaine. L'épandage directement depuis l'oued sans unités de gabions pour freiner et accumuler les eaux, pratiqué avant l'introduction de ceux-ci, est toujours en vigueur où les flux sont les moins importants.

La combinaison des ouvrages en gabion et des tabias de diversion, appelée irrigation complémentaire, demande une attention particulière quant à son agencement technique. En effet, un dimensionnement approprié doit minimiser le risque de captage de l'oued tout en garantissant un volume d'eau détourné assez important. De même, les ouvrages d'épandage doivent être placés dans des oueds où le débit n'est pas trop fort, non seulement afin que le lit de l'oued ne soit pas trop encaissé et rende le rehaussement du niveau d'eau difficile, mais aussi afin que les structures (ouvrages en gabion et tabias) ne soient pas brisés. Pour cette raison, l'irrigation complémentaire par ouvrage d'épandage est pratiquée de manière modérée sur le tracé de l'oued Hallouf, jugé trop torrentiel.



Figure 29

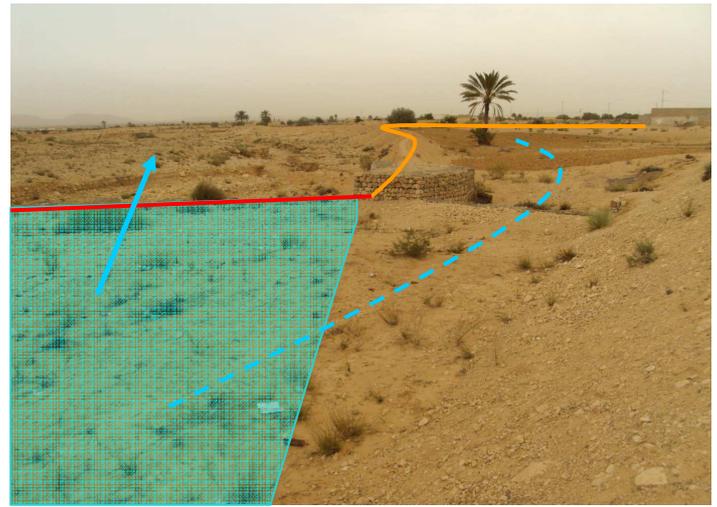
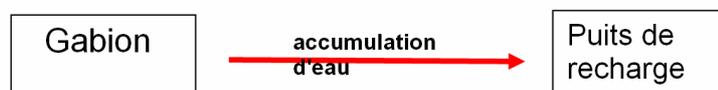


Figure 30

Figures 29 et 30: Illustration d'un ouvrage d'épandage (à gauche vu par télédétection et à droite tel qu'il se présente en réalité) composé d'un rehaussement du lit de l'oued afin de dévier une partie des écoulements intenses vers une zone exploitable via des structures en tabias. Image satellitaire de Google Earth (figure 29) et photo de Cyprien Hauser (figure 30).

-  Sens de l'oued
-  Flux dévié
-  Tabia
-  Ouvrage en gabion
-  Retenue d'eau

- Combinaison



Les puits filtrants sont tributaires des ouvrages en gabion pour pouvoir remplir leur fonction de recharge de l'aquifère. En effet, seule une retenue peut accumuler et immobiliser les volumes d'eau devant s'infiltrer par le tube jusqu'à la nappe phréatique. La combinaison de ces deux techniques est d'autant plus efficace lorsqu'elles se trouvent dans des zones aux coefficients d'infiltration et de sédimentation faibles. Il a effectivement été démontré (Ouessar 2007) que le dépôt de sédiments transporté par les crues constitue la principale menace au bon fonctionnement de cette pratique. Non seulement il se produit un envasement progressif de la retenue derrière les ouvrages en gabion, mais encore les puits filtrants se colmatent et perdent de leur capacité d'infiltration au bout de quelques utilisations (perte de 50% après 4 fonctionnements, 95% après une dizaine) (Ouessar 2007). Ces puits sont ainsi placés en aval, hors de la zone de piedmont où la charge en alluvions déposés les obstrue. C'est notamment pour cette raison que leur position la plus en amont se trouve à la confluence de l'oued Hallouf dans l'oued Oum Zessar (voir p. 19).

L'efficacité de ce système est évaluée par analyse de l'évolution du niveau des eaux souterraines.

## 8.2 Cartographie des technologies

La cartographie à haute résolution des technologies apporte des informations complémentaires sur leurs spécificités et leur agencement spatial dans le bassin versant de l'oued Hallouf. Comme la zone d'étude est densément aménagée par les mesures de conservation des eaux et des sols, un volume important de données a pu être acquis. Ci-dessous se trouvent quelques exemples de leur mise en valeur.

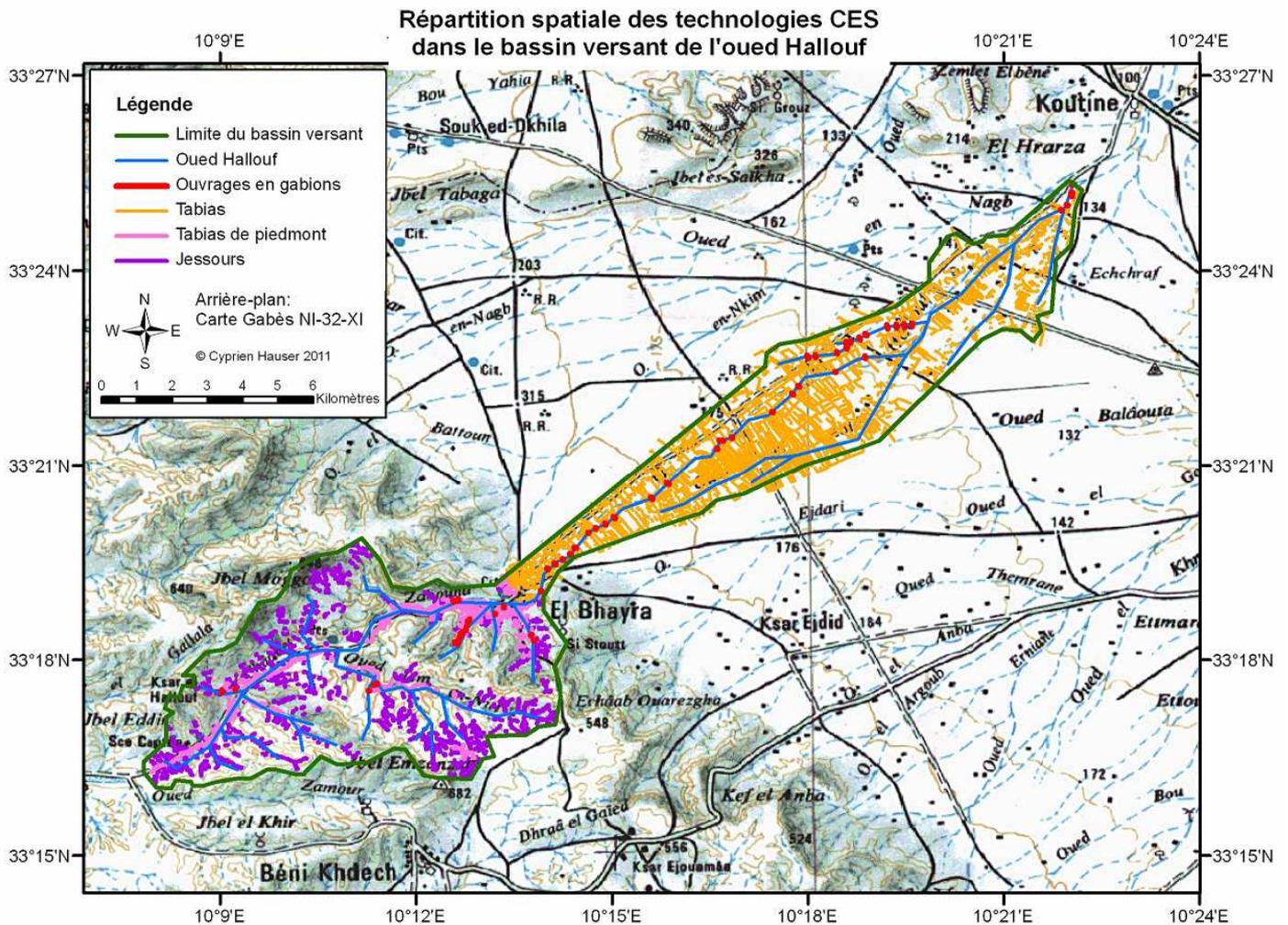


Figure 31: Carte des aménagements de conservation des eaux et des sols. Ils conditionnent fortement l'utilisation des terres, notamment l'arboriculture derrière les jessours et tabias.  
Source: Cyprien Hauser

La partie amont, montagneuse, est dominée par la présence des jessours. Ils occupent presque chaque thalweg, comme c'est généralement le cas dans la chaîne des Matmatas.

Les tabias de piedmont se trouvent comme leur nom l'indique dans la zone de pédiment, mais également là où l'accumulation de sédiments est importante et où la pente n'est pas trop forte (pas plus de 4 %). Les fonds de vallées sont donc propices à leur implantation, et leur arrangement le long de l'oued protège les cultures de ses crues.

La technique récente des tabias a peu à peu colonisé la plaine, d'amont en aval (Genin et al 2006). L'arboriculture en sec pratiquée derrière ces digues en terre représente désormais la part la plus importante de l'utilisation des sols en plaine. Les zones interfluves en aval, plus sensibles à l'érosion éolienne et ayant une qualité de sols moindre, n'ont pas été aménagées et servent donc de terrain de parcours (pastoralisme).

Les seuils en gabion sont réalisés sur les grandes artères d'écoulement et leurs principaux affluents. Dès le piedmont (pour la zone de montagne voir p. 34), ils ralentissent les eaux de crues et leur charge solide pour éviter les dégâts aux infrastructures. En plaine, les chenaux d'écoulement (au nord-est) sont dépourvus de ces ouvrages de rétention partielle, probablement soit parce qu'ils ne possèdent pas une nature du sol adaptée car trop peu perméable pour la recharge, soit parce que leur débit est assez faible pour pouvoir être maîtrisé avec des digues en terres (tabias).

L'aménagement en mesures de conservation de cette portion de territoire est représentatif de la chaîne des Matmata et de sa bordure orientale.

### 8.3 Toposéquence des technologies

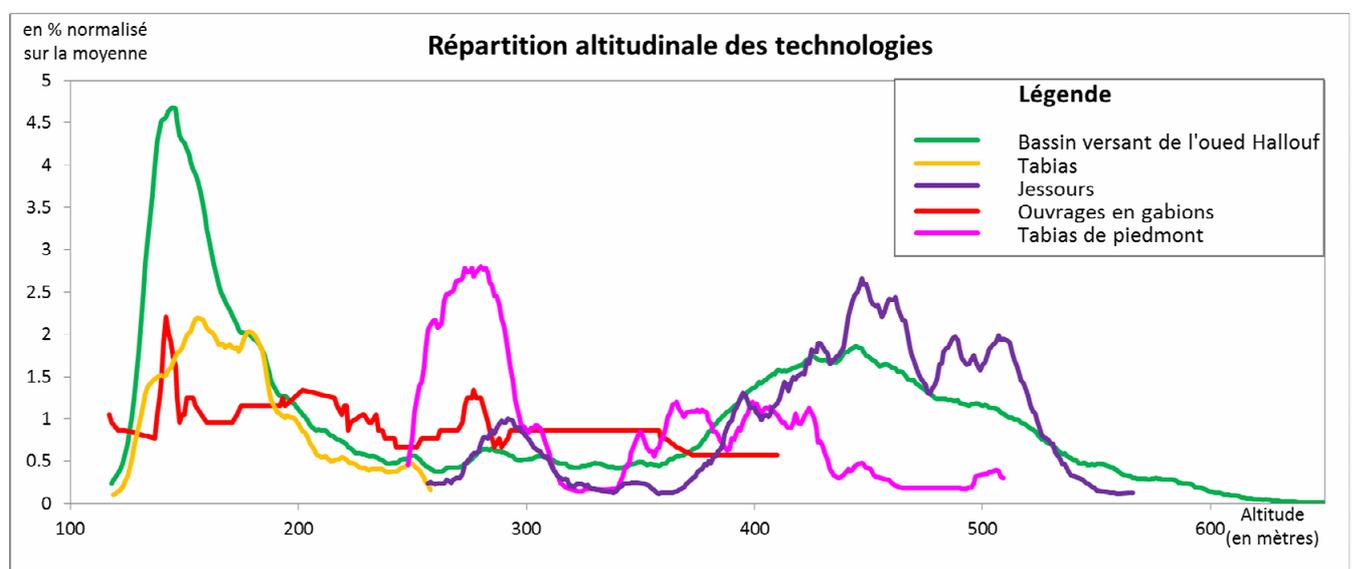


Figure 32: L'étagement vertical des technologies de conservation révèle au niveau topographique leur enchaînement fonctionnel, suivant les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant d'étude.

Cette toposéquence exprime pour chaque altitude la fréquence des portions de sols contenant une technologie de CES, en comparaison avec le profil de la zone d'étude. Comme la surface totale des parcelles occupées par chacune des structures dépend justement de celle-ci, la distribution a été normalisée sur la moyenne pour chaque courbe afin de représenter chacune d'entre elles dans un même ordre de grandeur.

Le bassin versant de l'oued Hallouf est aménagé sur la totalité de sa distribution verticale jusqu'à une altitude de 560 mètres.

Les ouvrages de conservation se succèdent verticalement selon les caractéristiques géomorphologiques de la région. Il faut toutefois prendre en considération que pour une même altitude correspondent plusieurs types de paysage (vallée, versant, plateau).

Ainsi les jessours ont colonisé une grande proportion des thalwegs de la partie supérieure. Leur surreprésentation aux environs de 300 mètres s'explique par l'aménagement d'une zone de relief moins élevée que les autres (proche de El Bhayra).

Les tabias de piedmont sont localisés le long des ramifications de l'oued dans les vallées et sur un replat près de Beni Khedache. C'est pourquoi ils apparaissent de façon continue jusqu'à une limite inférieure d'environ 330 mètres où l'oued traverse une zone moins aménagée. Dans la zone de piedmont, qui en est évidemment truffée, ils assurent la transition entre les jessours et les tabias pour la mobilisation des eaux de surface.

En plaine, l'altitude décroît linéairement de la région amont à la région aval, sans présence de grands reliefs autour de l'oued. La courbe (sur la figure 32) des tabias est corrélée à celle du bassin versant entre 250 et 150 mètres d'altitude environ mais moins après 150 mètres. Cela indique que les parcelles occupées par les tabias, présentant en amont de la plaine une forte part de la surface du bassin versant, affectent proportionnellement dans une moindre mesure l'utilisation des terres en aval. Le pic marquant une forte proportion de terres ayant une altitude proche de 150 mètres est dû à l'élargissement de la surface du bassin versant dans la zone correspondant à cette élévation.

Quant aux ouvrages en gabion, leur étagement altitudinal est pour ainsi dire constant puisqu'ils sont placés à intervalles réguliers le long du tracé de l'oued.

L'altitude de 250 mètres, correspondant approximativement au village de El Bhayra, marque la limite entre la zone amont et aval du bassin versant. En effet, cette hauteur représente l'extension inférieure d'aménagements typiques (jessours et tabias de piedmont) de la partie supérieure vallonnée.

## **8.4 Données chiffrées de l'aménagement du bassin versant**

Le relevé des technologies permet de dégager quelques données chiffrées à propos de leur implantation dans le bassin versant de l'oued Hallouf. Seules les mesures de conservation repérables par télédétection ont été prises en compte. Les investissements considérables consentis au nom de l'augmentation de l'exploitation des ressources naturelles et de la lutte contre la dégradation des sols et des eaux sont ainsi illustrés. L'ensemble de la bordure orientale des Djebels, principal relief du Sud tunisien, pourrait contenir une quinzaine de fois la superficie du bassin versant d'étude.

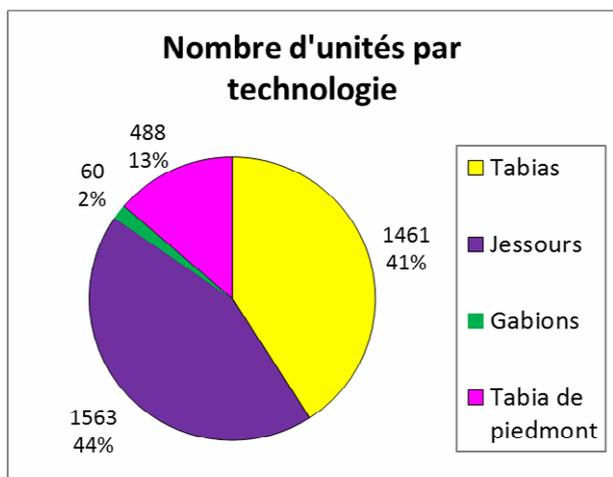


Figure 33: La grande quantité des ouvrages de CES reflète les importants efforts entrepris pour l'aménagement du bassin versant.

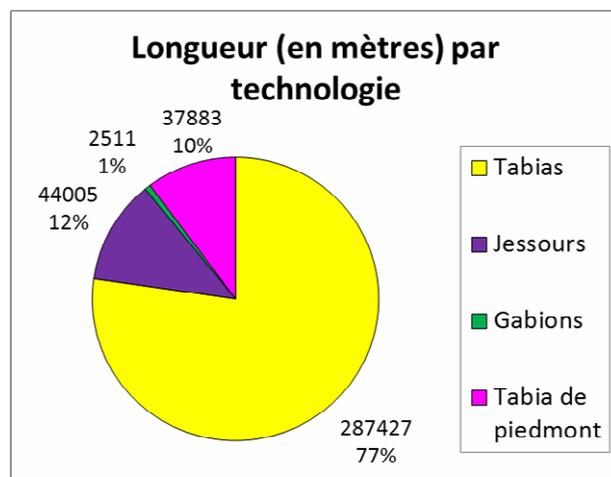


Figure 34: La longueur des structures conditionne les coûts de construction et d'entretien ainsi que la surface cultivée.

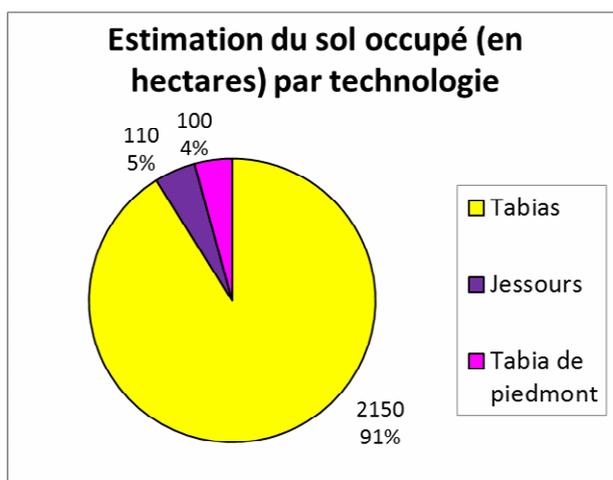


Figure 35: En plaine, l'espace est moins rare que dans les vallées de la zone amont, ce qui explique l'étalement des tabias. La zone de production, historiquement située dans la partie montagneuse, s'est déplacée vers l'aval avec la réalisation de ces digues en terres. Pour comparaison, l'aire du bassin versant d'étude s'étend sur 8000 hectares.

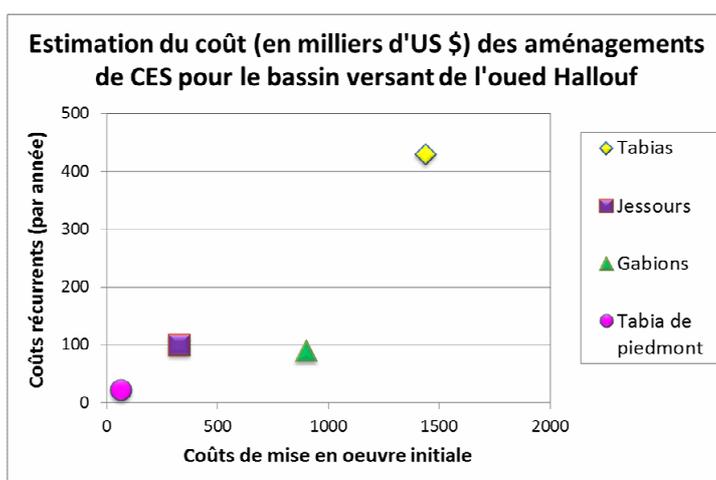


Figure 36: La construction des structures demande environ trois fois plus de ressources financières que l'entretien, sauf pour les ouvrages en gabion. Ceux-ci, malgré leur faible nombre, sont onéreux et sont payés intégralement par l'Etat. Il a été démontré (De Graaff et Ouessar 2002) que les importants investissements de CES dans le Sud tunisien sont rentables, mais seulement à long terme et si leurs impacts hors site sont pris en compte.

## 8.5 Discussion

Le recours à la télédétection pour étudier les interactions entre technologies de CES n'est possible que de façon limitée. En effet, la localisation de plusieurs ouvrages de conservation (citerne ou puits de recharge) n'est pas clairement définissable sur les images examinées. Il aurait donc été intéressant de disposer de plus d'éléments à mettre en relation. Par ailleurs, bien que présentant une bonne résolution (30 mètres horizontalement), le modèle numérique de terrain n'est dans ce cas-ci pas assez fin pour identifier par calcul des écoulements les combinaisons basées sur des relations hydriques (par exemple les ouvrages d'épandage).

Dans la région de l'oued Hallouf, les aires de répartition des différentes technologies ne se chevauchent guère, à cause de leur forte corrélation au relief. Une imbrication plus complexe des ouvrages de conservations aurait probablement engendré des résultats plus riches et reposant davantage sur la télédétection.

L'analyse des systèmes de technologies pose la question des limites à fixer quant à l'étude de leurs relations. Une approche trop détaillée risque effectivement de prendre en compte des interrelations tellement faibles entre les divers ouvrages de CES qu'elles ne sont plus significatives. C'est pourquoi il vaut mieux se concentrer sur les influences directes ou alors définir plusieurs niveaux de dépendance.

L'interprétation de la répartition spatiale des technologies demande quelques précautions. Ainsi, celle-ci est influencée par les critères choisis pour différencier les structures apparentes au sol. Il faut garder à l'esprit que la classification entre jessours, tabias de piedmont et tabias n'est pas toujours évidente. De même, les limites du bassin versant conditionnent l'importance relative de chaque technologie dans l'utilisation des terres. Il est de ce fait important de sélectionner une zone d'étude représentative notamment du rapport amont / aval de la région.

Les données quantitatives (nombre, longueur, surface) concernant les technologies peuvent servir de bases pour des analyses ultérieures. Celles-ci doivent dès lors tenir compte des aspects suivants afin d'être pertinentes :

- Considérer la marge d'erreur des estimations

Les statistiques issues de la cartographie des ouvrages de CES, précises et fiables, le deviennent moins lorsqu'elles sont extrapolées et interprétées. L'estimation de la surface cultivable créée par une structure définit par exemple les coûts de mise en œuvre et d'exploitation (voir figure 36). Comme le calcul de la surface est basé sur une estimation d'après la longueur des structures et que les coûts pour chaque technologie sont variables, il serait malvenu de tirer des conclusions trop hâtives et précises, d'autant plus que la surface exploitable derrière les ouvrages est sujette à discussion, comme pour les jessours par exemple. Le peu d'informations trouvées, comme « surface rarement excédant 0.25 ha » (Ouessar 2007) ou « 0.7 ha par jessour » (De Graaff et Ouessar 2002) semble surévalué pour la région d'étude et il a donc été nécessaire de procéder à une estimation par l'observation des images de télédétection.

- Considérer les auto-corrélations

La comparaison de la distribution des technologies de CES avec les caractéristiques pédologiques ou hydrologiques de leur environnement immédiat présente des risques d'auto-corrélations. Par exemple il n'est pas toujours évident de distinguer sur les cartes des sols (Genin et al 2006) si celles-ci prennent déjà en compte l'effet sur les sols des ouvrages de rétention de sédiments. De même, il n'est pas possible de tirer des conclusions quant à la répartition des structures de CES sur le tracé des oueds à partir des écoulements calculés avec un modèle numérique de terrain, puisque ceux-ci dépendent justement de l'aménagement du bassin versant.

### **Situation des résultats dans le contexte scientifique**

En ayant conscience de ses limitations, la cartographie des aménagements du bassin versant offre de possibles applications dans les domaines de la modélisation et des processus de suivi-évaluation.

Dans un système d'informations géographiques, l'attribution aux structures identifiées d'informations sur leur état (dégradation, colmatage), la taille de leur surface cultivée, leur propriétaire ou leur rentabilité pourrait être utile dans les processus de prise de décision. Cela pourrait constituer un élément à intégrer au service tunisien en ligne de cartes agricoles régionales ([www.carteagricole.agrinet.tn](http://www.carteagricole.agrinet.tn)).

De même, la modélisation en vue d'optimiser les efforts de GDT et de production agricole dans le bassin versant de l'oued Hallouf (comme celle proposée par Ouessar 2007) pourrait profiter de la cartographie à haute résolution des ouvrages de conservation.

La distribution spatiale des ouvrages de CES est abordée dans ce chapitre principalement sous l'angle géomorphologique. D'autres facteurs interviennent pourtant dans le choix pris par les acteurs locaux de mettre en œuvre des techniques de conservation. En disposant des données adéquates, il serait intéressant de procéder à l'analyse des aménagements de lutte contre la dégradation des eaux et des sols en se basant sur les aspects fonciers, financiers et traditionnels.

## 9. Résultats de l'objectif 2 (Analyse des impacts)

Les activités de gestion intégrée et l'exploitation des ressources naturelles se concrétisent dans la zone d'étude en des impacts biophysiques et socio-économiques. Qu'ils aient été prévus ou pas, ces effets, documentés à l'aide du questionnaire WOCAT sur les bassins versants et classés suivant les objectifs visés par le Plan d'Action Régional du gouvernorat de Médenine, fournissent une appréciation globale de la portée des programmes de développement et de lutte contre la désertification.

### 9.1 Classification des impacts selon leurs objectifs

Légende de la classification :

Impacts positifs de la gestion du bassin versant  
Impacts négatifs de la gestion du bassin versant

+ : augmentation  
- : diminution

#### 1) consolidation des travaux de CES

+ connaissances de la conservation et de l'érosion
+ collecte des écoulements
- impacts des événements défavorables (sécheresse, crues)
+ résilience contre les événements défavorables (sécheresse, crues)
- inondations (hors BV)
- envasement en aval (hors BV)
- transport de sédiments par le vent
+ contraintes de main d'oeuvre
+ niches écologiques pour les nuisibles (souris)
+ inondations en aval (hors BV) (en cas de rupture des ouvrages)

Ayant principalement des effets écologiques se faisant ressentir également au-delà des limites du bassin versant, les travaux de CES présentent l'avantage d'une protection au niveau régional contre les risques naturels liés à la sécheresse et aux crues, mais nécessitent d'importants efforts de construction et d'entretien.

La possibilité d'inondations en aval s'explique par la menace de rupture d'ouvrages de rétention.

#### 2) valorisation des terres en pente

+ disponibilité et de la qualité de l'eau pour le bétail
+ disponibilité en eaux pluviales
+ humidité du sol
- évaporation
+ écoulements de surface
+ couverture du sol
+ biomasse
- érosion des sols
+ diversité des plantes
- terres de pâturage
+ conflits pour la terre
+ imperméabilisation des sols
+ érosion localement

La mise en valeur des versants par les aménagements de CES ou par la protection du patrimoine naturel possède logiquement surtout des aspects environnementaux et de production. Elle se montre particulièrement bénéfique à la collecte des eaux et des sols, à la préservation de la couche meuble du sol et à la valorisation des ressources végétales (plantes aromatiques et médicinales).

Cela cause par contre des désagréments au niveau de la production pastorale, de l'exploitation des terres collectives, de l'apport de sédiments imperméables ou de l'érosion des parcelles en cas de trop fortes précipitations ou de débordements de l'oued.

## 3) éradication de la pauvreté et désenclavement

+ compétences commerciales
+ revenus agricoles
+ diversification des sources de revenus
+ diversification des produits agricoles
+ sécurité alimentaire
+ autonomie des femmes et des groupes marginalisés
+ capacité d'adaptation aux changements climatiques
+ distribution équitable des ressources naturelles
- migration
- coût de l'eau
- dégâts aux infrastructures (hors BV)
+ disponibilité des produits sur les marchés voisins
+ dépenses pour les investissements agricoles
+ inéquités économiques
+ compétition pour l'eau

Le volet socio-culturel et socio-économique du Plan d'Action Régional permet l'amélioration du revenu des ménages par l'augmentation de la production agricole et de l'accès aux ressources naturelles. Cela passe par l'exécution de programmes de formation agricole, par l'appui aux activités féminines et par l'emploi de chômeurs ou de personnes âgées pour les travaux de CES. La région et l'agriculture doivent ainsi gagner en attractivité auprès des jeunes, ce qui permet de freiner l'émigration.

Un meilleur accès aux ressources favorise toutefois les groupes ayants d'importants moyens financiers à disposition, causant un développement différencié, notamment par l'appropriation des moyens d'exploitation par forage des nappes phréatiques.

## 4) implication de la population dans les pratiques CES

+ renforcement des institutions communautaires
+ renforcement des institutions nationales
+ collaboration entre les différents acteurs
+ échanges des connaissances
+ gestion communautaire des ressources

Bien que l'implication effective des acteurs locaux dans les actions de développement les concernant présente encore une importante marge de progression, celle-ci ne montre que des impacts positifs encourageants. Les structures communautaires permettent aux populations de donner leur avis sur la gestion et de définir les modalités des projets en cours, mais également de dialoguer avec les autorités et les pouvoirs publics.

## 5) augmentation de la production agricole

+ rendement des cultures
+ qualité des cultures
+ production de fourrage
+ qualité du fourrage
+ production animale
+ production de bois
+ surface de production
+ salinité des sols

La composante agricole de la gestion du bassin versant présente une amélioration évidente de la production. N'étant pas pour autant un gage de compétitivité ou de viabilité à long terme, l'essor des activités agropastorales est notamment dû à l'aménagement des plaines (construction de tabias) ayant eu lieu dans le cadre des grands travaux de CES à partir de 1990. Désormais plus intensive, l'exploitation des sols est confrontée à la salinisation des terres par une eau d'irrigation contenant une teneur en sel importante.

## 6) recharge de la nappe

+ disponibilité en eau potable pour les ménages
+ qualité de l'eau potable pour les ménages
+ disponibilité et de la qualité de l'eau d'irrigation
+ élévation du niveau de l'aquifère
+ disponibilité en eau (hors BV)
- pollution de l'eau (salinité)
+ demande pour l'eau d'irrigation

La forte augmentation du débit d'alimentation de la nappe par infiltration suite à l'aménagement des voies d'eau est d'une importance majeure en cette région aride. Elle fournit ainsi une ressource en eaux plus abondante, de meilleure qualité (moins salée) et plus durable en évitant la surexploitation des eaux souterraines. La recharge des nappes phréatiques est à considérer au niveau régional vu l'interconnexion des eaux souterraines du Sud tunisien.

## 9.2 Bénéfices et inconvénients

Les impacts répertoriés, considérés non pas en tant que tels mais comme étant imputables à un des objectifs définis par le Plan d'Action Régional du gouvernorat de Médenine (à travers un projet de restauration des sols, mobilisation des eaux de ruissellement et gestion durable des zones montagneuses et d'épandage), permettent une comparaison des différentes facettes du développement intégré de la région.

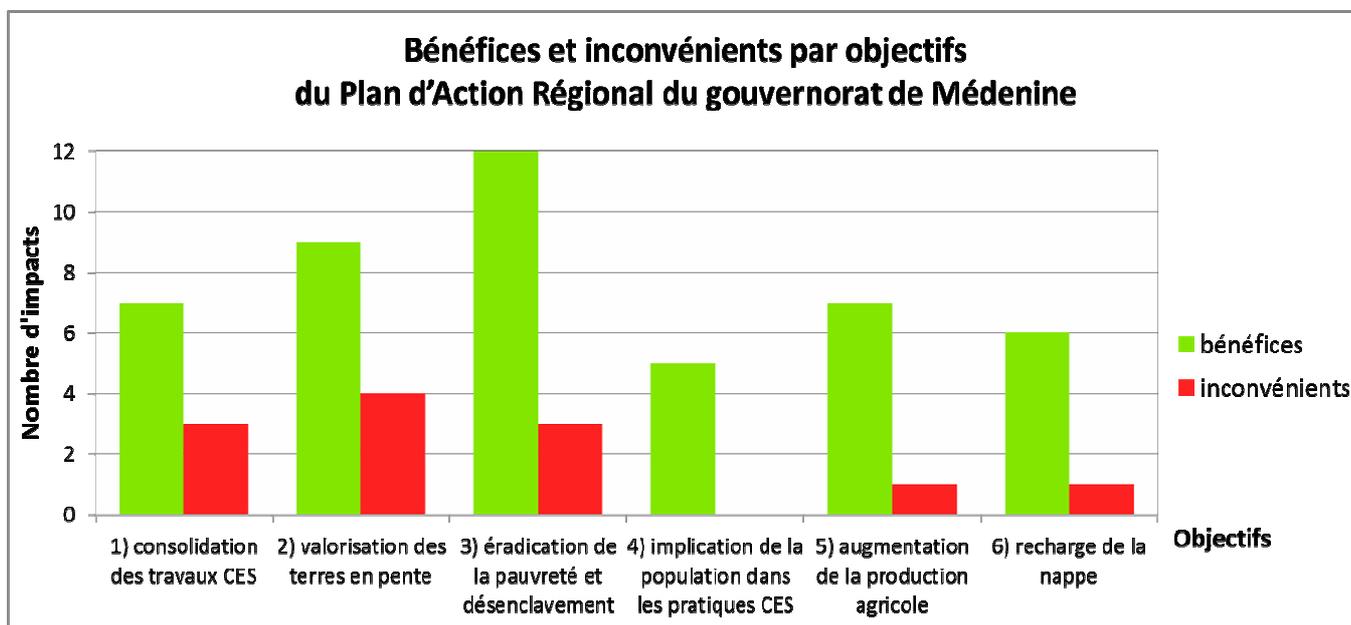


Figure 37: La mise en oeuvre du Plan d'Action Régional de lutte contre la désertification dans le gouvernorat de Médenine montre des impacts globalement positifs pour ses différents objectifs.

L'aménagement du bassin versant selon des principes de développement rural et de conservation des eaux et des sols montre principalement des effets bénéfiques. En effet, les impacts positifs prédominent nettement sur les inconvénients pour chaque catégorie d'objectifs. Cela est sans doute dû au fait que « les programmes et plans mis en place doivent être conçus dans un esprit de complémentarité et d'intégration » (Ministère de l'environnement et du développement durable 2006).

Les écarts importants entre bienfaits et désavantages en ce qui concerne les objectifs 3) et 4) sont encourageants pour la suite des projets concernant la région de l'oued Hallouf. En effet, en plus d'être une priorité pour l'essor social et économique du monde rural, l'amélioration des conditions de vie des acteurs locaux résulte de l'aménagement du bassin versant en activités de CES, mais en garantit également le fonctionnement à plus long terme. Le bon résultat de l'implication de la population (objectif 4) ne reflète cependant pas une importante participation de celle-ci (l'approche participative possède encore une grande marge de progression), mais signifie que les impacts qu'elle engendre sont tous considérés comme positifs.

Les inconvénients ne présentent pas de corrélations évidentes avec certains objectifs du Plan d'Action Régional. Ils résultent plutôt et inévitablement de l'évolution, au niveau organisationnel ou technique, propre à chaque mise en œuvre de projets.

Afin d'avoir un aperçu encore plus synthétique de la gestion du bassin versant, les atouts et les faiblesses des effets répertoriés ont été classés selon les critères de gestion durable définis par le questionnaire WOCAT. Le croisement des impacts positifs avec les impacts négatifs doit ainsi mettre en évidence l'efficacité de chacun des quatre domaines d'activités relativement aux autres.

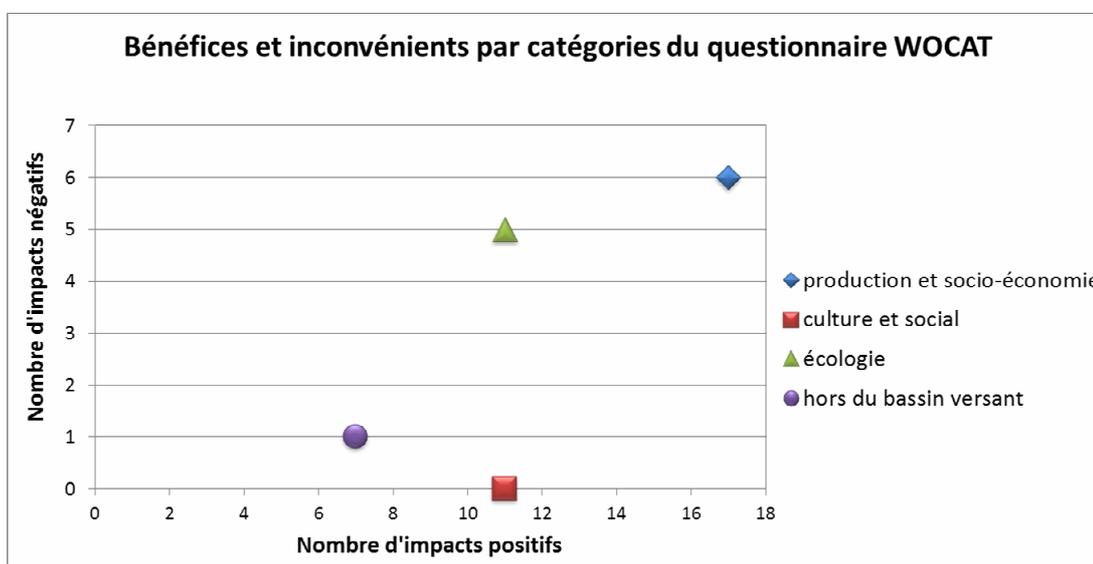


Figure 38: Représentation du rapport entre bénéfices et inconvénients de la gestion du bassin versant suivant les fonctions influencées.

La comparaison par croisement des composantes positives et négatives des impacts ne semble pas présenter de relations directes entre elles. Les deux variables démontrent en effet une variabilité forte sur les deux axes.

Cependant, il est possible de distinguer deux tendances parmi les catégories d'activité dans la zone d'étude.

La première rassemble les fonctions culturelles et sociales ainsi que celles ayant une influence au-delà des limites du bassin versant (impacts hors site). Elles ont en commun leur surreprésentation des bénéfiques qu'elles procurent par rapport aux inconvénients qui eux sont quasiment inexistantes. D'une part cela peut s'expliquer par le fait que la zone d'étude est trop restreinte pour voir apparaître d'importants conflits socio-culturels entre différents groupes ou ethnies. D'autres part, les effets négatifs des pratiques de CES se font ressentir principalement à l'endroit même où elles sont mises en œuvre (par exemple en ce qui concerne la surexploitation des terres). Les secteurs environnants connaissent ainsi des problèmes qui leur sont propres, mais ont l'avantage d'être épargnés par une généralisation à la région des difficultés localisées à l'intérieur du bassin versant d'étude (particulièrement en ce qui concerne les phénomènes biophysiques).

La deuxième tendance réunit les aspects productifs et socio-économiques avec ceux écologiques. Leur point commun est de rassembler dans leurs catégories respectives la plupart des inconvénients des programmes de développement et de lutte contre la désertification. D'ailleurs les principales limites de ces projets ayant pu être constatées sont principalement liées aux considérables investissements nécessaires aux activités de lutte contre la désertification (ayant des conséquences socio-économiques) et à l'intensification des pratiques agro-pastorales (causes de problèmes écologiques).

### 9.3 Impact global des technologies

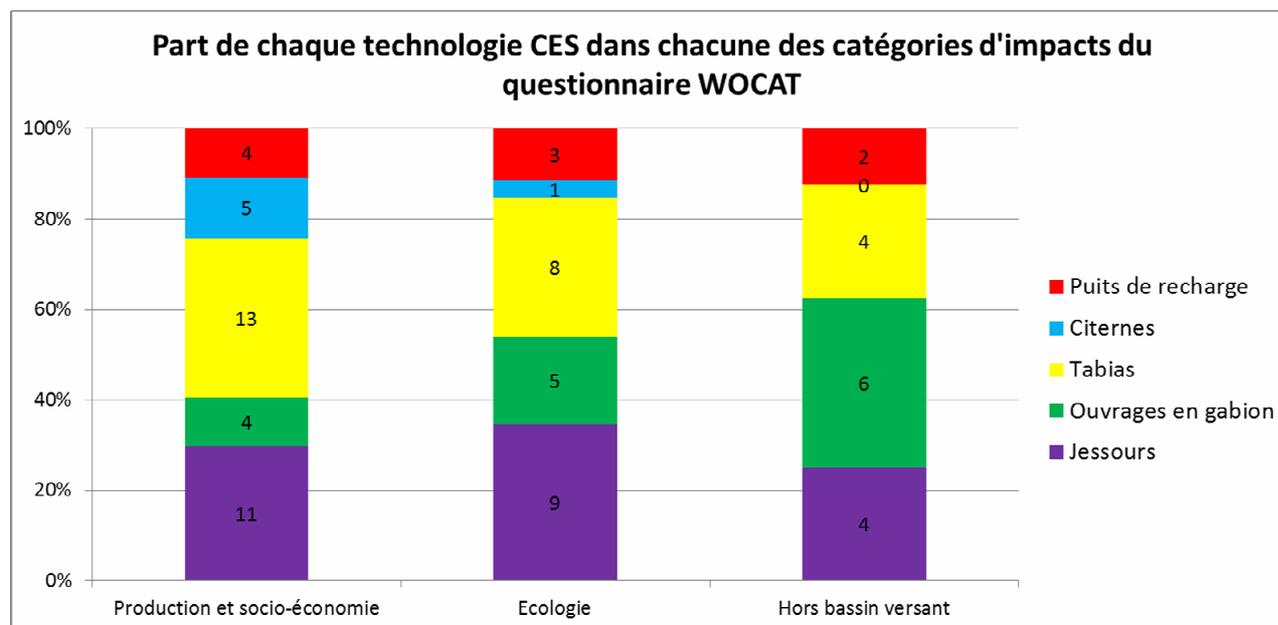


Figure 39: La part relative des technologies sur les impacts tant positifs que négatifs indique les domaines pour lesquels elles agissent. La catégorie « hors bassin versant » se rapporte aux impacts hors site d'une activité ayant pourtant lieu à l'intérieur des limites de la zone d'étude.

Dans le contexte de la lutte contre la désertification, il convient de s'intéresser non seulement aux conséquences des programmes de développement et d'aménagement, mais aussi aux procédés mis en œuvre qui les causent. Dans le bassin versant de l'oued Hallouf, la majorité (68 %) (Ministère de l'environnement et du développement durable 2006) des investissements de la stratégie nationale sont consacrés aux ouvrages de CES. Ainsi le graphique ci-avant (figure 39) permet d'évaluer l'influence de chaque technologie dans les différents domaines de la gestion et de l'exploitation des ressources naturelles. Il prend en compte aussi bien les impacts positifs que négatifs pour chaque catégorie. Le but n'est ici pas de décrire le rôle de chacune des technologies dans la gestion durable des terres (pour cela voir le questionnaire WOCAT sur les technologies), mais de mettre en évidence la part relative qui leur est imputable dans leur environnement tant humain que naturel. Il ne faut de même pas négliger le fait que l'efficacité des technologies de CES en zone aride est très fortement dépendante des précipitations.

Les effets directs des aménagements du bassin versant sont essentiellement biophysiques. Indirectement, ils sont néanmoins bien intégrés aux systèmes de tous les secteurs d'activités, jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible de distinguer leur impact séparément. C'est le cas en ce qui concerne les aspects culturels et sociaux, qui bénéficient de façon globale des travaux de conservation. Cette catégorie n'est donc pas représentée dans le graphique (figure 39).

La classe « production et socio-économie » est logiquement dominée par les deux technologies qui contiennent des aires cultivables, à savoir les tabias et les jessours. L'eau des citernes, servant à l'irrigation d'appoint et à l'abreuvement du cheptel, est essentiellement attribuée à des fins productives et domestiques. Elle est trop précieuse et peu abondante pour remplir une fonction favorable à l'écologie, par exemple à travers une irrigation à large échelle.

La forte composante liée à la maîtrise des écoulements de surface et à la recharge de la nappe est largement représentée dans les catégories « écologie » et « hors du bassin versant », et fait également partie des objectifs principaux des ouvrages en gabion. C'est pourquoi ceux-ci jouent un rôle significatif parmi ces catégories. C'est d'autant plus vrai en ce qui concerne les conséquences hors site de l'aménagement du bassin versant. En effet, les impacts des structures en gabion se manifestent avant tout au niveau régional (près de 40% des conséquences hors site), puisqu'ils affectent le système hydrologique de toute la région. De plus, des précipitations très intenses et donc peu fréquentes (survenant même pas une fois par année) sont nécessaires afin que les ouvrages en gabion puissent entrer en fonction. C'est notamment la raison pour laquelle leurs effets réels au niveau du bassin versant sont difficiles à déterminer.

Quant aux puits de recharge, leur contribution uniquement positive à la recharge de la nappe (seule prestation qu'il assure) se fait ressentir dans tous les secteurs de la gestion de la zone d'étude.

## 9.4 Résumé de l'approche par bassin versant

La mise en œuvre et l'entretien des approches de gestion durable des terres sont intégrés dans un contexte transdisciplinaire. La réussite des projets est conditionnée par leur rentabilité et leur acceptation par la population, mais dépend aussi des moyens engagés pour leur promotion et leur suivi-évaluation. Les problèmes de désertification ont ainsi souvent été remplacés par d'autres difficultés liées à la lutte contre ce phénomène. Le bénéfice à long terme des pratiques de conservation ne peut toutefois pas être remis en question par des contraintes de types institutionnelles, techniques ou financières.

Légende du type des impacts:



Environnement



Economique



Socio-culturel

Légende du type de mesures à prendre:



Organisation



Recherche



Moyens financiers

- Principaux impacts positifs et façon dont ils peuvent être entretenus ou améliorés

### Du point de vue académique

	Attractivité régionale renforcée et meilleures conditions de vie. Amélioration de la protection contre les crues, de la production agricole, du niveau de vie et des infrastructures rurales		Atténuation de la marginalisation rurale par l'encouragement des potentiels locaux de développement
	Mesures de CES sont à long terme rentables (économiquement et écologiquement). La recharge en eau souterraine et la réhabilitation du sol montrent de bons résultats		Poursuite des collaborations et des investissements dans les activités de gestion et d'aménagement du bassin versant. Mise en œuvre des acquis de la recherche
	Collaborations institutionnelles et sociales consolidées par l'approche participative et les ateliers de gestion durable des terres		Renforcement du rôle joué par les communautés locales dans la gestion durable des terres par l'augmentation de leur autonomie dans la prise de décision

### Du point de vue des exploitants du bassin versant

	Meilleures conditions de vie, plus d'emplois et meilleurs production et revenus agricoles		Amélioration de l'appui et des encouragements dans les domaines techniques, sociaux, institutionnels et fonciers
	Gestion durable des terres et de la biodiversité, conservation de l'eau et des ressources		Poursuite de la stratégie décennale de CES. Coordination entre les approches de prévention, de réhabilitation et de suivi contre la désertification
	Création et renforcement des liens entre les gens et les communautés		Renforcement de l'approche participative, processus de décentralisation et de déconcentration des prises de décision

Les interventions de lutte contre la désertification et de développement rural dans la région de l'oued Hallouf sont globalement profitables à la population, à l'économie locale et à l'environnement.

La viabilité des résultats acquis suite aux efforts faits en matière de GDT dépend de la suite qui leur est donnée. Ainsi, le maintien ou l'amélioration des fonctions bénéfiques de la gestion du bassin versant passe avant tout par des mesures institutionnelles. Tant les acteurs locaux que les spécialistes considèrent comme nécessaires une coordination et une collaboration renforcée entre les différents secteurs (administration, groupements ruraux, recherche). Cela doit permettre d'éviter des mesures ou des projets contradictoires. Les différentes politiques de soutien et d'encouragement sont également appréciées, notamment en ce qui concerne les aspects fonciers et techniques. Les impacts positifs obtenus dans la mise en œuvre des nouvelles technologies de CES (tabias, ouvrages en gabion et puits de recharge) et dans l'approche participative proviennent notamment des programmes de recherches. Ceux-ci ont encore un rôle à jouer en continuant de mettre à disposition les nombreuses informations qu'ils ont recueillies sur les dynamiques régionales et sur les aménagements de CES.

- Principaux impacts négatifs et façon dont ils peuvent être surmontés

#### Du point de vue académique

	Construction de certaines technologies de CES inadaptées (ouvrages d'épandage) ou insuffisamment entretenues (jessours). Leur efficacité dépend fortement des conditions climatiques		Construction sur des bases scientifiques (techniques, hydrologiques). Renforcement des contrôles annuels des infrastructures et des suivis post-projet
	Le soutien financier de l'Etat pour la CES peut conduire à la surexploitation des parcelles collectives attribuées et au désintérêt d'investir sans subventions		Meilleure prise en compte des priorités et des intérêts de la population (par exemple profitabilité financière plus qu'aspects environnementaux)
	Approche verticale de gestion avec une participation trop peu active des utilisateurs des terres. Manque de coordination entre les acteurs locaux		Intensification des collaborations interdisciplinaires entre les exploitants des ressources et l'administration. Plus de mise en œuvre de dynamiques de développement rural

#### Du point de vue des exploitants du bassin versant

	Le haut coût des activités de CES mène à la dépendance aux soutiens extérieurs et au manque de travail sans assistance financière		Recherche de technologie de CES meilleur marché et au meilleur rapport coûts-bénéfices à court terme. Encouragement des investissements privés
	Manque d'intérêt de la part des jeunes et des exploitants agricoles dans les activités d'aménagement du bassin versant. Difficulté de recrutement de spécialistes et conseillers pour les futurs projets		Meilleures opportunités de formation et de salaires et poursuite des campagnes de sensibilisation. Valorisation des succès obtenus en CES, des produits locaux et du tourisme
	Mise en œuvre des projets difficile à cause d'importants processus administratifs, de manque de moyens matériels et de connaissances techniques		Prise de décision au niveau local, usage plus efficace des fonds nationaux, augmentation de la mise en œuvre des acquis de la recherche et des programmes de suivi-évaluation

Les perspectives encourageantes de la gestion et de l'aménagement du bassin versant de l'oued Hallouf rencontrent toutefois quelques difficultés. Si les principaux problèmes de désertification et de développement rural qui touchent la région ont pu être réduits, d'autres, moins graves, sont apparus avec la mise en œuvre de la stratégie nationale de lutte contre la désertification. En effet, les importants coûts dus à la réalisation et à l'entretien des aménagements de CES ainsi que l'approche participative de la population restent difficiles à maîtriser. Il est pourtant essentiel d'intégrer les aspects environnementaux aux dynamiques socio-économiques afin de garantir l'avenir de la lutte contre la désertification dans la région de la Jeffara.

La tendance au désengagement de l'Etat au niveau des processus de décision contraste avec la dépendance envers les fonds nationaux pour ce qui concerne les activités agricoles. Le domaine scientifique est ainsi mis à contribution, afin de rendre les aménagements CES plus rentables, financièrement et productivement, à court terme. Il doit aussi assurer le suivi des projets engagés, car l'expérience en matière de gestion durable des terres montre que les échecs surviennent souvent après leur mise en œuvre.

## 9.5 Discussion

Le passage d'une évaluation de multiples effets particuliers à un impact global pose nécessairement la question de la représentativité de la synthèse obtenue. Comme tout processus de généralisation, il induit inévitablement une simplification de l'information dépendante de la méthodologie appliquée. Celle précisément employée (voir p. 28), et donc les résultats qu'elle renvoie, est discutable sur certains points :

- Les résultats de la présente analyse sont basés sur le nombre d'impacts recensés par différentes classes. Les représentations graphiques (figures 37 à 39) dépendent donc fortement du choix des classes et des indicateurs à évaluer. Par exemple la formulation d'un paramètre tel que « augmentation de la disponibilité / qualité de l'eau d'irrigation » aura une pondération deux fois moins importante dans l'analyse que sa partition en deux éléments, comme c'est le cas pour « augmentation de la disponibilité en eau potable pour les ménages » et « augmentation de la qualité de l'eau potable des ménages » (voir chapitre 3.1 du questionnaire sur les bassins versants).
- La taille du bassin versant influence directement la « finesse » de l'analyse. En effet, concernant les combinaisons de technologies CES, une petite aire d'étude engendrera des résultats plus fidèles à la réalité du terrain qu'une grande, car demandant moins de procédés de généralisation. Tous les systèmes relatifs à la gestion du bassin versant (socio-économiques par exemple) n'ont pourtant pas un sens à être analysés au niveau local. Un compromis doit donc être trouvé entre la représentativité et l'échelle d'étude souhaitées. Celui-ci peut être jugé satisfaisant pour le cas du bassin versant de l'oued Hallouf.

- La source unique des données, c'est-à-dire le questionnaire WOCAT, augmente les risques d'autocorrélation entre les informations. Ceux-ci ont été le plus possible réduits dans la présente étude en diversifiant les données et les classes devant être comparées (voir p. 30). Il aurait cependant été intéressant de disposer de plus d'informations à mettre en relations, comme des données provenant d'autres bassins versants ou d'autres études concernant les effets globaux des pratiques de GDT sur la même région.

Le suivi de l'évolution du développement agricole et des phénomènes de désertification dans le sud tunisien ne peut se résumer à l'étude des politiques de gestion intégrée et des aménagements mis en place conformément au Plan d'Action Régional. En effet, la marge d'action sur les différents processus biophysiques et socio-économiques a largement été exploitée au travers des efforts exemplaires entrepris en matière de GDT dans la Jeffara. Elle est cependant à mettre en rapport avec les facteurs externes aux stratégies de GDT, parfois difficilement influençables mais déterminants pour l'avenir de cette région. Parmi ceux-ci figurent notamment :

- Les phénomènes climatiques

Les conditions climatiques arides dans la zone d'étude conditionnent dans une large mesure l'efficacité des aménagements de CES, desquels dépend également la réussite de la gestion du bassin versant. La forte variabilité interannuelle des précipitations n'offre aucune base robuste aux activités de GDT. De même, le réchauffement climatique va certainement accroître le stress hydrique déjà présent. « Aussi mineurs soient-ils, les changements climatiques peuvent avoir de graves conséquences sur les ressources en eau, sur les écosystèmes qui dépendent de l'eau, et sur les différentes activités économiques grosses consommatrices d'eau comme l'agriculture et le tourisme » (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire, 2001).

- L'évolution de l'exploitation des ressources

Si les activités CES et leurs effets consistent principalement à augmenter qualitativement et quantitativement l'offre en ressources naturelles, il est en revanche nettement plus difficile d'influer sur la demande. Or, dans le gouvernorat de Médenine, la croissance de la population et de ses besoins justifie pleinement les efforts de CES entrepris pour éviter la pénurie, mais remet en cause à long terme la viabilité des importants résultats obtenus jusqu'à présent. Les capacités en ressources en eau dépendent par exemple des exigences liées au tourisme sur l'île de Djerba.

La place de l'agriculture, activité essentielle à la gestion intégrée des ressources et à la lutte contre les phénomènes de dégradation des sols et de l'eau, est quant à elle incertaine pour les années à venir.

- Les moyens alloués à la lutte contre la désertification

Le développement rural et les pratiques de GDT demandent d'importants investissements financiers, humains et matériels. Ceux-ci nécessitent donc en tout temps une politique volontariste au niveau de l'Etat, acteur incontournable en Tunisie dans la lutte contre la désertification. La participation de soutiens externes, comme les programmes de recherche étrangers ou les fonds internationaux, joue certainement un rôle important dans la mise en œuvre des plans de gestion durable.

La lutte contre la désertification va de pair avec une amélioration du niveau de vie en zone rurale, notamment afin de réduire l'émigration et de favoriser un environnement propice aux investissements. En plus des approches de GDT préconisées, elle dépend donc également du renforcement de l'infrastructure rurale (route, réseau d'eau et électricité).

### **Situation des résultats dans le contexte scientifique**

La particularité de la présente analyse par rapport à l'environnement de recherche sur la désertification en Tunisie est principalement sa capacité à synthétiser une expérience de GDT. La région est en effet bien quadrillée au niveau des recherches qui y ont été entreprises. Parmi celles-ci figurent bon nombre d'études consacrées à des aspects spécifiques de la lutte contre la désertification. Par exemple les impacts des systèmes de collecte des eaux ont été examinés attentivement (voir Ouessar 2007 ; Ouessar et al 2004).

Certains ouvrages contiennent un éventail multidisciplinaire d'articles analysant la lutte contre la désertification et le développement rural (Genin et al 2006; Genin et Sghaier 2003).

Il est clair que les résultats obtenus dans ce travail ne représentent pas un apport réel à ces études très spécifiques. Ce sont au contraire eux qui fournissent des informations pour l'évaluation de la gestion du bassin versant telle que prévue par la méthode WOCAT.

Les informations sur les effets des pratiques de CES récoltées au cours des entretiens correspondent néanmoins à celles issues de la littérature scientifique.

Les effets des pratiques de CES tels qu'évalués par les programmes de recherche tunisiens ou par la méthode WOCAT n'ont pas la même signification.

Dans le premier cas, ils sont destinés à l'optimisation de l'utilisation des ressources naturelles et à la poursuite de la stratégie nationale de lutte contre la désertification.

Dans le second, ils servent à synthétiser l'expérience de gestion de bassin versant et à être intégrés à un réseau de partage de connaissances, également via le projet DESIRE (voir Schwilch 2010).

Le résumé de cette expérience de GDT peut par ailleurs faire office de ligne directrice pour étendre l'utilisation de ce système spécifique de gestion de bassin versant. Cela est d'autant plus vrai que les compétences et les structures développées dans la région de la Jeffara au cours des dernières années ont valeur d'exemple auprès d'autres régions arides concernées par des questions de développement rural similaires.

## 10. Résultats de l'objectif 3 (Test sur le terrain)

La confrontation du nouveau questionnaire WOCAT avec la réalité du terrain a permis de mettre en évidence ses atouts et ses limites. Cela donne non seulement la possibilité de l'améliorer, mais rend également compte de la pertinence des données obtenues.

### 10.1 Portées et limites

Il s'agit ici de définir le domaine de compétence du questionnaire, c'est-à-dire de déterminer ce qu'il permet de fournir comme représentation de la réalité du terrain et ce qu'il ne peut pas. Les aspects suivants entrent en considération:

- Thématiques

Le nouveau questionnaire WOCAT a été conçu dans le but de renseigner sur la gestion des bassins versants dans le cadre de la conservation des eaux et des sols. Il va ainsi de soi que les sujets environnementaux et biophysiques soit bien couverts par le questionnaire, notamment en fournissant les caractéristiques du bassin versant. Celles-ci servent toutefois surtout à « planter le décor » et de base à l'analyse. En effet, le but n'est pas de documenter les phénomènes de dégradation et les mesures prises pour y remédier (c'est précisément le rôle des autres questionnaires WOCAT), mais d'en considérer l'implication et l'organisation au niveau local.

Pour ce faire, une approche transdisciplinaire est nécessaire. C'est pourquoi l'intégration de nombreuses composantes économiques, sociologiques, agricoles, démographiques ou administratives permet de rendre explicites les différents systèmes dans lesquels est imbriquée la conservation des eaux et des sols. Le questionnaire n'est en revanche pas à même de fournir une analyse du bassin versant selon ces domaines. Il n'a pas par exemple été conçu pour servir de base à une étude de la viabilité des activités économiques dans la zone d'étude, mais peut y contribuer.

- Spatiaux

L'échelle d'observation du questionnaire au niveau géographique est évidemment le bassin versant. La taille de celui-ci et son importance relative au contexte régionale doivent par ailleurs être indiquées en préambule à ce questionnaire. La délimitation topographique de la zone d'étude offre l'avantage d'accentuer la relation hydrologique entre les technologies. En effet, les arrangements de mesures de conservation ciblés par ce questionnaire relèvent surtout de l'érosion hydrique. Il est cependant possible d'utiliser cette approche pour documenter les effets des technologies contre l'érosion éolienne, bien que celle-ci dépasse les limites topographiques. Les espaces limitrophes au bassin versant sont également pris en compte pour autant qu'ils concernent les impacts hors site et qu'ils soient directement intégrés aux systèmes socio-économiques de l'aire d'étude.

Le territoire du bassin versant est découpé en plusieurs sections (jusqu'à quatre) homogènes par leurs caractéristiques biophysiques. Cela facilite la caractérisation du territoire d'étude, surtout lorsque la zone à couvrir est étendue et comporte différents types de paysages. Autrement, la classification en sections peut se révéler hasardeuse. Elle pose également des problèmes pour l'analyse holistique des impacts des pratiques CES. C'est pourquoi la représentation en toposéquence d'amont en aval des combinaisons de technologies doit également être renseignée.

- Temporels

Le questionnaire WOCAT cherche à rendre compte des activités de GDT telles qu'elles sont au moment où il est rempli. Il est de ce fait utile pour documenter la dégradation et la conservation des terres dans la situation actuelle, mais pas le processus de développement de la CES dans la zone ni les objectifs souhaités. Cela permet de créer un niveau de référence des activités de gestion en un moment donné, ce qui présente l'avantage de pouvoir en constater l'évolution si des mises à jour y sont ensuite apportées.

La difficulté consiste ainsi à éviter de remplir le questionnaire selon les buts devant être atteints (notamment au niveau des impacts). Une intégration d'informations prospectives dans une base de données actuelles risquerait de causer des problèmes, par exemple à des fins de comparaison.

Le questionnaire sur les bassins versants comporte tout de même quelques rares informations rétrospectives relatives à la mise en place de ses activités, et d'autres concernant les intentions des projets. Pour l'analyse des impacts par exemple, il est nécessaire de disposer d'une référence temporelle, en l'occurrence avant la mise en œuvre des pratiques de GDT.

- Qualitatifs

Environ la moitié des données recueillies par le questionnaire sont de type qualitatif. Elles concernent avant tout les aspects socio-économiques.

Plus précisément, il s'agit majoritairement de répondre par « oui » ou « non » puis de préciser par du texte, de fournir des informations schématiques et cartographiques ou encore de remplir des champs de texte. Les indicateurs binaires « oui /non » permettent une évaluation rapide ainsi qu'une comparaison directe entre questionnaires, mais sont peu précis et n'admettent pas de nuances. Les zones de texte en revanche autorisent un commentaire riche en informations. La synthèse et les recommandations après l'analyse de la gestion du bassin versant donnent ainsi une véritable plus-value au questionnaire dans les processus de prise de décision. Quant aux représentations graphiques et photographies, elles sont utiles pour mettre en évidence les relations (entres technologies par exemple), mais présentent l'inconvénient de ne pas pouvoir toujours être directement incorporées au questionnaire par manque de place.

- Quantitatifs

Les caractéristiques bio-physiques du bassin versant font largement appel à des données quantitatives. Conformément à la méthodologie employée pour les autres questionnaires WOCAT, une classification suivant l'importance (très important, important, peu important) est demandée pour chaque paramètre. Cette pondération, souvent délicate et discutable, apporte néanmoins une certaine cohérence par la standardisation des bases de données. Pour les questions relatives au relief ou aux caractéristiques du sol, il est préférable de disposer d'un système d'informations géographiques (SIG), ce qui rend l'acquisition des données difficile pour les régions qui en sont dépourvues.

Les questions concernant les coûts de mise en œuvre des activités CES dans la zone d'études font naturellement recours à des valeurs chiffrées. Elles sont déterminantes financièrement pour la reproduction de l'aménagement des technologies dans d'autres bassins versants.

Les informations quantitatives sont essentielles à l'analyse de la gestion du bassin versant. Les impacts sont en effet évalués par des variables ordinales. Cela facilite la documentation, mais la classification est relativement arbitraire si les informations exactes ne sont pas à disposition ou lacunaires, rendant une analyse statistique difficile. Dans le cas contraire, il est possible de quantifier les impacts, bien que cela soit laborieux.

## 10.2 Difficultés et changements apportés

Le test sur le terrain en Tunisie du nouveau questionnaire WOCAT a précisément eu lieu dans le but de mettre en évidence les points pouvant être améliorés, tant sur le fond que sur la forme. Puisque les problèmes formels concernent avant tout la formulation des questions et leur organisation, seules les principales difficultés liées au contenu sont présentées ci-dessous.

- Incohérence temporelle

La version du questionnaire évaluée sur le terrain était inhomogène quant aux références temporelles prises en compte lors du remplissage. Plusieurs questions (par exemple de 2.4.2.7 à 2.4.2.13) documentaient la période avant la mise en œuvre de la gestion intégrée du bassin versant, alors que le reste du questionnaire se basait sur l'état actuel. Cet embrouillement se remarquait particulièrement lors de l'analyse des données. Il a donc été décidé de garder une unité de temps et de replacer les questions au présent (voir « temporels » p. 55).

- Redondance et longueur

Plusieurs spécialistes de CES ayant participé au programme WOCAT ont fait remarquer que, comme d'ailleurs les autres questionnaires selon eux, le nouveau questionnaire était trop long, répétitif et demandait d'investir beaucoup de temps. Ces critiques portaient notamment sur les analyse des impacts de la gestion (partie 3 du questionnaire). C'est pourquoi la quantification des bénéfices et inconvénients a été rendue optionnelle. Il n'a en revanche pas été possible de raccourcir significativement le questionnaire, ce qui l'aurait affaibli dans ses fonctions de documentation. Certaines questions ont toutefois été valorisées et transférées dans un chapitre où elles ont plus de raisons d'être, comme par exemple en guise de synthèse le point 3.3.3 (facteurs déterminants et erreurs à éviter dans la mise en œuvre du plan de gestion).

- Cadre local des activités de CES

Au cours de la collecte des données, il est apparu que l'objet principal sur lequel porte le questionnaire, c'est-à-dire la gestion du bassin versant telle qu'elle se présente localement, n'est pas clairement défini dans sa forme. Il a donc été ajoutée une question indiquant sur quoi elle est basée et ce qui fait foi pour son organisation (question 2.4.2.3). Cela permet ainsi de considérer le cadre administratif, législatif ou politique dans lequel est inscrit l'aménagement du bassin versant.

### 10.3 Discussion

L'échelle de gestion par bassin versant est celle préconisée par la méthodologie WOCAT pour évaluer les systèmes d'aménagements de CES. Le but d'une telle approche est d'accéder à une unité spatiale régionale qui contient l'éventail des principaux acteurs susceptibles de jouer un rôle dans la gestion durable des terres. Cette réflexion holistique permet notamment de coordonner la gestion des ressources naturelles avec les projets de développement rural. De plus, l'accent porté sur la gestion des eaux en vue de restreindre l'érosion hydrique par le programme WOCAT justifie l'utilisation d'une échelle au caractère hydrologique.

Le choix du bassin versant comme unité spatiale présente l'avantage d'une adaptation aux spécificités locales et de laisser une marge d'appréciation quant à l'échelle utilisée pour l'analyse. L'exutoire de référence peut par exemple s'ajuster à des projets de développement en cours dans une région donnée. La taille du bassin versant de référence doit cependant être assez grande pour englober les différents enjeux de la CES, et assez petite pour préserver le lien de proximité entre les acteurs locaux et les aspects hydrographiques (écoulements, aménagements) (Agenda 21 pour l'eau 2011).

Le découpage par bassin versant ne limite pas l'étude à sa superficie. En effet, ses interactions avec les bassins versants voisins ou sa situation en tant que part d'un bassin versant plus vaste permettent de prendre en compte les enjeux qui dépassent cette unité territoriale. Le fait que les limites du bassin versant ne correspondent généralement pas aux divisions administratives procure l'avantage de coordonner les stratégies et mesures sur des territoires différents. En revanche, cela ne permet pas de cerner l'ensemble complexe des différents systèmes (économiques, politiques, sociaux) en activité dans la région. Il est ainsi difficile de replacer l'information dans son contexte général en se tenant strictement à la zone du bassin versant. Par exemple, les activités d'une association locale (telle que l'Association des Jeunes de Zammour dans la région d'étude) située juste en dehors des limites du bassin versant, mais influençant significativement celui-ci, ne sont théoriquement pas prises en compte. De même, le chevauchement des territoires administratifs constitue un obstacle important à la mise en fonction des processus de gestion (Brun et Lasserre 2006).

L'échelle du bassin versant est également jugée comme « insuffisante pour identifier des territoires pertinents pour la gestion de l'eau, en particulier en raison des transferts d'eau » ayant lieu en profondeur (Brun et Lasserre 2006).

Aussi, il est contestable d'utiliser l'approche par bassin versant dans une zone aride comme le Sud de la Tunisie. En effet, la notion de bassin versant renvoie automatiquement à des notions d'hydrologie de surface. Or, les écoulements, bien qu'intenses, y sont très peu fréquents. Il importe dès lors de considérer non seulement les relations amont-aval le long des oueds, mais aussi l'occupation et la fonction des terres qui résultent de la mobilisation des flux d'eau par les ouvrages de conservation.



# Partie IV Conclusion

## 11. Synthèse

La gestion intégrée des bassins versants fait appel à un large éventail de disciplines, d'acteurs locaux et d'activités. La documentation et l'évaluation de cette pratique de gestion durable des terres permettent non seulement de faire un point sur la situation localement, mais aussi de partager l'expérience acquise.

L'analyse des impacts de la conservation des eaux et des sols dans le bassin versant de l'oued Hallouf a montré qu'il est possible de mitiger les effets de la désertification, et même de les surmonter au travers des politiques de développement rural. Des conditions de vie et de production agricole à la hausse, de même qu'un recul de la dégradation des eaux et des sols, ont été constatés. L'adaptation au milieu contraignant et à l'évolution socio-économique de la région demande cependant d'importants efforts, tant organisationnels que financiers. Ceux-ci ne peuvent désormais plus se concevoir autrement que par l'implication parfois laborieuse de la population concernée, sans laquelle les moyens engagés risquent de ne pas être profitables et viables à long terme.

Les bénéfiques précédemment cités des stratégies de lutte contre la désertification déployées dans la région de la Jeffara dépendent fortement des aménagements de conservation des eaux et des sols mis en œuvre. Ceux-ci sont principalement destinés à créer des surfaces exploitables sur les versants et en plaine, à protéger des écoulements violents dans l'oued et à favoriser la recharge de la nappe phréatique par infiltration. L'agencement spatial et topographique des technologies de conservation répond évidemment à leurs fonctions spécifiques. Mieux que cela, leur arrangement en système permet d'optimiser leur effets entre elles et au niveau du bassin versant. Les combinaisons des mesures de conservation concrétisent ainsi le choix d'une stratégie préventive plutôt que curative et de collaborations entre amont et aval. Ayant appliqué ces principes et les ayant intégrés au contexte local, les projets tunisiens ont valeur d'exemple pour les autres régions en proie à la désertification.

Du point de vue méthodologique, l'évaluation des impacts de la gestion durable des terres dépend de l'approche employée. Le nouveau questionnaire WOCAT sur les bassins versants a été élaboré dans le but de prendre en compte le plus possible de facettes de la réalité du terrain. Il sert donc de base à l'évaluation des activités de gestion en cours dans le bassin versant de l'oued Hallouf. Son remplissage en situation a rendu possible la mise au point de son fond et de sa forme. Par la même occasion, les informations collectées pourront être intégrées à une base de données regroupant des programmes similaires en d'autres endroits du monde.

L'analyse spatiale à l'aide de la télédétection comble les besoins en représentations cartographiques précises des systèmes des technologies de conservation. Elle permet de caractériser les éléments qui, remis dans leur contexte socio-économique, sont justement à la base de l'analyse de la gestion par bassin versant. L'étude des aménagements par télédétection est basée sur des principes méthodologiques peu comparables à ceux de leur évaluation par questionnaire.

## 12. Perspectives

L'artificialisation et l'intensification des espaces dans le Sud de la Tunisie sont issues des stratégies de lutte contre la désertification et des politiques de développement rural. Jusqu'à présent, elles ont rendu possible un contrôle relatif sur les phénomènes de dégradation, tout en favorisant l'élévation du niveau de vie. Ces bénéfices environnementaux et socio-économiques, acquis au prix d'efforts considérables, représentent néanmoins le principal risque pour l'avenir de la région de la Jeffara. En effet, la mise en culture de nouvelles parcelles créées par l'aménagement des bassins versants accroît la pression sur les eaux et les sols. La concurrence sur les ressources s'en trouve ainsi augmentée et la concertation entre les acteurs locaux risque d'en être affectée. Les conditions de production et de fonctionnement des aménagements deviennent aussi de plus en plus tributaires de facteurs externes comme les circonstances climatiques. La viabilité de la lutte contre la désertification et du développement rural repose donc sur les capacités à lier les différentes dynamiques socio-économiques et environnementales de la région en vue d'atteindre un équilibre durable.

La gestion intégrée par bassin versant telle que documentée laisse quelques questions ouvertes. Parmi celles-ci, est-ce que ce type d'approche peut être pertinemment appliqué partout, et si oui, doit-il obligatoirement l'être ? Il existe en effet sûrement des exemples où il est souhaitable de ne pas inclure l'amont et l'aval dans un même système, ou alors des conditions tant humaines qu'environnementales ne se prêtant pas à ce genre de gestion. Les importants efforts concédés représentent également un risque réel, mais parfois nécessaire, en fonction de la complexité du système sur lequel ils interviennent.

Au niveau de la méthodologie, il reste encore quelques interrogations sur la capacité réelle des évaluations globales et intégrées préconisées. Par exemple le nouveau questionnaire WOCAT sur les bassins versants peut-il se suffire à lui-même ? L'évaluation de la situation actuelle permet certes de faire un état des lieux, de partager l'expérience acquise et de servir de base à la prise de décision, mais la poursuite et le succès futurs des pratiques de gestion durable des terres dépendent aussi d'autres facteurs non pris en compte. Il serait dès lors intéressant de combiner le questionnaire à d'autres modules réunissant des aspects tant historiques que relatifs aux processus évolutifs, comme les changements climatiques et les dynamiques politiques.

# Bibliographie et références

**Achouri M.** 2005. *Preparing the next generation of watershed management programmes*. In: Achouri M., Tennyson L. *Proceedings of the European regional workshop, Megève, France, Septembre 2002*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations

**Bonvallot J.** 1979 *Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médenine (Tunisie du sud) au cours des pluies exceptionnelles de mars 1979*. Cahiers ORSTOM. Série Sciences Humaines

**Brun A., Lasserre F.** 2006 *Politiques locales de l'eau dans le monde, l'application difficile des grands principes*. Québec : Presses de l'Université du Québec

**De Graaff J., Ouessar M.** 2002. *Water harvesting in Mediterranean zones: an impact assessment and economic evaluation. Compte-rendu du séminaire final du projet de recherche WAHIA, Lanzarote, mars 2002*. Université de Wageningen

**Fetoui M., Fleskens L., Stroosnijder L.** 2002. *Economic evaluation of the on-site impact of water harvesting in southern Tunisia. Compte-rendu du séminaire final du projet de recherche WAHIA, Lanzarote, mars 2002*. Université de Wageningen

**Genin D., Guillaume H., Ouessar M., Ouled Belgacem A., Romagny B., Sghaier M., Taamallah H.** 2006. *Entre désertification et développement : la Jeffara tunisienne*. Tunis : CERES

**Genin D., Sghaier M.** 2003. *Programme sur la désertification dans la Jeffara tunisienne. Pratiques et usages des ressources, techniques de lutte et devenir des populations rurales*. Médenine : Institut des régions arides

**Hannafi A., Genin D., Ouled Belgassem A.** 2002. *Steppes et systèmes de production agropastorale dans la Jeffara tunisienne : quelles relations dynamiques ?* FAO-CIHEAM

**Liniger H., Critchley W.** 2007 *Where the land is greener. Case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide*. WOCAT

**Ouessar M.** 2007. *Hydrological impacts of rainwater harvesting in wadi Oum Zessar watershed (Southern Tunisia)*. Thèse de doctorat. Gand, Belgique: Université de Gand

**Ouessar, M., Sghaier, M., Mahdhi, N., Abdelli, F., De Graaff, J., Chaieb, H., Yahyaoui, H., Gabriels, D.** 2004. *An integrated approach for impact assessment of water harvesting techniques in dry areas: The case of Oued Oum Zessar watershed (Tunisia)*. Journal of Environmental Monitoring and Assessment

**Ouessar M., Yahyaoui H., Maati M., Abdelli F.** 2004. *Assessment of water harvesting techniques: impacts on soil water and erosion in an arid catchment*. Options Méditerranéennes 60. Saragosse: CIHEAM-IAMZ

## Bibliographie et références

**Romagny B., Cudennec C.** 2006. *Gestion de l'eau en milieu aride : considérations physiques et sociales pour l'identification des territoires pertinents dans le Sud-Est tunisien*. Développement durable et territoires

**Schwilch G., Bestelmeyer B., Bunning S., Critchley W., Herrick J., Kellner K., Liniger H.P., Nachtergaele F., Ritsema C.J., Schuster B., Tabo R., van Lynden G., Winslow M.** 2010. *Experiences in monitoring and assessment of sustainable land management*. Land degradation and development

## Documents :

Agenda 21 pour l'eau, 2011. *Gestion par bassin versant. Idées directrices pour une gestion intégrée des eaux en Suisse*. Berne

Centre for Development and Environment, 2007 - 2009. *Proceedings of the WOCAT international workshop and steering meeting*

Millenium Ecosystem Assesment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being. Synthesis*. Washington DC. : World Resources Institute

Organisation des Nations unies, 1994. *Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, notamment en Afrique (UNCCD)*. Paris

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2008. *La nouvelle génération de programmes et projets d'aménagement des bassins versants*. Rome

Organisation des Nations unies, Convention de lutte contre la Désertification, 2009. *Fiche techniques : La lutte contre la désertification en Afrique*

République tunisienne, Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire, 1998. *Programme d'action national de lutte contre la désertification*

République tunisienne, Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire, 2001. *Communication initiale de la Tunisie à la Convention Cadre des Nation unies sur les changements climatiques*

République tunisienne, Ministère de l'environnement et du développement durable, 2006. *Plan d'action régional de lutte contre la désertification du gouvernorat de Médenine, Rapport final*.

## Internet

République tunisienne, Centre national de la cartographie et de la télédétection. 2010. Cartes agricoles régionales. <http://www.cartagricole.agrinet.tn> Consulté à partir de 2010

World overview of conservation approaches and technologies. 2010. <http://www.wocat.net> Consulté à partir de 2010

# Déclaration

## Erklärung

Gemäss Art. 28 Abs. 2 RSL 05

Name/Vorname: Hauser Cyprien  
Matrikelnummer: 05-208-418  
Studiengang: Master of Science in Geography, Universität Bern

Bachelor       Master       Dissertation

Titel der Arbeit: Etude de la gestion d'un bassin versant comprenant des technologies de gestion durable des terres  
Exemple du bassin versant de l'oued Hallouf en Tunisie

Leiter/-in der Arbeit: Prof. Dr. Hans Hurni

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet. Mir ist bekannt, dass andernfalls der Senat gemäss Artikel 36 Absatz 1 Buchstabe o des Gesetzes vom 5. September 1996 über die Universität zum Entzug des auf Grund dieser Arbeit verliehenen Titels berechtigt ist.

Berne / 29.06.2011

Ort/Datum

.....  
Unterschrift