

COMMUNAUTÉ FRANÇAISE DE BELGIQUE  
UNIVERSITÉ DE LIÈGE – GEMBLOUX AGRO-BIO TECH

**ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE LA DESERTIFICATION DANS LE BASSIN  
VERSANT DE LA MOULOUYA EN INTEGRANT LES DONNEES ISSUES DE LA  
TELEDETECTION ET LES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES**

**Noureddine MOKHTARI**

Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de docteur  
en sciences agronomiques et ingénierie biologique

Promoteur : **Philippe LEBAILLY**

Année civile : 2016



**Copyright** © aux termes de la loi belge du 30 juin 1994 sur le droit d’auteur et les droits voisins, seul l’auteur a le droit de reproduire partiellement ou complètement cet ouvrage de quelque façon et de quelque forme que ce soit ou d’en autoriser la reproduction partielle ou complète de quelque manière et sous quelque forme que ce soit. Toute photocopie ou reproduction sous autre forme est donc faite en violation de ladite loi et de ses modifications ultérieures.

**MOKHTARI NOUREDDINE.** 2016. Etude de la dynamique de la désertification dans le bassin versant de la Moulouya en intégrant les données issues de la télédétection et les données socio-économiques, Maroc (Thèse de doctorat). Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, 266 p., 108 Tableaux., 143 Figures.

## Résumé

La recherche sur la désertification et la dégradation de l'environnement est très complexe et vise la mise en relation entre les ressources de l'environnement, leurs limites de durabilité et des usages qui se font de ces ressources par l'homme en tant qu'agent économique qui vise à améliorer son bien-être.

Dans le bassin versant de la Moulouya caractérisé par un climat essentiellement aride à semi-aride, une augmentation sensible de la population et une forte hausse de la demande en ressources naturelles, le problème de la désertification se pose en termes d'adaptation des besoins de la population aux contraintes du milieu en vue de maintenir la durabilité des ressources.

Dans ce sens, le challenge consiste en un double objectif, premièrement l'évaluation de la désertification à travers l'analyse de l'état de dégradation du milieu et deuxièmement, l'étude des causes de cette dégradation moyennant des enquêtes axées sur les pratiques agricoles et la formulation de propositions d'actions à entreprendre pouvant être utilisées de manière opérationnelle par les acteurs locaux et les pouvoirs publics.

Concrètement ceci a été réalisée en trois étapes successives, à savoir premièrement l'évaluation des dynamiques biophysiques du milieu à travers l'étude des données climatiques et celles issues de la télédétection et l'identification des zones de sensibilité à la désertification moyennant l'intégration des données biophysiques et socio-économiques, deuxièmement l'analyse des stratégies de production des agriculteurs dans une zone d'intérêt en vue de comprendre les mécanismes d'allocation des ressources et finalement la proposition de scénarios d'adaptation en tenant compte des contraintes liées à la gestion durable des ressources et au respect de l'environnement.

Le suivi de la dynamique des phénomènes biophysiques liés à la désertification s'est fait essentiellement à travers l'étude de l'évolution du climat et de la qualité de la végétation à l'échelle de l'ensemble de la zone étudiée (NDVI) et au niveau d'une zone d'intérêt pour la recherche (occupation du sol). Ceci a été réalisé à travers l'utilisation d'un ensemble d'indicateurs relatifs à l'évolution de la qualité du climat (précipitations et températures) et moyennant l'utilisation des données de télédétection relatives à la qualité de la végétation et au suivi des changements d'occupation du sol.

Pour la végétation, le suivi spatio-temporel de la végétation pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya a montré pour les trois sources de données à basse résolution utilisées et relatives au NDVI (GIMMS, MEDOKADS et SPOT) des évolutions similaires de l'indice de végétation NDVI. Malgré les différences entre les amplitudes de variation du NDVI, liées essentiellement aux spécificités des algorithmes de traitement, les trois séries de données conservent la même tendance stationnaire au cours du temps. D'une manière générale, les fluctuations du NDVI mises en évidence à l'aide des données NDVI à basse résolution reflètent principalement les variations spatio-temporelles en quantité et en qualité des précipitations d'une année par rapport à une autre et ne montrent aucune tendance particulière concernant la qualité de la végétation.

Pour le climat, l'exploitation des différentes sources de données (précipitations et température), en vue de caractériser la dynamique du climat ainsi que ses scénarios d'évolution pour le 21<sup>ème</sup> siècle à l'échelle du bassin versant montre que la qualité du climat de la zone a connu une détérioration (diminution des précipitations et hausse des températures) au cours du siècle précédent qui s'est traduite par une augmentation de l'aridité.



L'analyse des données relatives aux précipitations et aux températures enregistrées au cours de la période 1994-2014 et leur comparaison avec les scénarios d'évolution du climat (HADCM3) montrent que le climat régional est resté relativement stable au cours de cette période et que sa tendance s'écarte sensiblement du scénario 2000-2020, soit un écart minimal en moins de l'ordre de 0,5 °C pour les températures et en plus de 3 mm pour les précipitations.

L'identification des zones sensibles à la désertification, réalisée sur la base de l'approche MEDALUS, a montré que les zones fragiles et critiques totalisent 61% de la superficie du bassin versant, soit une superficie d'environ 3,25 millions d'ha. Spatialement, les zones sensibles à la dégradation se trouvent aussi bien dans la Basse Moulouya que dans les Hauts Plateaux et la vallée de Missour constitués essentiellement de parcours steppiques.

Dans la zone côtière, cette sensibilité à la désertification est surtout liée à l'intensification de l'agriculture caractérisée par la mise en place depuis plus d'un demi-siècle du périmètre irrigué de la Moulouya, mais aussi par la forte densité de la population.

Pour les Hauts Plateaux et la vallée de Missour, les facteurs explicatifs de cette sensibilité à la désertification sont liés à la densité du cheptel qui se manifeste surtout à travers la dégradation du couvert végétal.

L'analyse de la dynamique d'occupation du sol à travers l'utilisation des images satellites (LANDSAT) pour la commune de Tissaf, choisie comme zone d'intérêt pour la recherche, a révélé une dégradation qualitative de la végétation. En effet, de grandes superficies d'Alfa dense à très dense (végétation climacique) se sont dégradées pour se retrouver dans la classe d'Alfa faiblement dense, soit une diminution de l'ordre de 16.199 ha sur 20 ans.

L'analyse des causes de la dégradation des parcours au niveau de la commune de Tissaf à travers l'étude de la productivité des parcours et du système d'élevage pastoral a révélé que le capital, en tant que facteur de production, joue un rôle important dans les stratégies d'utilisation des ressources fourragères « gratuites » issues des parcours collectifs. Ainsi, les grands éleveurs sédentaires ou semi-nomades disposant d'importants fonds propres et grâce à une utilisation plus opportuniste des parcours collectifs paraissent profiter davantage de ces ressources (46.478,15 UF) par rapport aux petits éleveurs sédentaires et transhumants (5.148,70 UF et 18.714,40 UF). Les petits éleveurs qui adaptent l'effectif de leur cheptel en fonction des conditions du milieu (décapitalisation en période de sécheresse) semblent profiter moins en quantité et en qualité des ressources pastorales disponibles.

L'analyse des scénarios d'adaptation en relation avec l'augmentation de l'aridité du milieu en vue de lutter contre la désertification a montré la nécessité de tenir compte du potentiel biophysique et de ses dynamiques spatio-temporelles dans les stratégies de développement durable à l'échelle régionale et a révélé qu'une forte capitalisation de l'agriculture à travers un financement non adapté peut avoir un effet négatif sur la durabilité des ressources et la pérennité des systèmes de production agricoles en particulier.

En guise de conclusion la thèse propose des scénarios d'adaptation des systèmes de production allant de l'amélioration des productivités à l'adaptation des technologies agricoles à la fragilité du milieu en vue d'orienter les stratégies de développement et d'investissement vers les secteurs rentables économiquement et qui respectent en même temps l'environnement.

**Mots clés :** Désertification, Moulouya, Evaluation, Télédétection, Economie, Maroc.

MOKHTARI NOUREDDINE. 2016. Study of the desertification dynamics in the Moulouya watershed by integrating remote sensing and socioeconomic data, Morocco (Doctorate Thesis). Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, 266 p., 108 Tables, 143 Figures.

## Summary

The research on desertification and environmental degradation is very complex and aimed at linking the environmental resources, their limits of sustainability and the uses that are made of these resources by man as an economic agent targeting the improvement of his welfare.

In the Moulouya watershed, characterized by arid to semiarid climate, a significant increase in population and a high increase in demand for natural resources, the desertification problem comes up in terms of adapting to the needs of the population to environmental constraints in order to maintain the sustainability of resources.

In this sense, the challenge is a dual purpose, firstly the assessment of desertification through the analysis of environmental degradation status and secondly, the study of the causes of this degradation through surveys axed on agricultural practices and on formulation of proposals for action to be taken which can be used operationally by local stakeholders and government.

In practical terms this has been carried out in three successive stages, namely; first, the assessment of biophysical dynamics of the medium through the study of climate data and data from remote sensing and identification of areas susceptible to desertification through the integration of biophysical and socio-economic data; second, the analysis of farmers' production strategies in an area of interest in order to understand the mechanisms of resource allocation and, finally, the proposal of adaptation scenarios taking into account the constraints to the sustainable management of resources and the respect of the environment.

The monitoring of the biophysical phenomena dynamics linked to desertification was done, mainly, through the study of the climate and the quality of vegetation changes at the entire study area scale (NDVI) and on the scale of an area of interest for research (land use). This was achieved through the use of a set of indicators related to the quality of climate changes (temperature and precipitation) and the use of remote sensing data on the quality of the vegetation and the monitoring of land use changes.

For the vegetation, the special and temporal monitoring of the vegetation for the entire Moulouya watershed have shown, for the three low-resolution data sources used and related to the NDVI (GIMMS, MEDOKADS and SPOT), similar trend for the vegetation index, NDVI. Despite the differences between NDVI variation amplitudes, mainly related to the specific processing algorithms, the three data series retain the same flat trend over time. In general, fluctuations in the NDVI, demonstrated through the use of low resolution NDVI data, mainly reflect the spatial and temporal variations in quantity and quality of yearly rainfall and show no particular trend regarding the quality of vegetation.

As for the climate, the use of different data sources (precipitation and temperature), to characterize the dynamics of the climate and its evolution scenarios for the 21st century throughout the watershed shows that the quality of the climate in the target region was deteriorated (reduced rainfall and increasing temperatures) during the previous century, which resulted in an increase in aridity.

The analysis of data on precipitation and temperatures recorded during the period 1994-2014 and their comparison with the climate change scenarios (HADCM3) shows that regional climate has remained relatively stable during this period and its trend differs significantly from the 2000-2020 scenario, a minimum distance within the range 0,5 °C for temperature and over 3 mm for precipitation.

The identification of susceptible areas to desertification, conducted on the basis of MEDALUS approach, showed that the critical and fragile areas are totaling 61% of the area of the watershed, an area of about 3,25 million ha. Spatially, the areas susceptible to degradation are located both in the lower Moulouya as in the highlands and Missouri Valley consisting mainly of steppe rangelands.

In the coastal zone, this susceptibility to desertification is mainly linked to the intensification of agriculture characterized by the establishment, for over half a century, of the irrigated perimeter of Moulouya, but also by the high population density.

In the highlands and Missouri Valley, the factors explaining this susceptibility to desertification are related to livestock density whose effect is visible, mainly, through the degradation of plant cover.

The analysis of the soil occupation dynamics through the use of satellite imagery (LANDSAT) for the Rural Commune of Tissaf, selected as the area of interest for research, revealed a qualitative degradation of vegetation. Indeed, large areas, with medium to high density Alfa (climax vegetation), have been degraded to become in the class of weakly dense alfalfa, a decrease of 16.199 ha over a 20years period.

The analysis of the causes of rangeland degradation in the Rural Common of Tissaf through the study of the productivity of rangelands and pastoral farming system revealed that funds, as a production factor, play an important role in the strategies of the "free" use of forage resources that come from collective rangelands. Thus, big sedentary or semi-nomadic herders with substantial own funding and due to opportunistic use of collective rangelands, seem to benefit more from these resources (46.478,15 UF) compared to small and sedentary livestock farmers (and 5.148,70 UF 18.714,40 UF). Small farmers who adapt the size of their livestock to the prevailing environmental conditions (decrease of the size during drought) seem to benefit less in quantity and quality of available pastoral resources.

The analysis of adaptation scenarios in relation to the increasing aridity of the environment so as to fight against desertification has shown the need to take into account the biophysical potential and spatiotemporal dynamics in sustainable development strategies at regional scale and revealed that a strong capitalization of agriculture through an unsuitable financing can have a negative effect on the sustainability of resources and, particularly, the sustainability of agricultural production systems.

In conclusion, the thesis offers adaptation scenarios of agricultural production systems that can be used in an operational way by local stakeholders and government in order to orient the development and investment strategies towards sectors economically profitable and that respect, at the same time, the environment.

**Keywords:** Desertification, Moulouya, Evaluation, Remote Sensing, Economics, Morocco.

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier vivement toutes les personnes et elles sont nombreuses, qui ont, de près ou de loin, contribué à sa réalisation.

Ce travail n'aurait jamais pu voir le jour sans l'aide, combien précieuse, des professeurs Philippe Lebailly, responsable de l'unité d'économie et développement rural de l'Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech, Promoteur et du Professeur Laurent Bock, ex-responsable de l'unité de Géo-pédologie de l'Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech, et son successeur Pr. Gilles Colinet. C'est grâce à leurs grandes connaissances scientifiques, leur longue expérience dans mon domaine de recherche et leur grande patience que le présent travail a pu finalement voir le jour ; qu'ils trouvent ici l'assurance de ma très profonde gratitude et ma grande estime.

Je remercie aussi mon comité de thèse et l'ensemble des membres du Jury pour le temps qu'ils ont consacré à ce travail. Je remercie bien évidemment le professeur Mustapha Fagroud pour sa contribution à la réalisation et la finalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également au Gouvernement Belge, à travers la Coopération Technique Belge qui m'a accordé une bourse mixte de thèse, qu'il trouve ici l'expression de mes sincères remerciements et gratitude.

Je remercie également la Direction de l'École Nationale d'Agriculture pour toutes les facilités qu'elle m'a accordées pour la réalisation du travail de terrain et pour son encouragement.

**Noureddine MOKHTARI.**

## DEDICACE

*A la mémoire de ma chère mère ;  
A mon très cher père ;  
A ma femme, Fadoua, pour son soutien tout au long de cette thèse ;  
A mes fils chéris, Rayane et Ayman ;  
A toute ma famille.*



# TABLES DES MATIERES

<b>CHAPITRE 1. INTRODUCTION GÉNÉRALE.....</b>	<b>1</b>
<b>A. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>B. OBJECTIF DU TRAVAIL .....</b>	<b>3</b>
<b>C. INTÉRÊT ET ORIGINALITÉ DE LA RECHERCHE .....</b>	<b>3</b>
<b>D. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE .....</b>	<b>4</b>
1. ECHELLE GLOBALE .....	4
2. ECHELLE LOCALE .....	7
<b>E. ECHANTILLONNAGE .....</b>	<b>8</b>
<b>F. CADRE THÉORIQUE ET CONCEPTUEL.....</b>	<b>9</b>
1. APPROCHE THÉORIQUE .....	9
2. APPROCHE CONCEPTUELLE .....	11
<b>G. HYPOTHÈSES DE LA RECHERCHE .....</b>	<b>11</b>
<b>H. ANALYSE SOCIO-ÉCONOMIQUE DES MÉNAGES AGRICOLES.....</b>	<b>12</b>
<b>I. ELABORATION DU QUESTIONNAIRE .....</b>	<b>13</b>
<b>J. ELABORATION D'UN SYSTÈME D'INFORMATION DES MÉNAGES AGRICOLES .....</b>	<b>14</b>
<b>K. INTÉGRATION ET ANALYSE DES DONNÉES DES MÉNAGES AGRICOLES .....</b>	<b>14</b>
<b>CHAPITRE 2. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>15</b>
<b>A. INTRODUCTION .....</b>	<b>15</b>
<b>B. DÉFINITIONS DE LA DÉSSERTIFICATION .....</b>	<b>16</b>
<b>C. MESURE DE LA DÉSSERTIFICATION .....</b>	<b>17</b>
<b>D. CAUSES DE LA DÉSSERTIFICATION .....</b>	<b>22</b>
<b>E. EVALUATION DES COÛTS DE LA DÉSSERTIFICATION .....</b>	<b>28</b>
<b>F. COÛTS DE LA DÉSSERTIFICATION.....</b>	<b>31</b>
<b>G. CONCLUSION .....</b>	<b>33</b>
<b>CHAPITRE 3. PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA MOULOUYA ET IDENTIFICATION DES ZONES DE SENSIBILITÉ À LA DÉSSERTIFICATION.....</b>	<b>35</b>
<b>A. PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA MOULOUYA .....</b>	<b>35</b>
1. LOCALISATION .....	35
2. GEOMORPHOLOGIE.....	36
3. DECOUPAGE ADMINISTRATIF .....	38
4. TOPOGRAPHIE.....	39
5. GEOLOGIE.....	41
5.1. Les schistes et granites du paléozoïque .....	42
5.2. Les marnes, basaltes et argiles du trias .....	42
5.3. Les formations carbonatées du jurassique.....	43
5.4. Les marnes et calcaires du crétacé .....	43
5.5. Les conglomérats, grès et calcaires du crétacé.....	43
5.6. Les formations du quaternaire .....	43

6.	CLIMAT.....	44
6.1.	Les températures.....	44
6.2.	Les précipitations.....	47
6.3.	Etages bioclimatiques.....	48
6.4.	L'aridité.....	51
6.5.	Les vents.....	53
7.	RESEAU HYDRAULIQUE.....	53
7.1.	Réseau hydrographique.....	53
7.2.	Ressources hydriques.....	54
8.	RESSOURCES VEGETALES.....	55
8.1.	Occupation du sol.....	55
8.2.	Formations forestières.....	57
8.3.	Particularité de l'Alfa dans le bassin de la Moulouya.....	58
8.4.	Cadre légal et juridique.....	58
<b>B.</b>	<b>CARTE DE SENSIBILITÉ A LA DESERTIFICATION.....</b>	<b>59</b>
1.	ELABORATION DE LA CARTE DE L'INDICE DE LA QUALITÉ DU CLIMAT (IQC).....	59
1.1.	Précipitations.....	59
1.2.	Aridité.....	60
1.3.	Expositions.....	61
1.4.	Carte de l'indice de qualité du climat.....	62
2.	ELABORATION DE LA CARTE DE L'INDICE DE QUALITÉ DES SOLS (IQS).....	63
2.1.	Carte des matériaux parentaux.....	63
2.2.	Carte des textures.....	65
2.3.	Carte des profondeurs.....	67
2.4.	Carte des pentes.....	69
2.5.	Carte de l'indice de la qualité des Sols.....	70
3.	ELABORATION DE LA CARTE DE L'INDICE DE QUALITÉ DE LA VÉGÉTATION (IQV).....	71
3.1.	Carte de couverture végétale (CV).....	71
3.2.	Carte du risque d'incendie (RI).....	76
3.3.	Carte de protection contre l'érosion par la végétation (PE).....	77
3.4.	Carte de résistance à la sécheresse (RS).....	78
3.5.	Carte de l'indice de la qualité de la végétation.....	79
4.	ELABORATION DE LA CARTE DE L'INDICE DE QUALITÉ DES SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT.....	80
4.1.	Carte de l'intensité d'utilisation des terres de parcours (IUTP).....	80
4.2.	Intensité d'utilisation des terres agricoles (IUTA).....	81
4.3.	Intensité de la pression de la population (DP).....	82
4.4.	Carte de l'indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA).....	83
5.	ELABORATION DE LA CARTE DE L'INDICE DE SENSIBILITÉ À LA DÉSSERTIFICATION.....	84
<b>C.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>86</b>
 <b>CHAPITRE 4. ANALYSE DES CHANGEMENTS DE LA VÉGÉTATION ET DU CLIMAT.....</b>		<b>88</b>
<b>A.</b>	<b>APERÇU SUR LA TÉLÉDÉTECTION.....</b>	<b>88</b>
<b>B.</b>	<b>DIFFICULTÉS DE LA TÉLÉDÉTECTION DES CHANGEMENTS EN MILIEUX ARIDES.....</b>	<b>88</b>
<b>C.</b>	<b>TECHNIQUES DE DÉTECTION DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL.....</b>	<b>90</b>
1.	ANALYSE VISUELLE.....	91
2.	CALCUL ALGÈBRE.....	91
<b>D.</b>	<b>OBJECTIFS DE L'ANALYSE.....</b>	<b>92</b>
<b>E.</b>	<b>MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b>93</b>
1.	DONNEES UTILISEES.....	93
1.1.	Données NDVI.....	93



1.2.	Données climatiques.....	95
2.	METHODES D'ANALYSE .....	95
<b>F.</b>	<b>RÉSULTATS .....</b>	<b>95</b>
1.	VEGETATION.....	95
1.1.	Analyse de tendance des séries NDVI .....	95
1.2.	Analyse des relations entre le NDVI et les précipitations .....	97
1.3.	Analyse de l'efficacité d'utilisation des pluies RUE .....	102
1.4.	Analyse des séries standardisées du NDVI.....	103
1.5.	Analyse de l'évolution saisonnière du NDVI .....	104
1.6.	Comparaison des séries GIMMS et MEDOKADS.....	105
1.7.	Analyse spatio-temporelle des séries NDVI .....	106
1.7.1.	Etude de la structure spatiale du NDVI .....	106
1.7.2.	Etude des anomalies du NDVI.....	108
2.	CLIMAT DU 20 <sup>ÈME</sup> SIECLE .....	115
2.1.	Températures .....	115
2.2.	Evolution annuelle.....	115
2.3.	Tendance .....	116
2.3.1.	Température moyenne .....	118
2.3.2.	Température minimale.....	121
2.3.3.	Température maximale.....	122
2.4.	Précipitations.....	123
2.4.1.	Structure annuelle.....	123
2.4.2.	Tendance annuelle .....	123
2.4.3.	Tendance saisonnière .....	126
3.	EVOLUTION RECENTE DU CLIMAT .....	127
3.1.	Tendances annuelles.....	127
3.1.1.	Températures .....	127
3.1.2.	Précipitations annuelles.....	129
3.2.	Tendances mensuelles.....	130
3.2.1.	Températures .....	130
3.2.2.	Précipitations mensuelles.....	131
<b>G.</b>	<b>SCENARIOS D'ÉVOLUTION FUTURE DU CLIMAT .....</b>	<b>131</b>
1.	TENDANCES DES TEMPERATURES.....	132
1.1.	Température moyenne .....	132
1.1.1.	Température annuelle.....	132
1.1.2.	Température saisonnière.....	133
1.2.	Température minimale.....	134
1.2.1.	Température annuelle.....	134
1.2.2.	Température saisonnière.....	134
1.3.	Température maximale.....	135
1.3.1.	Température annuelle.....	135
1.3.2.	Température saisonnière.....	135
2.	TENDANCES DES PRECIPITATIONS .....	136
2.1.	Précipitations annuelles.....	136
2.2.	Précipitations mensuelles.....	137
<b>H.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>138</b>

**CHAPITRE 5. CHOIX DE LA ZONE D'INTÉRÊT ET ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE LA VÉGÉTATION À L'ÉCHELLE LOCALE ..... 143**

**A. CHOIX DE LA ZONE D'INTÉRÊT ..... 143**

<b>B.</b>	<b>PRÉSENTATION DE LA COMMUNE DE TISSAF .....</b>	<b>144</b>
1.	MILIEU PHYSIQUE .....	144
1.1.	Localisation.....	144
1.2.	Topographie .....	145
2.	CLIMAT.....	145
2.1.	Les températures .....	145
2.2.	La pluviométrie.....	146
2.3.	L'aridité.....	147
2.4.	Etages bioclimatiques .....	149
3.	RESSOURCES .....	150
3.1.	Végétation naturelle .....	150
3.2.	Production animale et évolution du cheptel .....	152
4.	INFRASTRUCTURES .....	154
4.1.	Infrastructure d'élevage .....	154
4.2.	Réseau de transport.....	155
5.	DEPLACEMENT ET TRANSHUMANCE.....	156
<b>C.</b>	<b>ANALYSE DE LA DYNAMIQUE LOCALE DE LA VÉGÉTATION .....</b>	<b>157</b>
1.	DONNEES DE TELEDETECTION UTILISEES .....	157
1.1.	Choix de l'imagerie satellitaire .....	158
1.2.	Scènes LANDSAT utilisées et prétraitements.....	158
1.3.	Méthodes d'analyse et de classification .....	159
1.3.1.	Carte de la qualité du couvert végétal .....	159
1.3.2.	Carte des zones ayant subi une dégradation .....	159
1.3.3.	Analyse de l'évolution de l'occupation du sol .....	159
2.	RESULTATS DE L'ANALYSE .....	160
2.1.	Analyse des séries NDVI GIMMS/AVHRR .....	160
2.1.1.	Analyse des séries chronologiques NDVI.....	160
2.1.2.	Analyse de RUE (Rain Use Efficiency) .....	161
2.2.	Analyse des données NDVI SPOT Végétation.....	162
2.2.1.	Analyse des séries NDVI SPOT .....	162
2.2.2.	Relation entre le NDVI et l'altitude .....	163
2.2.3.	Suivi du recouvrement végétal.....	164
2.3.	Analyse de l'occupation du sol .....	165
2.4.	Analyse de la dynamique de la végétation .....	168
2.4.1.	Occupation du sol entre 1988 et 2007 .....	169
2.4.2.	Evaluation de la dynamique de la végétation.....	172
<b>D.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>173</b>

**CHAPITRE 6. ANALYSE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DE LA PRODUCTIVITÉ DES PARCOURS DE LA COMMUNE DE TISSAF .....** 175

<b>A.</b>	<b>IMPORTANCE DE L'ÉLEVAGE AU MAROC.....</b>	<b>175</b>
<b>B.</b>	<b>OBJECTIFS ET CONTENU DE L'ANALYSE .....</b>	<b>175</b>
1.	CONTENU DE L'ENQUETE .....	175
2.	METHODE D'ECHANTILLONNAGE.....	176
3.	ANALYSE STATISTIQUE.....	176
3.1.	Variables sur les données sociodémographiques de l'éleveur .....	176
3.2.	Variables liées à l'effectif du cheptel.....	176
3.3.	Variables liées à la dynamique spatiale de l'éleveur.....	176
3.4.	Variables de conduite alimentaire.....	176
3.5.	Variables de conduite de reproduction.....	177

3.6.	Variables liées à la valeur du parcours .....	177
4.	ANALYSE STATISTIQUE.....	177
5.	ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE .....	177
<b>C.</b>	<b>RÉSULTATS DE L'ANALYSE .....</b>	<b>177</b>
1.	TYPOLOGIE DES SYSTEMES D'ELEVAGE.....	177
2.	CARACTERISATION DES SYSTEMES D'ELEVAGE.....	178
3.	CARACTERISTIQUES SOCIO-DEMOGRAPHIQUES .....	179
3.1.	Age des enquêtés.....	179
3.2.	Niveau d'instruction.....	180
3.3.	Niveau d'encadrement des éleveurs par l'ANOC .....	180
3.4.	Caractéristiques des membres actifs de la famille .....	181
4.	CARACTERISTIQUES DE L'ELEVAGE .....	181
4.1.	Importance des espèces exploitées.....	181
4.2.	Composition des troupeaux ovins et caprins .....	182
4.2.1.	Composition des troupeaux .....	182
4.2.2.	Structure d'âge.....	183
5.	CONDUITE DES PETITS RUMINANTS SUR PARCOURS .....	184
5.1.	Gardiennage des troupeaux .....	184
5.2.	Etude de la conduite alimentaire .....	185
5.2.1.	Les ressources alimentaires.....	185
5.2.2.	Calendrier alimentaire des petits ruminants.....	185
5.3.	Importance de la supplémentation.....	187
5.3.1.	Cas des ovins .....	187
5.3.2.	Cas des caprins .....	188
6.	DETERMINATION DU BILAN FOURRAGER.....	188
6.1.	Cas des ovins .....	188
6.2.	Cas des caprins .....	190
7.	ABREUVEMENT DES ANIMAUX .....	191
8.	CONDUITE DE LA REPRODUCTION .....	191
8.1.	Paramètres de reproduction .....	191
8.1.1.	Cas des ovins .....	191
8.1.2.	Cas des caprins .....	194
9.	EVOLUTION ANNUELLE DES EFFECTIFS.....	196
10.	PRODUCTIVITE PONDERALE DE L'UNITE ZOOTECHNIQUE .....	197
10.1.	Cas des ovins .....	197
10.2.	Cas des caprins .....	199
<b>D.</b>	<b>CALCUL DE LA RENTABILITÉ DE L'ÉLEVAGE .....</b>	<b>202</b>
1.	EVALUATION DES COÛTS DE PRODUCTION SUR PARCOURS .....	202
1.1.	Cas des ovins .....	202
1.1.1.	Les charges.....	202
1.1.2.	Les recettes .....	207
1.1.3.	Rentabilité de l'élevage ovin .....	209
1.2.	Cas des caprins .....	213
1.2.1.	Les charges.....	213
1.2.2.	Les recettes .....	215
1.2.3.	Rentabilité de l'élevage caprin .....	216
2.	COÛT VIRTUEL DU PÂTURAGE.....	219
3.	EVALUATION DE LA MARGE BRUTE EN ANNÉE FAVORABLE .....	221
3.1.	Variation des charges de Supplémentation.....	221
3.1.1.	Cas des Ovins .....	221
3.1.2.	Cas des Caprins.....	222
3.2.	Calcul des marges fictives et réelles.....	222

3.2.1.	Cas des Ovins .....	222
3.2.2.	Cas des Caprins.....	223
<b>E.</b>	<b>EVALUATION DE L'ATTRACTIVITE DES PARCOURS .....</b>	<b>224</b>
1.	ANALYSE DE LA RÉPARTITION SPATIALE DES ÉLEVEURS .....	224
2.	ANALYSE DE LA RÉPARTITION SPATIALE DES GROUPES D'ÉLEVEURS .....	225
3.	EFFET DE LA QUALITÉ DE LA VÉGÉTATION SUR LA RÉPARTITION SPATIALE DES ÉLEVEURS .....	226
4.	EFFET DE LA PROXIMITÉ AU RÉSEAU ROUTIER .....	227
5.	RELATION ENTRE LE RAYON DE DÉPLACEMENT ET LA QUALITÉ DES PARCOURS.....	228
6.	EFFET DE LA PROXIMITÉ DES POINTS D'EAU PERMANENTS .....	230
7.	EFFET DE LA LOCALISATION SPATIALE SUR LES PERFORMANCES TECHNIQUES .....	231
<b>F.</b>	<b>ELABORATION D'UN MODÈLE D'ÉVALUATION DE L'ATTRACTIVITÉ DES PARCOURS.....</b>	<b>232</b>
1.	DÉLIMITATION DES UNITÉS SOCIO-TERRITORIALES.....	233
2.	PRODUCTIVITÉ DES FACIÈS PASTORAUX DE LA ZONE DE TISSAF .....	234
3.	LES NIVEAUX PENTE .....	234
4.	QUALITÉ DU CLIMAT .....	235
5.	DISTANCE PAR RAPPORT AU RÉSEAU ROUTIER .....	236
6.	DISTANCE PAR RAPPORT AUX POINTS D'EAU .....	236
7.	PONDÉRATIONS RELATIVES AU CALCUL DE L'ATTRACTIVITÉ DES PARCOURS .....	237
8.	CARTE D'ATTRACTIVITÉ DES PARCOURS .....	239
<b>G.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>240</b>

## **CHAPITRE 7. PROPOSITION D'UNE STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE L'ÉLEVAGE PASTORAL.....243**

<b>A.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>243</b>
<b>B.</b>	<b>AXES DE LA STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DES PARCOURS.....</b>	<b>246</b>
1.	CHOIX DU MODE DE GESTION DES PARCOURS.....	246
1.1.	Modèle de gestion technique de l'espace socio-territorial .....	247
1.2.	Modèle de gestion de l'accès au parcours et de la charge animale .....	248
2.	CHOIX DES MODES DE CONDUITE D'ÉLEVAGE.....	249
3.	AMÉLIORATION DES PERFORMANCES TECHNIQUES ET DES TECHNOLOGIES .....	251
4.	AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ ET AMÉNAGEMENT DES PARCOURS.....	252
4.1.	Mise en défens .....	252
4.2.	Rotation.....	253
4.3.	Interventions spécifiques sur le couvert végétal .....	255
5.	POLITIQUE DES PRIX DE LA FILIÈRE DES VIANDES .....	255
<b>C.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>257</b>

## **CHAPITRE 8. CONCLUSION GÉNÉRALE.....259**

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Algorithme général de détection des zones de sensibilité à la désertification.....	6
Figure 2 : Algorithme général de la méthode d’approche pour l’étude de la désertification à l’échelle du bassin versant de la Moulouya .....	8
Figure 3 : Schéma d’organisation de l’agriculture régionale et de ses flux avec son environnement.....	9
Figure 4 : Composantes du développement durable .....	10
Figure 5 : Etapes du processus de perte de productivité totale de l’écosystème .....	17
Figure 6 : Etapes du processus de perte de productivité.....	18
Figure 7 : Présentation graphique de la sévérité et de l’extension spatiale de la désertification.....	19
Figure 8 : Schéma de fonctionnement général de l’écosystème en relation avec la dégradation .....	24
Figure 9 : Situation géographique du Bassin versant de la Moulouya .....	36
Figure 10 : Carte de morphologie générale du BV de la Moulouya.....	37
Figure 11 : Zonage naturel du bassin versant de la Moulouya.....	38
Figure 12 : Découpage administratif du BV de la Moulouya .....	39
Figure 13 : Algorithme d’extraction du MNT du BV de la Moulouya.....	40
Figure 14 : Carte hypsométrique du BV de la Moulouya.....	41
Figure 15 : Carte géologique du BV de la Moulouya .....	42
Figure 16 : Température moyenne du BV de la Moulouya .....	45
Figure 17 : Température maximale du BV de la Moulouya .....	46
Figure 18 : Température minimale du BV de la Moulouya.....	46
Figure 19 : Répartition des précipitations moyennes BV de la Moulouya .....	47
Figure 20 : Nombre de mois secs du BV de la Moulouya.....	48
Figure 21 : Etages bioclimatiques du BV de la Moulouya.....	49
Figure 22 : Climagramme pluvio-thermique d’Emberger pour BV de la Moulouya.....	50
Figure 23 : Indice d’aridité de BGM du BV de la Moulouya.....	52
Figure 24 : Réseau hydrographique du BV de la Moulouya .....	54
Figure 25 : Occupation du sol du BV de la Moulouya .....	56
Figure 26 : Formations forestières du BV de la Moulouya .....	57
Figure 27 : Carte des précipitations annuelles totales.....	60
Figure 28 : Carte de l’indice d’aridité Bagnouls Gaussien modifié .....	61
Figure 29 : Carte des expositions des versants.....	62
Figure 30 : Carte de l’indice de qualité du climat .....	63
Figure 31 : Carte des matériaux parentaux du BV de la Moulouya .....	64
Figure 32 : Carte d’érodibilité des matériaux parentaux .....	65
Figure 33 : Carte des sols du BV de la Moulouya .....	66
Figure 34 : Carte des textures de sol du BV de la Moulouya .....	67
Figure 35 : Carte des profondeurs de sol du BV de la Moulouya .....	68
Figure 36 : Carte des normes de pente du BV de la Moulouya .....	70
Figure 37 : Carte de l’indice de Qualité des Sols du BV de la Moulouya .....	71
Figure 38 : Carte de combinaison en fausses couleurs (4-3-2) BV de la Moulouya .....	73
Figure 39 : Carte d’occupation des sols du BV de la Moulouya .....	74
Figure 40 : Carte de couverture végétale du BV de la Moulouya .....	76
Figure 41 : Carte du risque d’incendie du BV de la Moulouya .....	77
Figure 42 : Carte de protection contre l’érosion de la Moulouya .....	78
Figure 43 : Carte de résistance à la sécheresse de la Moulouya .....	79
Figure 44 : Carte de la qualité de la végétation du BV de la Moulouya .....	80
Figure 45 : Carte d’intensité d’utilisation des terres de parcours.....	81
Figure 46 : Carte d’intensité d’utilisation des terres agricoles .....	82
Figure 47 : Carte de la pression de la population.....	83
Figure 48 : Carte de la qualité du système d’aménagement .....	84

Figure 49 : Carte de sensibilité à la désertification du BV de la Moulouya .....	86
Figure 50 : Caractéristiques spectrales de la végétation .....	92
Figure 51 : Comparaison de l'évolution du NDVI 15 jours entre le Maroc et le BV de la Moulouya .....	96
Figure 52 : Comparaison de la cinétique annuelle du NDVI entre le Maroc et le BV de la Moulouya .....	97
Figure 53 : Comparaison entre l'évolution du NDVI et celle des précipitations du BV de la Moulouya .....	98
Figure 54 : Diagramme des corrélations entre le NDVI et les précipitations par quinze jours cumulés .....	99
Figure 55 : Diagramme des autocorrélations du NDVI par quinze jours pour 6 temps de latence .....	100
Figure 56 : Evolution et tendance mensuelle du RUE du BV de la Moulouya .....	102
Figure 57 : Evolution et tendance du RUE de la 1 <sup>ère</sup> quinzaine du mois d'Avril du BV de la Moulouya .....	103
Figure 58 : Evolution de la série standardisée du NDVI entre 1981 et 2006 .....	104
Figure 59 : Evolution saisonnière du NDVI entre 1981 et 2006 .....	104
Figure 60 : Evolution des séries saisonnières standardisées du NDVI entre 1981 et 2006 .....	105
Figure 61 : Evolution mensuelle des séries du NDVI entre 1989 et 2005 .....	105
Figure 62 : Evolution mensuelle de l'indice de végétation NDVI dans le BV de la Moulouya pour les données GIMMS et MEDOKADS entre 1989 et 2005 .....	106
Figure 63 : Carte du NDVI moyen du BV de la Moulouya .....	107
Figure 64 : Cartes de l'écart-type et du coefficient de variation du NDVI du BV de la Moulouya .....	108
Figure 65 : Carte des valeurs extrêmes (Min et Max) du NDVI du BV de la Moulouya .....	108
Figure 66 : Cartes d'évolution spatiale des anomalies annuelles du NDVI entre 1981 et 2006 .....	111
Figure 67 : Cartes d'évolution spatiale des anomalies du NDVI pour la saison de croissance de la végétation entre 1981 et 2006 (Février – Mai) .....	114
Figure 68 : Grille des données CRU utilisée pour le BV de la Moulouya .....	115
Figure 69 : Diagramme Bagnouls Gaussien du bassin versant de la Moulouya .....	116
Figure 70 : Evolution de la température moyenne annuelle du BV de la Moulouya de 1901 à 2002 .....	118
Figure 71 : Tendance de la température moyenne de la Moulouya (Test Mann-Kendall) .....	119
Figure 72 : Tendance et année de rupture de la température annuelle moyenne entre 1901 et 2002 .....	120
Figure 73 : Changement saisonnier des températures moyennes du BV de la Moulouya entre 1901 et 2002 .....	120
Figure 74 : Changement saisonnier des températures minimales du BV de la Moulouya entre 1901 et 2002 .....	121
Figure 75 : Changement saisonnier des températures maximales du BV de la Moulouya entre 1901 et 2002 .....	122
Figure 76 : Tendance des précipitations du 20 <sup>ème</sup> siècle du BV de la Moulouya .....	124
Figure 77 : Tendance générale des précipitations annuelles de la Moulouya (Test Mann-Kendall) .....	125
Figure 78 : Tendance et année de rupture des précipitations annuelles 1901-2002 .....	126
Figure 79 : Changement saisonnier des précipitations moyennes du BV de la Moulouya entre 1901 et 2002 .....	126
Figure 80 : Grille des données JRC utilisée pour le BV de la Moulouya .....	127
Figure 81 : Evolution de la température du BV de la Moulouya entre 1994 et 2014 .....	129
Figure 82 : Tendance des précipitations du BV de la Moulouya entre 1994 et 2014 .....	130
Figure 83 : Evolution de la température moyenne du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 .....	133
Figure 84 : Evolution mensuelle de la température moyenne du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 entre 2020 et 2080 .....	133
Figure 85 : Evolution de la température minimale du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 .....	134
Figure 86 : Evolution mensuelle de la température minimale du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 entre 2020 et 2080 .....	135
Figure 87 : Evolution de la température maximale du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 .....	135
Figure 88 : Evolution mensuelle de la température maximale du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 entre 2020 et 2080 .....	136
Figure 89 : Evolution des précipitations annuelles du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 .....	137
Figure 90 : Evolution mensuelle des précipitations du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 entre 2020 et 2080 .....	137
Figure 91 : Anomalies des précipitations (scénarios A2 et B2) par rapport à la période 1960-2000 .....	140

Figure 92 : Anomalies de la température maximale (scénarios A2 et B2) par rapport à la période 1960-2000 .....	141
Figure 93 : Anomalies de la température minimale (scénarios A2 et B2) par rapport à la période 1960-2000 .....	142
Figure 94 : Carte de localisation de la commune rurale de Tissaf dans le BV de la Moulouya .....	144
Figure 95 : Carte hypsométrique de la commune rurale de Tissaf .....	145
Figure 96 : Evolution des précipitations des quatre stations de Boulmane.....	147
Figure 97 : Carte de répartition des précipitations moyennes de la DPA de Boulmane .....	148
Figure 98 : Carte du nombre de mois secs de la zone d'action DPA de Boulmane .....	149
Figure 99 : Comparaison entre l'aridité et la topographie.....	150
Figure 100 : Carte des quatre grands faciès de la CR de Tissaf .....	152
Figure 101 : Carte de densité du cheptel ovin par CR de la province de Boulmane .....	153
Figure 102 : Carte des points d'eau des parcours de la CR de Tissaf.....	155
Figure 103 : Carte du réseau routier de la CR de Tissaf.....	156
Figure 104 : Carte de déplacement des troupeaux sur les parcours de la région .....	157
Figure 105 : Mosaïque des cartes topographiques 1/100 K de la zone de Tissaf .....	158
Figure 106 : Evolution du NDVI 15 jours entre juillet 1981 et décembre 2006 .....	161
Figure 107 : Evolution du RUE entre 1984 et 2006 de la CR de Tissaf .....	162
Figure 108 : Evolution du NDVI avril entre 1998 et 2009 de la CR de Tissaf .....	163
Figure 109 : MNT et NDVI 2009 et 2002 de la CR de Tissaf.....	164
Figure 110 : Cartes NDVI pour les 3 années représentatives .....	165
Figure 111 : Tissaf : (1) Couleurs naturelles RGB, (2) fausses couleurs (724) .....	166
Figure 112 : Carte d'occupation du sol de la CR de Tissaf (classification 2001).....	167
Figure 113 : Carte d'occupation du sol de la CR de Tissaf (classification 1988) .....	170
Figure 114 : Carte d'occupation du sol de la CR de Tissaf (classification 2001).....	171
Figure 115 : Carte d'occupation du sol de la CR de Tissaf (classification 2007) .....	172
Figure 116 : Evolution des superficies des classes entre 1988 et 2007.....	173
Figure 117 : Répartition des éleveurs par classe d'âge dans la commune .....	179
Figure 118 : Variation des niveaux d'instruction des éleveurs par groupe .....	180
Figure 119 : Taux d'adhésion des groupes d'éleveurs à l'ANOC.....	181
Figure 120 : Composition des troupeaux d'animaux par groupe.....	183
Figure 121 : Importance des deux types de gardiennage d'animaux par groupe .....	185
Figure 122 : Calendriers alimentaires adoptés par les éleveurs de chaque groupe .....	187
Figure 123 : Structure des recettes par groupe d'éleveurs et par UZ ovine .....	210
Figure 124 : Structure des charges par groupe d'éleveurs et par UZ ovine .....	211
Figure 125 : Structure des recettes par groupe d'éleveurs par UZ caprine .....	217
Figure 126 : Structure des charges par groupe d'éleveurs par UZ caprine.....	218
Figure 127 : Apport des parcours collectifs par groupe et par unité zootechnique.....	221
Figure 128 : Position de sédentarisation des éleveurs.....	225
Figure 129 : Position de sédentarisation des éleveurs selon leur groupe .....	226
Figure 130 : Relation entre la qualité du recouvrement et la densité des éleveurs .....	227
Figure 131 : Carte de la densité du réseau routier.....	228
Figure 132 : Relation entre le rayon de déplacement et la qualité du recouvrement .....	229
Figure 133 : Carte de densité des points d'eau et positions des éleveurs .....	230
Figure 134 : Diagramme de calcul de l'attractivité des parcours de la CR de Tissaf .....	233
Figure 135 : Cartes des niveaux de la productivité fourragères de parcours de Tissaf .....	234
Figure 136 : Cartes de la qualité des pentes de la CR de Tissaf .....	235
Figure 137 : Cartes de la qualité du climat de la CR de Tissaf .....	235
Figure 138 : Cartes de la proximité du réseau routier de la CR de Tissaf .....	236
Figure 139 : Cartes de proximité des points d'eau de la CR de Tissaf .....	237
Figure 140 : Diagramme des pondérations des facteurs d'attractivité des parcours .....	239
Figure 141 : Carte d'attractivité des parcours de la CR de Tissaf .....	240
Figure 142 : Modèle mixte d'intensification de l'élevage pastoral.....	251
Figure 143 : Modèle général du fonctionnement de l'élevage pastoral.....	257

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Coûts de désertification des terres par type et par continent .....	32
Tableau 2 : Coûts de réhabilitation des terres par type de terres à l'échelle mondiale .....	33
Tableau 3 : Répartition du BV de la Moulouya entre les régions .....	38
Tableau 4 : Importance des formations géologiques du BV de la Moulouya .....	44
Tableau 5 : Importance des étages bioclimatiques du BV de la Moulouya (%) .....	50
Tableau 6 : Répartition des occupations du sol du BV de la Moulouya .....	56
Tableau 7 : Importance des formations du domaine forestier du BV de la Moulouya .....	58
Tableau 8 : Normes de précipitations totales (PP).....	60
Tableau 9 : Normes de l'indice d'aridité de Bagnouls-Gausson modifié.....	61
Tableau 10 : Normes d'orientation des versants (OR) .....	62
Tableau 11 : Normes d'indice de qualité du climat (IQC) .....	62
Tableau 12 : Normes de matériaux parentaux .....	64
Tableau 13 : Superficie des trois classes de matériaux parentaux.....	65
Tableau 14 : Normes de texture du sol.....	66
Tableau 15 : Superficie des quatre classes de texture .....	67
Tableau 16 : Valeurs affectées aux unités de profondeur selon l'approche MEDALUS .....	68
Tableau 17 : Superficie des quatre classes de profondeur .....	69
Tableau 18 : Superficie des quatre classes de pente .....	69
Tableau 19 : Superficie des trois classes de qualité des sols (IQS).....	71
Tableau 20 : LANDSAT 7 ETM+ Résolution spectrale et spatiale .....	72
Tableau 21 : Caractéristiques des scènes LANDSAT utilisées .....	72
Tableau 22 : Superficie des classes d'occupation des sols .....	75
Tableau 23 : Superficie des quatre classes de couverture des sols (CV) .....	75
Tableau 24 : Superficie des quatre classes de risque d'incendie (RI) .....	76
Tableau 25 : Superficie des quatre classes de protection contre l'érosion (PE) .....	77
Tableau 26 : Superficie des quatre classes de résistance à la sécheresse (RS).....	78
Tableau 27 : Superficie des trois classes de qualité de la végétation (IQV).....	79
Tableau 28 : Superficie et normes d'intensité d'utilisation des parcours (IUTP).....	81
Tableau 29 : Superficie et normes d'intensité d'utilisation des terres agricoles (IUTA).....	82
Tableau 30 : Superficie et normes de la pression de la population (DP).....	82
Tableau 31 : Superficie et normes de qualité du système d'aménagement (IQSA).....	84
Tableau 32 : Types, sous-types et indice de sensibilité à la désertification (ISD).....	85
Tableau 33 : Superficie des quatre classes de sensibilité à la désertification (ISD) .....	85
Tableau 34 : Statistiques du NDVI moyen sur 26 ans (valeur*1000).....	96
Tableau 35 : Matrice de corrélation entre les séries NDVI et les précipitations par quinzaine et par cumuls mensuels .....	98
Tableau 36 : Matrice d'autocorrélation linéaire des séries NDVI par quinzaine .....	100
Tableau 37 : Résultats du modèle d'auto-régression du NDVI.....	101
Tableau 38 : Résultats du modèle de régression des séries chronologiques NDVI et précipitations .....	101
Tableau 39 : Température moyenne, min et max du BV de la Moulouya.....	129
Tableau 40 : Précipitations moyennes sur les quatre stations dans la région .....	146
Tableau 41 : Importance des zones bioclimatiques au niveau de la zone d'action de la DPA de Boulmane.....	149
Tableau 42 : Répartition des faciès dans la Commune rurale de Tissaf .....	151
Tableau 43 : Rendement fourrager des faciès de la CR de Tissaf .....	151
Tableau 44 : Effectif du cheptel par commune de la province de Boulmane .....	154
Tableau 45 : Caractéristiques des scènes LANDSAT utilisées .....	159
Tableau 46 : Statistiques du NDVI moyen sur 25 ans .....	160
Tableau 47 : Matrice des corrélations NDVI Maroc, Moulouya et Tissaf .....	161



Tableau 48 : Statistiques du NDVI de la 3 <sup>ème</sup> décennie d'avril entre 1998 et 2009 .....	162
Tableau 49 : Corrélation du NDVI de la 3 <sup>ème</sup> décennie d'avril et l'altitude de 1998 à 2009.....	164
Tableau 50 : Importance des occupations du sol de la CR de Tissaf (classification 2001).....	167
Tableau 51 : Différence des occupations du sol entre 1970 et 2001.....	168
Tableau 52 : Importance des occupations du sol de la CR de Tissaf (classification 1988).....	169
Tableau 53 : Importance des occupations du sol de la CR de Tissaf (classification 2001).....	170
Tableau 54 : Importance des occupations du sol de la CR de Tissaf (classification 2007).....	171
Tableau 55 : Superficies des classes entre 1988 et 2007 .....	172
Tableau 56 : Paramètres et définitions des trois premiers axes principaux.....	178
Tableau 57 : Importance des espèces animales exploitées par groupe .....	182
Tableau 58 : Composition des troupeaux d'animaux par groupe .....	183
Tableau 59 : Structure d'âge des ovins pour chaque groupe .....	184
Tableau 60 : Structure d'âge des caprins pour chaque groupe.....	184
Tableau 61 : Besoins énergétiques annuels en UF de l'Unité Zootechnique ovine.....	188
Tableau 62 : Taux d'incorporation par groupe des aliments distribués .....	189
Tableau 63 : Bilan alimentaire des ovins par groupe.....	190
Tableau 64 : Besoins énergétiques annuels en UF de l'Unité Zootechnique caprine.....	190
Tableau 65 : Bilan alimentaire des caprins par groupe.....	190
Tableau 66 : Performances de reproduction ovine par groupe d'éleveurs .....	194
Tableau 67 : Performances de reproduction caprine par groupe d'éleveurs .....	196
Tableau 68 : Productivité pondérale brute de l'UZ ovine par groupe.....	197
Tableau 69 : Productivité pondérale nette de l'UZ ovine par groupe.....	198
Tableau 70 : Productivité pondérale brute de l'UZ caprine par groupe.....	199
Tableau 71 : Productivité pondérale nette de l'UZ caprine par groupe.....	200
Tableau 72 : Indice de transformation de l'UZ par groupe .....	201
Tableau 73 : Composition du compte élevage.....	202
Tableau 74 : Charges et produits de l'alimentation produite sur l'exploitation .....	203
Tableau 75 : Structure des charges de l'alimentation produite en DH/UZ ovine .....	203
Tableau 76 : Structure des charges de l'alimentation achetée en DH/UZ ovine .....	204
Tableau 77 : Coût des pertes dues aux mortalités de l'UZ ovine par groupe.....	205
Tableau 78 : Modèle linéaire de coût de transport du bétail .....	206
Tableau 79 : Ventes d'animaux par UZ ovine par groupe et par catégorie.....	207
Tableau 80 : Ventes de laine par UZ ovine par groupe et par catégorie .....	208
Tableau 81 : Valeur de l'autoconsommation par UZ ovine par groupe et par catégorie.....	208
Tableau 82 : Variation des stocks par UZ ovine par groupe et par catégorie .....	209
Tableau 83 : Montant des recettes brutes et nettes par UZ ovine et par groupe .....	210
Tableau 84 : Montant des charges de production ovine par UZ par groupe .....	211
Tableau 85 : Marge brute fictive par UZ ovine par groupe.....	212
Tableau 86 : Marge brute réelle par UZ ovine par groupe.....	212
Tableau 87 : Structure des charges de l'alimentation produite en DH/UZ caprine.....	214
Tableau 88 : Structure des charges de l'alimentation achetée en DH/UZ caprine .....	214
Tableau 89 : Montant des charges hors alimentation par UZ caprine et par groupe .....	214
Tableau 90 : Ventes d'animaux par UZ caprine par groupe et par catégorie .....	215
Tableau 91 : Valeur de l'autoconsommation par UZ caprine par groupe et par catégorie.....	215
Tableau 92 : Variation des stocks par UZ caprine par groupe et par catégorie .....	216
Tableau 93 : Montant des recettes brutes et nettes par UZ par groupe .....	216
Tableau 94 : Montant des charges de production de l'UZ caprine par groupe .....	217
Tableau 95 : Marge brute fictive par UZ caprine par groupe.....	218
Tableau 96 : Marge brute réelle par UZ caprine par groupe .....	219
Tableau 97 : Rente des parcours collectifs par groupe d'éleveurs et par élevage .....	220
Tableau 98 : Charges d'achat de l'alimentation ovine selon la qualité de l'année .....	222
Tableau 99 : Charges d'achat de l'alimentation caprine selon la qualité de l'année .....	222
Tableau 100 : Marge brute fictive et réelle de l'UZ ovine en année favorable.....	222
Tableau 101 : Marge brute fictive et réelle de l'UZ caprine en année favorable .....	223
Tableau 102 : Matrice des corrélations des facteurs liés au rayon de déplacement.....	229
Tableau 103 : Modèle de régression relatif aux performances techniques des éleveurs.....	232
Tableau 104 : Normes de classification des facteurs .....	233

Tableau 105 : Expression numérique de l'importance relative d'une paire de critère.....	238
Tableau 106 : Préférences et pondération des facteurs liés à l'attractivité des parcours.....	238
Tableau 107 : Superficies des niveaux d'attractivité des parcours de la CR de Tissaf.....	239
Tableau 108 : Stratégies des élèves en fonction de la qualité de l'année.....	244

## LISTE DES ABREVIATIONS

°C	: Degré Celsius.
AC	: Aliment concentré.
ACP	: Analyse en Composantes Principales.
ANOC	: Association Nationale des Eleveurs des Ovins et Caprins.
ASPRS	: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
AVHRR	: A Very High Resolution Radiometer.
BGI	: Indice d'aridité Bagnouls Gaussien.
BGM	: Indice d'aridité Bagnouls Gaussien Modifié.
BM	: Banque Mondiale.
BV	: Bassin Versant.
C.V.	: Coefficient de Variation.
CGIAR-CSI	: Consultative Group on International Agricultural Research - Consortium for Spatial Information.
cm	: Centimètre.
CO <sub>2</sub>	: Dioxyde de Carbone.
CR	: Commune rurale.
CRU	: Climate Research Unit.
DH	: Dirhams marocain.
DPA	: Direction Provinciale de l'Agriculture.
ERES	: Etude pour l'aménagement des terrains de parcours du Maroc Oriental.
ESAs	: Environmentally Sensitive Areas.
ETM+	: Enhanced Thematic Mapper.
ETP	: Evapotranspiration Potential.
FAO	: Food and Agriculture Organization.
FIDA	: Fonds International du Développement Agricole.
FMA	: Fondation de Météorologie Appliquée.
FMI	: Fonds Monétaire International.
GCMs	: Global Circulation Models.
GIEC	: Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.
GIMMS	: Global Inventory Modeling and Mapping Studies.
ha	: Hectare.
Hab.	: Habitant.
HADCM <sub>3</sub>	: Hadley Center for Coupled Model, version 3.
HCEFLCD	: Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification.
HCP	: Haut-Commissariat au Plan.
IQC	: Indice de la Qualité du Climat.
IQS	: Indice de la Qualité du Sol.
IQSA	: Indice de la Qualité du Système d'Aménagement.
IQV	: Indice de la Qualité de la Végétation.
IR	: Infrarouge.
ISD	: Indice de Sensibilité à la Désertification.
ITZ	: Indice de transformation zootechnique.
j	: Jours.
JRC	: Centre de la recherche pluridisciplinaire de la commission européenne.
kg	: Kilogramme.
km	: Kilomètre.
m	: Mètre.
m <sup>3</sup>	: Mètre cube.
MADREF	: Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et des Eaux et Forêts.
MADRPM	: Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et des Pêches Maritimes.
Max	: Maximum.
MEA	: Millennium Ecosystem Assessment.

<b>MEDALUS</b>	: Mediterranean Desertification and Land Use Research Program.
<b>MEDOKADS</b>	: Mediterranean Daily One Km AVHRR Data Set.
<b>MEREO</b>	: Monographie de l'Environnement, Région Economique de l'Oriental.
<b>min</b>	: Minimum.
<b>mm</b>	: Millimètre.
<b>Mm<sup>3</sup></b>	: Millions de mètres cubes.
<b>MNT</b>	: Modèle numérique de terrain.
<b>MODIS</b>	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.
<b>MU</b>	: Municipalité.
<b>MVC</b>	: Maximum Value Composite.
<b>NASA</b>	: National Aeronautics and Space Administration.
<b>NDVI</b>	: Normalized Difference Vegetation Index.
<b>NIR</b>	: Near Infra-Red.
<b>NOAA</b>	: National Oceanic and Atmospheric Administration.
<b>NPV</b>	: No Photosynthetic Vegetation.
<b>ONU</b>	: Organisation des Nations Unies.
<b>P</b>	: Précipitations.
<b>PAN/LCD</b>	: Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification.
<b>PDAIRE</b>	: Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau.
<b>PIB</b>	: Produit Intérieur Brut.
<b>PIBA</b>	: Produit Intérieur Brut Agricole.
<b>PMH</b>	: Petite et Moyenne Hydraulique.
<b>PSB</b>	: Pulpe sèche de betterave.
<b>PV</b>	: Poids vif.
<b>PVM</b>	: Poids vif moyen.
<b>R</b>	: Rouge.
<b>REM</b>	: Rayonnement électromagnétique.
<b>RGA</b>	: Recensement Général Agricole.
<b>RGB</b>	: Red-Green-Blue.
<b>RGPH</b>	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
<b>ROI</b>	: Region of interest.
<b>RPA</b>	: rayonnement photo-synthétiquement actif.
<b>RUE</b>	: Rain Use efficiency.
<b>SIG</b>	: Système d'Information Géographique.
<b>SPI</b>	: Standardized Precipitation Index.
<b>STI</b>	: Standardized Temperature Index.
<b>SPOT</b>	: Satellite Pour l'Observation de la Terre.
<b>SRTM</b>	: Shuttle Radar Topography Mission.
<b>T</b>	: Température.
<b>TM</b>	: Thematic Mapper.
<b>UF</b>	: Unité fourragère.
<b>UNCCD</b>	: United Nations Convention to Combat Desertification.
<b>UNCED</b>	: United Nations Conference on Environment and Development.
<b>UNCOD</b>	: United Nations Conference on Desertification.
<b>UNEP</b>	: United Nations Environment Program.
<b>UTM</b>	: Projection Universal Transverse Mercator.
<b>UZ</b>	: Unité Zootechnique.
<b>UZC</b>	: Unité Zootechnique Caprine.
<b>UZO</b>	: Unité Zootechnique Ovine.
<b>VITO</b>	: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek.





Ce chapitre expose le cadre méthodologique de la recherche. Il présente, dans un premier temps, la nature de la recherche et son objectif spécifique. Ensuite, il expose en détail les hypothèses de la recherche, la méthodologie et les outils d'analyse et de traitement des données.

### A. INTRODUCTION

La conférence de l'ONU pour l'Environnement et du Développement (UNCED, 1992) et le Sommet de Johannesburg (ONU, 2002) ont insisté sur le besoin d'un meilleur contrôle des ressources minérales, y compris la terre et l'eau. Le chapitre 10 de l'Agenda 21 recommande d'ailleurs fortement une approche intégrée de la planification et de la gestion des ressources et met l'accent tout particulièrement sur l'amélioration des approches de planification moyennant des systèmes d'information intégrés et technologiquement adaptés.

La conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (UNCED, 1992) tenue à Rio en 1992, a défini la désertification comme étant « La dégradation des sols dans les régions arides, semi-arides et subhumides sèches, suite à divers facteurs comprenant les variations du climat et les activités humaines ».

Cette désertification résulte de la combinaison de facteurs d'ordre climatique, anthropique, édaphique et biotique. Elle déclenche et accentue différentes crises, écologiques, énergétiques, alimentaires, socio-économiques et politiques. C'est un problème mondial qui touche environ un milliard de personnes, concerne 40% de la surface du globe et provoque des pertes économiques estimées à 42,3 milliards de dollars annuellement selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP, 1992).

Selon le rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le Développement tenue à Rio en 1992, notamment le chapitre 12 relatif à la gestion des écosystèmes fragiles, les conséquences les plus visibles de la désertification, outre l'extension de la pauvreté, sont la dégradation de 3,3 milliards d'hectares de terres de parcours, soit 73% de la surface totale de ces terres à faible capacité de charge humaine et animale, la dégradation de la fertilité et de la structure des sols d'environ 47% de la surface totale des terres arides et la dégradation des terres cultivables irriguées qui représentent 30% de la surface totale des terres arides à forte densité de population et à potentiel agricole élevé.

La convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification reconnaît la dimension mondiale du problème et souligne que les efforts de lutte contre la désertification doivent s'accompagner de mesures visant l'encouragement des changements économiques et sociaux pour remédier aux situations à l'origine de cette désertification. De cette convention découlent cinq principes directeurs qu'il importe de souligner :

- La lutte contre la désertification s'inscrit dans une approche plus globale des problèmes d'environnement et de développement ;
- L'approche participative est essentielle dans la mise en œuvre des stratégies et projets de lutte ;
- La science et la technologie constituent les outils essentiels dans la lutte contre la désertification ;

- Les stratégies de lutte et de prévention doivent être adaptées aux spécificités locales ;
- Une stratégie de prévention et de lutte contre la désertification doit reposer sur la mise en place de projets concrets, susceptibles d'apporter des solutions adaptées aux problèmes majeurs rencontrés localement.

En Afrique, les zones désertiques ou arides représentent les deux tiers du continent et près des trois-quarts des terres agricoles arides souffrent de dégradation à des degrés divers (UNCCD, 2006).

Au Maroc, le phénomène de désertification affecte de grandes superficies et est d'autant plus prononcé que le climat est aride avec des cycles périodiques de sécheresse et que les sols sont pauvres et vulnérables à l'érosion. De plus, la surexploitation des ressources naturelles pour satisfaire les besoins croissants des populations rurales et des productions agricoles amplifie davantage cette dégradation.

Les causes essentielles de la désertification au Maroc peuvent être divisées comme suit :

- L'aridité du milieu qui concerne 93% du territoire national (MADREF, 2001) ;
- L'irrégularité des précipitations : Une année sur deux est considérée comme année de sécheresse ce qui accentue le risque de désertification dans les régions fragilisées ou fortement dégradées ;
- L'exploitation excessive des ressources naturelles suite à l'augmentation de la pression démographique qui engendre des besoins alimentaires croissants pour la population et le bétail et a pour conséquence la surexploitation des ressources naturelles (utilisation des sols, le changement des pratiques agro-pastorales, etc.). On estime à 45.000 ha la surface de pâturage défrichée annuellement (MADREF, 2001) ;
- La déforestation du milieu : au Maroc, on estime la régression du couvert forestier à 33.000 ha/an (MADREF, 2001) due à la récolte excessive de bois de chauffage et d'énergie, au surpâturage, au défrichement et aux incendies ;
- Le changement de mode de faire valoir des terres et l'apparition d'une agriculture intensive et exportatrice avec une forte demande en terre agricole et en eau d'irrigation (diminution de la fertilité, augmentation de l'érosion hydrique et éolienne et salinisation des périmètres irrigués) ;
- L'insuffisance des politiques agricoles de développement rural visant à favoriser la préservation du milieu et le développement d'une agriculture adaptée aux conditions particulières de chaque zone agro-écologique en concertation avec les populations locales.

Malgré les efforts déployés par l'Etat moyennant différentes interventions (construction d'une centaine de barrages, l'aménagement de périmètres irrigués, la mise en valeur pastorale, le reboisement et la délimitation des périmètres forestiers et l'instauration de mécanismes de subventions à l'agriculture...), celles-ci restent limitées et souvent à objectifs contradictoires entre les besoins de l'augmentation de la production et de l'intensification de l'agriculture et les impératifs de conservation de l'espace naturel et l'amélioration des conditions de vie des populations locales. Ceci s'est traduit dans la plupart des cas par un bouleversement des pratiques agricoles et une exploitation abusive des ressources.



En général, le calcul des coûts économiques de la désertification a été peu traité dans la littérature scientifique ; les chiffres disponibles sont essentiellement basés sur le calcul des coûts directs à savoir la diminution de la production agricole.

Par ailleurs, de nombreux auteurs soulignent le lien fort existant entre la désertification et la pauvreté. En effet, suite au manque d'opportunités économiques viables, les populations pauvres sont conduites dans un cycle d'exploitation excessive des ressources disponibles pour satisfaire les besoins immédiats même si cette exploitation compromet la durabilité de ces ressources et renforce à terme la vulnérabilité du système de production (stratégie de survie à court terme due au manque d'opportunités).

## **B. OBJECTIF DU TRAVAIL**

Afin d'appréhender le phénomène de désertification et en vue de proposer des politiques d'aménagement et de développement durable, il est primordial de comprendre l'interaction qui existe entre la désertification en tant que manifestation physique de la dégradation du milieu et les différentes composantes de l'écosystème. Ceci nécessite premièrement une évaluation de la désertification moyennant des indicateurs spécifiques en relation avec le sol, la végétation et deuxièmement une analyse des causes de cette désertification moyennant des modèles économiques issus de l'analyse socio-économique des pratiques agricoles et pastorales.

Concrètement, notre travail vise les trois objectifs suivants :

- L'évaluation des dynamiques biophysiques du milieu à travers des données climatiques et issues de la télédétection et l'identification des zones de sensibilité à la désertification moyennant l'intégration des données biophysiques et socio-économiques en vue de choisir la zone d'intérêt pour l'étude socio-économique ;
- L'analyse des stratégies de production des agriculteurs de la zone sélectionnée en vue de comprendre les mécanismes d'allocation des ressources en relation avec les contraintes socio-économiques inhérentes au système de production et du milieu ;
- La proposition de scénarios de développement des zones touchées par la dégradation en tenant compte des contraintes liées à la gestion durable des ressources et le respect de l'environnement.

## **C. INTERET ET ORIGINALITE DE LA RECHERCHE**

Au cours des deux dernières décennies, avec le développement des techniques de télédétection et des systèmes d'information à référence spatiale, les études d'occupation du sol et de valorisation de l'espace ont été largement orientées vers des approches descendantes (Top-down) basées sur l'utilisation des données biophysiques en vue d'établir des stratégies de planification régionale. Cependant, ces approches ont montré de plus en plus leurs limites quant aux opportunités réelles d'utilisation de l'espace et souvent, se sont confrontées à une réalité socio-économique incompatible avec les orientations proposées et les plans de développement retenus.

L'intégration de la dimension socio-économique (utilisation ou allocation des ressources et systèmes techniques de culture et d'élevage) dans le cadre d'une approche systémique visant la connaissance détaillée d'une organisation à travers l'identification de sa structure (dimension spatiale) et son fonctionnement (dimension socio-économique) en plus des données biophysiques pour l'évaluation de la dynamique de la désertification et l'élaboration d'indicateurs de sensibilité sur une unité hydrologique (bassin versant) paraît le moyen le

plus pertinent pour appréhender une réalité complexe sachant que la désertification, en tant que manifestation physique de la dégradation du milieu (diminution de la productivité), constitue aussi bien un problème d'environnement que de développement (Cornet, 2001).

L'étude concerne un sujet de grande importance pour l'économie marocaine et pour l'agriculture en particulier compte tenu de l'étendue des superficies touchées par le phénomène. La mise en place d'une stratégie locale de lutte contre la désertification dans le bassin versant de la Moulouya dans le cadre du plan d'action national pour la lutte contre la désertification (PAN/LCD) a été très peu abordée en littérature scientifique.

## **D. METHODOLOGIE GENERALE**

Notre premier objectif est d'identifier les zones ayant subi une dégradation à travers les outils de télédétection et d'analyse spatiale. L'observation de séries d'images satellite, si elle permet de réaliser des compositions colorées (combinaison de bandes spectrales) des différents états de surfaces ne suffit pas à elle seule à définir les tendances à long terme de la dégradation du milieu.

Le rôle de la télédétection dans ce contexte est de permettre, via des « variables dérivées », l'évaluation des indicateurs des effets naturels et anthropiques causant la désertification, notamment ceux d'ordre physique et écologique. L'analyse doit porter sur une série de données suffisamment longue pour pouvoir dégager une synthèse en termes de tendance générale compte tenu des grandes variations climatiques en zones semi-arides et particulièrement au niveau du bassin versant étudié.

La grande variabilité interannuelle des précipitations dans la région donne une idée assez précise sur les difficultés pouvant être rencontrées dans la prise en compte de l'effet climatique sur la désertification. Dans ce sens, il faudra procéder, dans un premier temps, à la séparation de l'effet climatique des effets liés à l'action de l'homme. Ceci implique une sélection des données temporelles pour le suivi de la dynamique de la désertification qui ne sont pas affectées par cette variabilité climatique, d'une part, et une étude de l'effet des grandes tendances climatiques sur la désertification d'autre part (séparation des effets climatiques et des effets anthropiques).

### **1. Echelle globale**

Au niveau de l'ensemble du bassin versant et pour pouvoir comparer les méthodes basées sur l'évaluation des indices de sensibilité à la désertification (prospectives) et les méthodes d'analyse des changements basées exclusivement sur les données issues de la télédétection (rétrospectives), nous avons retenu ce qui suit :

Le premier axe de la recherche repose sur, premièrement, l'évaluation de l'état actuel du milieu et sa caractérisation biophysique et deuxièmement sur l'analyse de la dynamique du phénomène de désertification à travers l'utilisation d'un ensemble d'indicateurs biologiques et climatiques et de leur combinaison avec des indicateurs anthropiques pour caractériser l'évolution et la sensibilité à la désertification du milieu.

Tout d'abord, pour réaliser ce suivi il est nécessaire de réaliser une description des états actuels du milieu à des échelles spatiales pertinentes (géomorphologie, climat, démographie, végétation, etc..) et l'élaboration de cartes thématiques permettant de représenter la zone de recherche (étude monographique).

Le suivi de la dynamique des phénomènes biophysiques liés à la désertification s'est fait essentiellement à travers l'étude de l'évolution du climat et de la qualité de la végétation à l'échelle de l'ensemble de la zone étudiée. Ceci a été réalisé à travers l'utilisation d'un

ensemble d'indicateurs relatifs à l'évolution de la qualité du climat (précipitations et températures) et moyennant l'utilisation des données relatives à la qualité de la végétation (NDVI).

**- Etude des dynamiques du climat et de la végétation (tendances) :**

- 1- Dynamique du climat à l'échelle de l'ensemble de la région et de son évolution future ;
- 2- Dynamique de la végétation sur une période longue et de sa relation avec les changements climatiques (Données NDVI à basse résolution).

Cette partie vise à évaluer les tendances lourdes relatives à l'évolution du climat et de la végétation sur une longue période en vue de donner une idée précise sur les changements climatiques et l'évolution de la qualité du couvert végétal en relation avec la désertification.

**- Identification des zones sensibles à la désertification (Étendue et localisation) :**

L'édition de la carte de sensibilité à la désertification a été réalisée sur la base de l'approche MEDALUS (Kosmas et al., 1999). Elle est basée sur les séries de données cartographiques géo-référencées relatives aux couches climat, systèmes hydrographiques, relief, pédologie, occupation du sol, infrastructure routière et des données socio-économiques intégrées dans un SIG et permettant de dégager les zones différenciées avec les différents niveaux de sensibilité à la désertification.

Cette approche a été largement utilisée dans plusieurs régions à climat méditerranéen (Portugal, Espagne, Italie et Grèce, Algérie, Maroc, Egypte et Tunisie) et même adaptée à d'autres régions du monde telles que l'Iran, le Brésil et le Cap Vert (Fazooni et al., 2012 ; Vieira et al., 2015 ; Tavares et al., 2015).

En Italie l'approche MEDALUS a été utilisé en Sicile (Giordano et al., 2007), dans la région des Pouilles (Dipace et al., 2005) et en Sardaigne (Vecca et al., 2009). Les résultats obtenus montrent qu'en général l'approche est bien adaptée aux situations environnementales et socio-économiques des régions étudiées et certains résultats obtenus ont bien été validés par les mesures sur le terrain. Dans la région d'Extremadura, située au Sud-ouest de l'Espagne, Contador et al. (2009) ont montré qu'il était possible de mesurer et d'identifier correctement les zones potentiellement concernées par la désertification. Néanmoins, ils ont noté que le modèle ne peut fonctionner correctement sans la contribution d'experts ayant une connaissance approfondie du terrain et des phénomènes à évaluer. En Grèce, les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence la vulnérabilité de l'île de Lesbos vis-à-vis du phénomène de désertification (Silleos et al., 2008). Au Portugal, la combinaison de l'approche MEDALUS avec le modèle PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) (Kirkby et al., 2003) a permis d'obtenir des résultats concordants et a démontré que les zones où le risque d'érosion des sols est élevé correspondent assez bien aux zones à forte sensibilité à la désertification (Gonçalves et al., 2010).

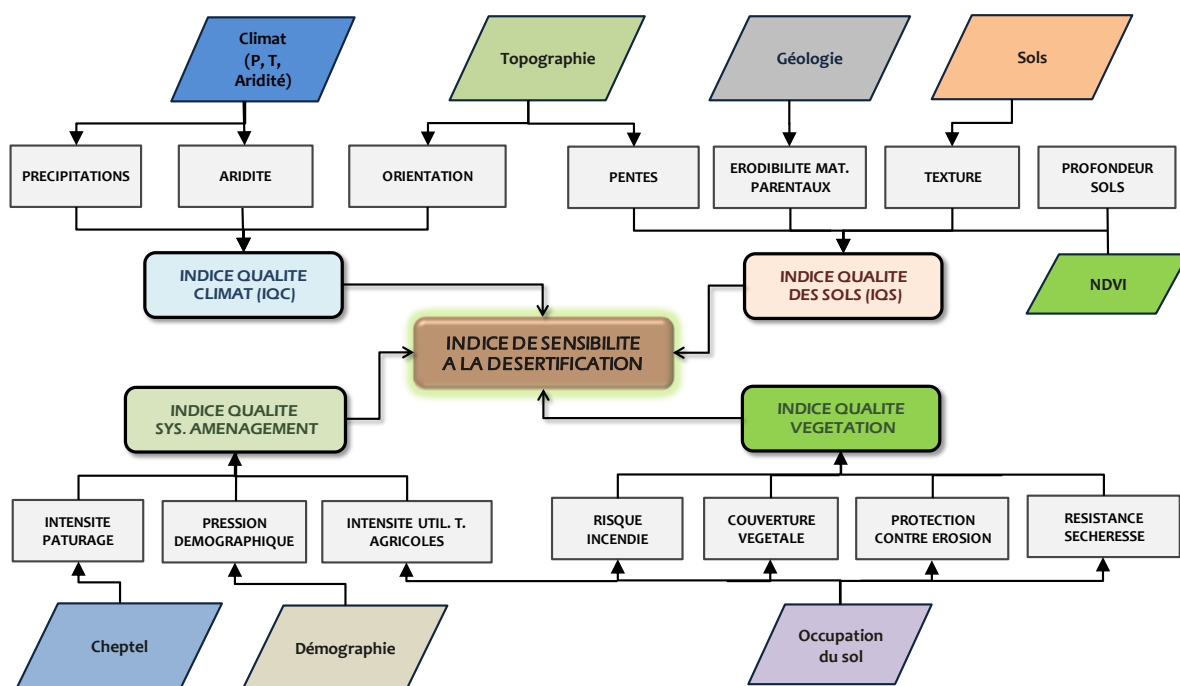
A l'Est de l'Algérie, l'application de l'approche MEDALUS a été jugée très utile et facile à appliquer pour déterminer les classes de vulnérabilité à la désertification (Benabderrahmane et al., 2010) et donne un aperçu sur l'évolution des écosystèmes qui peut être utilisé comme outil d'aide à la décision et de planification (Bouhata et al., 2014). En Tunisie, les résultats obtenus montrent que l'intérêt de l'approche réside dans les recommandations pratiques que l'on peut dégager suite à la mise en relation des zones sensibles avec les facteurs considérés comme responsables du phénomène de la désertification (Chakroun et al., 2006). En Egypte, l'approche MEDALUS ajustée à un contexte local (Bakr et al., 2012) a montré que le recouvrement végétal, le système de gestion et la qualité de l'eau d'irrigation

influent considérablement les processus de désertification. A l'échelle de l'ensemble du pays, Gad et Lotfy (2006) ont montré que l'approche est très utile pour l'élaboration des actions visant à combattre la désertification et l'amélioration de la gestion des ressources naturelles.

Au Maroc, l'approche MEDALUS, utilisée pour l'évaluation de la désertification du bassin versant du Souss (Bouabid et al., 2010), a montré que les résultats produits permettent une meilleure évaluation de la dégradation des terres et donne des lignes directrices générales pour les interventions possibles en vue de lutter contre la désertification.

Dans cette partie, l'objectif visé est la stratification du territoire du bassin versant en différentes zones différenciées selon leur degré de sensibilité à la désertification. Elle a permis, à travers la carte de sensibilité à la désertification du bassin versant, de choisir une zone d'intérêt pour l'étude socio-économique.

Les indicateurs à utiliser sont catégorisés et hiérarchisés selon le type de milieu, la nature du climat et l'échelle de travail retenue (locale, régionale ou globale). Au niveau local, la liste des indicateurs à retenir dépend de la diversité des facteurs biophysiques et socio-économiques du milieu. Généralement une étude préliminaire du terrain est nécessaire pour recenser une liste d'indicateurs pouvant être utilisés. Pour nos travaux préliminaires de reconnaissance du terrain et de choix des sites cibles nous avons retenu l'algorithme suivant :



**Figure 1 : Algorithme général de détection des zones de sensibilité à la désertification**  
 Source : Kosmas et al., 1999

Pour l'approche MEDALUS, les différentes aires de sensibilité à la désertification (ESAs) sont analysées par rapport à divers paramètres tels que les paramètres de surface, le sol, la géologie, la végétation, le climat, et l'action humaine. Chacun de ces paramètres est groupé dans des classes uniformes contenant les facteurs assignés à cette classe. Les quatre qualités sont : la qualité des sols, la qualité de climat, la qualité de la végétation, et la qualité de gestion.

Après le calcul des quatre index pour chaque qualité et selon l'algorithme MEDALUS, les ESAs à la désertification sont calculées par une combinaison multiplicative assignant le même poids pour chaque qualité. Toutes les données définissant les quatre qualités sont présentées dans un système d'information géographique régional (SIG) sous forme de couches d'information.

Enfin, la comparaison des deux méthodes d'identification à savoir l'identification des zones de changement de l'occupation du sol moyennant l'analyse des données issues de la télédétection et des zones sensibles à la désertification (carte de sensibilité à la désertification) issues des algorithmes développés dans le cadre des projets MEDALUS permettra de confronter scientifiquement les résultats obtenus.

## 2. Echelle locale

Le deuxième volet de la recherche repose sur l'analyse des pratiques d'utilisation des ressources et du potentiel naturel du territoire par les populations rurales et sur les conséquences de ces modes d'utilisation et de valorisation du potentiel du milieu. Cette partie vise à identifier les modes d'utilisation du territoire par la population locale en fonction de contraintes spécifiques à chaque groupe et de ses objectifs socio-économiques.

Le travail de recherche à l'échelle locale et sur la zone d'intérêt a porté sur deux volets :

- **Analyse de la dynamique d'occupation du sol de la zone d'intérêt à une échelle plus fine moyennant les données de télédétection (LANDSAT).**

Cette partie vise la comparaison des résultats obtenus sur l'ensemble du bassin versant moyennant l'utilisation des données NDVI à basse résolution avec ceux relatifs à l'évolution de l'occupation du sol issues des images LANDSAT.

- **Réalisation d'enquêtes socio-économiques détaillées auprès des éleveurs de la zone d'intérêt en relation avec le phénomène de désertification.**

Compte tenu de l'importance des parcours naturels au niveau du bassin versant de la Moulouya, le travail de recherche s'est focalisé sur l'étude technico-économique de l'élevage extensif sur les parcours.

L'objectif de cette partie de la recherche est, premièrement, de comprendre le fonctionnement technico-économique de l'activité d'élevage au niveau des régions pastorales, et deuxièmement la mise en évidence de sa relation avec le phénomène de désertification et ses conséquences socio-économiques sur l'organisation et l'évolution de l'activité pastorale au niveau de la zone étudiée. Elle vise à :

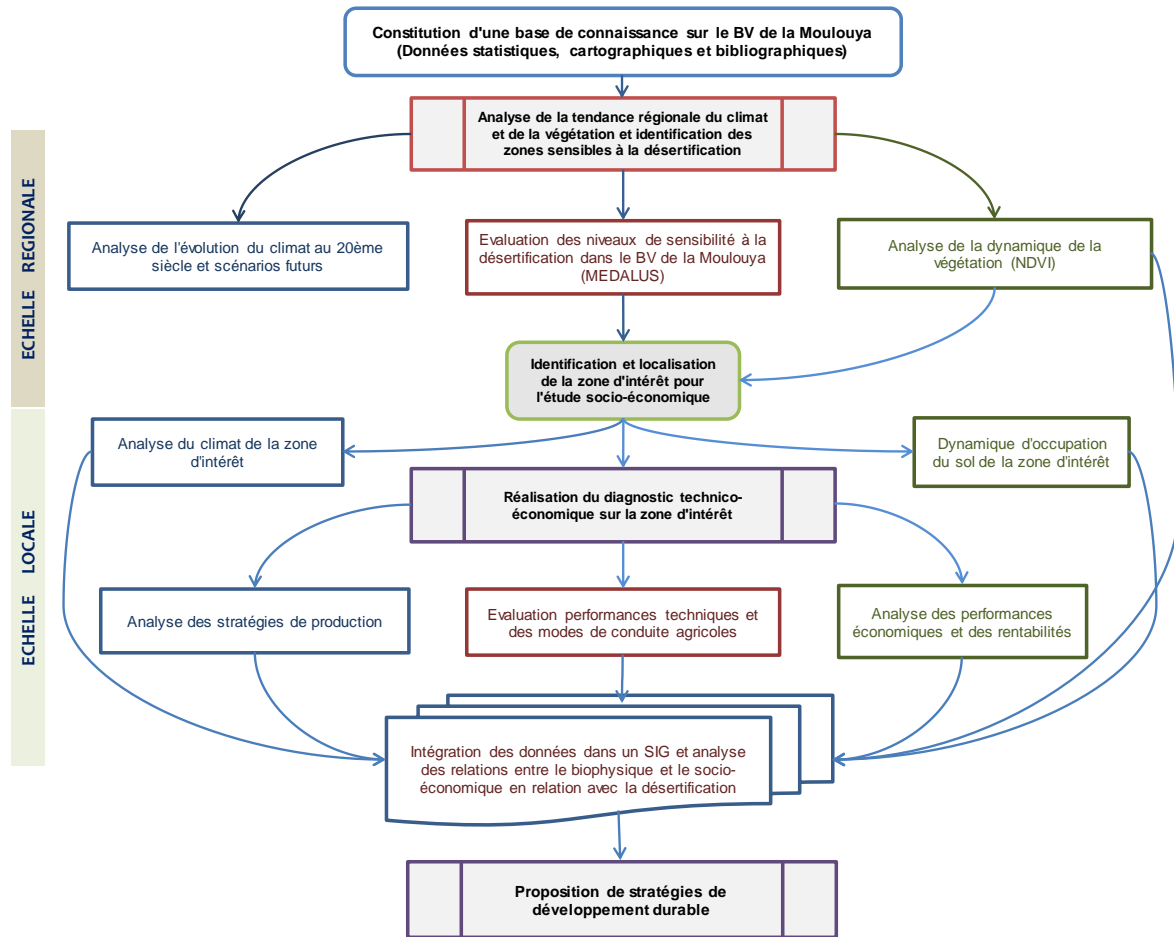
1. Dégager les systèmes de conduite adoptés par les éleveurs ;
2. Estimer la productivité des petits ruminants ;
3. Etudier la rentabilité économique des élevages de la commune ;
4. Déterminer la contribution des parcours dans la satisfaction des besoins ;
5. Analyser les déterminants de la productivité des élevages ;
6. Evaluer les déterminants de la dégradation des parcours.

Le troisième volet concerne l'essai de mise en relation entre les modes d'exploitation du milieu et les dynamiques biophysiques du milieu.

Les activités anthropiques sont étudiées d'un point de vue dynamique. Ceci implique un comportement rationnel qui vise l'adéquation permanente entre les contraintes du milieu et les impératifs de rentabilité économique dans un contexte social déterminé. Il s'agit d'étudier

les dynamiques économiques qui se manifestent sous forme d'adaptations et de réponses aux changements écologiques et socio-économiques.

Par ailleurs, ce volet a concerné également l'étude de l'appropriation de l'espace et des territoires pastoraux et leur effet sur la gestion des ressources naturelles et la conservation du milieu.



**Figure 2 : Algorithme général de la méthode d'approche pour l'étude de la désertification à l'échelle du bassin versant de la Moulouya**

## E. ECHANTILLONNAGE

Pour atteindre les objectifs visés, une recherche documentaire plus approfondie sur le site de travail basée sur les travaux réalisés antérieurement a été nécessaire.

Des visites de terrain des interviews semi-structurées avec les responsables administratifs et intervenants dans le domaine sont nécessaires. Ceci, d'une part, pour collecter un maximum de données agrégées avant la réalisation des enquêtes socio-économiques auprès des ménages agricoles et, d'autre part, pour collecter les données de base pour les besoins de l'échantillonnage.

A l'issue de ce premier travail, une enquête à une échelle plus fine a été conçue et conduite à l'échelle d'une commune rurale et a permis l'analyse de la situation actuelle et d'évaluer la dégradation du milieu sur la base du schéma de fonctionnement global suivant :



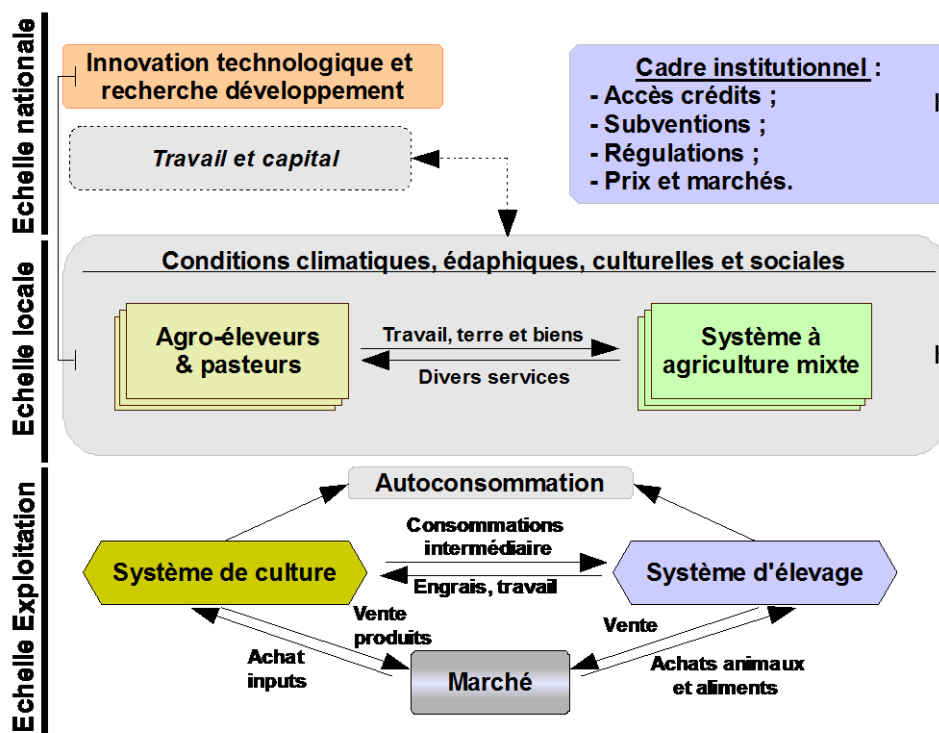


Figure 3 : Schéma d'organisation de l'agriculture régionale et de ses flux avec son environnement

## F. CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL

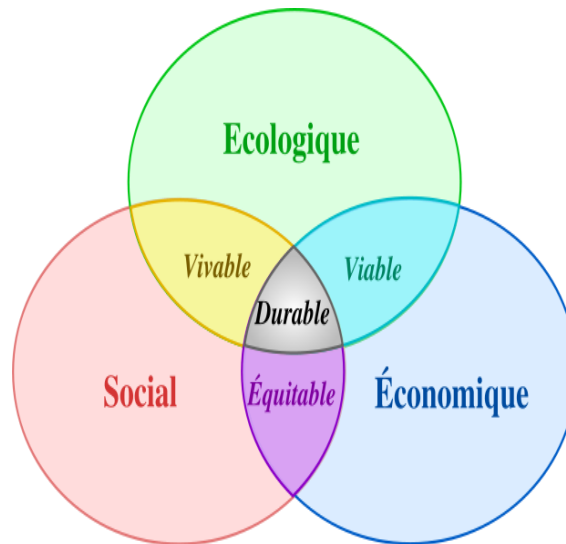
### 1. Approche théorique

L'économie, en tant que science visant la gestion optimale des ressources au sein d'une communauté, dans un univers de contraintes économiques, sociales et politiques (revenu, temps, espace, engagements sociaux...), est soumise à une obligation de résultat. Ce principe de rationalité traduit une affectation des ressources disponibles de manière optimale, en termes de montants alloués aux domaines d'intervention retenus. Dans ce sens, le système de prix des inputs à utiliser et des productions prévues joue un rôle essentiel dans ces affectations et guide le choix des investissements.

Les approches économiques du ménage montrent une tendance pour une grande diversification des théories afin de mieux expliquer une réalité socio-économique de plus en plus complexe. La recherche socio-économique basée sur la théorie néo-classique apparaît la plus utilisée actuellement. Mais celle-ci doit en permanence s'adapter pour intégrer les diverses dimensions d'un développement durable, qui veut que soient prises en compte les contraintes environnementales, sociales, politiques et culturelles.

La composante environnementale en termes scientifiques se pose à l'économie en termes de rareté des ressources naturelles utilisées. En effet, pour la nouvelle théorie néoclassique le changement de catégorie analytique de certains biens, considérés jusqu'à une certaine époque comme biens gratuits (eau, air et espace naturel) oblige de les intégrer, par leur rareté même, dans le domaine de l'analyse économique.

La conservation des ressources dans le cadre du développement durable est constituée de trois composantes : la société, l'économie et l'écologie. Le schéma classique de ces 3 aspects du développement durable est généralement représenté de la façon suivante :



**Figure 4 : Composantes du développement durable**

Source : Brundland, 1998

Dans ce modèle, il est mis en évidence le lien étroit qui existe entre les objectifs sociaux, économiques et écologiques et que ceux-ci ne sont pas nécessairement compatibles. Dans ce sens, le développement durable devient une question d'équilibre entre les trois objectifs pour atteindre une durabilité écologique avec une diminution relative du bien-être social et économique (diminution de la surexploitation).

Partant de l'analyse néoclassique, l'économie de l'environnement se propose l'étude à l'échelle microéconomique des comportements sociaux complexes à partir des modèles environnementaux individuels par la recherche d'optimisation de l'utilisation des ressources sous contrainte en vue de réaliser un bénéfice. L'analyse des problèmes environnementaux dans le cadre de l'approche néoclassique traduit ainsi l'inefficacité des règles d'allocation des ressources régissant les actifs environnementaux (règles institutionnelles et système de prix). La réponse analytique à ces problèmes trouve son explication dans un triptyque conceptuel formé par les notions d'externalité, de bien public et de ressource naturelle. De cette manière les interférences positives ou négatives entre l'offre et la demande sans qu'il y ait compensation monétaire pour les dommages encourus ou pour les bénéfices occasionnés laisse supporter les effets des dégradations sur l'ensemble de la communauté et désavantage à long terme les agents économiques les plus sensibles à la préservation du milieu. L'exemple type au niveau de la région est celui des parcours. En effet, considérés comme bien collectif, certains les emploient comme un outil de développement car ils n'intègrent pas le prix d'utilisation des parcours dans les coûts de production ; d'autres plaident pour la préservation, en évitant le libre accès à une ressource commune et à productivité limitée. Dans ce cas, le libre accès à la ressource peut être interprété en théorie néoclassique comme une défaillance économique car il conduit à une mauvaise allocation des ressources dans le sens optimal de Pareto.

Ainsi, notre analyse est fondée sur un cadre théorique d'économie de l'environnement et sur un dispositif de recherche qui combine les données statistiques disponibles au niveau macro-économique et les enquêtes micro-économiques. Elle vise à montrer l'importance des relations qui existent entre les comportements des acteurs économiques et l'environnement naturel qui les entoure. Même si les analyses en termes d'organisation et de fonctionnement des exploitations agricoles sont menées avec les concepts classiques de l'économie rurale, leur combinaison avec l'analyse de l'environnement permettra d'identifier les aspects les plus spécifiques des comportements des ménages et de la dynamique d'adaptation aux conditions de l'environnement. Cette intégration des différentes approches socio-



économiques et environnementales dans l'analyse des systèmes agraires, est encore plus essentielle dans une économie fragile et en pleine transition pour comprendre la signification de l'évolution de la dégradation de l'environnement et de la désertification constatée.

## **2. Approche conceptuelle**

Dans le cadre de l'étude de l'adaptation des ménages agricoles aux conditions du milieu, notamment en ce qui concerne la variation des niveaux de dégradation de l'espace naturel, un cadre de référence propre à l'économie des ménages est indispensable afin, d'une part, de s'accorder sur la définition des principaux concepts : ménage, famille, individu, etc., et, d'autre part, de créer un corpus de connaissance suffisamment cohérent pour être opérationnel.

Dans un premier sens, le terme famille désigne des individus liés par le sang : frères et sœurs, père et mère, ... et éventuellement des alliés par mariage. Mais d'un autre côté, on entend par famille un groupe de gens qui vivent ensemble sous un même toit et sous l'autorité d'une personne. Cette différence a poussé certains auteurs à la suggestion d'autres termes plus explicites du mot famille tels que parenté ou groupe domestique (Mendras, 1989).

Le terme de ménage est encore plus large. Il rajoute au groupe d'autres conditions comme partager le budget (unité budgétaire), prendre ses repas en commun (unité de consommation) générant en son sein des groupes budgétaires et des groupes de commensalité et reconnaissant l'autorité d'un chef. Le ménage est ainsi une entité abstraite, mais qui correspond bien à l'analyse économique et permet les calculs d'indicateurs par tête, l'étude des comportements d'utilisation du revenu et des habitudes de consommation (Dubois et Blaizeau, 1990).

Si telle est la définition du ménage au sens démographique du terme, des nuances sont nécessaires pour la différencier de celle utilisée spécifiquement en agriculture. En effet, pour le ménage agricole, l'on ajouterait que les récoltes et les revenus sont en général mis en commun, d'une part, et les autres personnes sans lien de parenté avec le chef de ménage mais vivant avec les autres membres du ménage respectent l'autorité du chef et partagent les obligations et les droits ainsi que le travail et le revenu.

Il en résulte que la définition du ménage, basée sur une observation des comportements socioéconomiques locaux, demeure la première étape de toute investigation. Les informations qui seront recueillies serviront à mieux comprendre les dynamiques de fonctionnement des économies locales en relation avec les structures des populations (caractéristiques démographiques du ménage).

Ensuite, ces informations, combinées avec les données économiques des ménages agricoles serviront à décrire la situation des ménages, en termes de niveau de vie, de construire des modèles de comportement, descriptifs ou prévisionnels et d'opérer des classifications ou des typologies de ménages utiles à la mise en œuvre de scénarios d'interventions.

## **G. HYPOTHESES DE LA RECHERCHE**

Le travail de recherche part de l'hypothèse que les changements sociodémographiques et les bouleversements des modes de faire-valoir agricole, suite à la mise en place des périmètres irrigués, à la privatisation des terres collectives et aux incitations de l'Etat pour une économie agricole destinée au marché, a induit de profonds changements dans les pratiques agricoles et sur l'organisation des ménages ruraux avec les conséquences que ceci a eu sur leur capacité à assurer une indépendance vis-à-vis du marché dans un

environnement caractérisé par une rareté des ressources, un risque climatique important et un accroissement exceptionnel de la population.

En effet, durant les siècles passés, l'agriculture était la principale activité des ménages ruraux dans un environnement caractérisé par la présence de la main-d'œuvre familiale, la disponibilité des terres et un effectif de population rurale relativement stable et basé sur une satisfaction du bien-être familial, une gestion collective et une faible dépendance vis-à-vis du marché. Cependant, les mutations profondes survenues au cours du siècle dernier à savoir une raréfaction des ressources, l'imperfection des marchés agricoles, le changement d'organisation socio-économique et la forte augmentation de la population ont induit l'apparition de nouveaux comportements économiques marquant par la même occasion une rupture avec les systèmes de production traditionnels.

En prenant en ligne de compte l'ensemble des idées avancées plus haut et les différentes formes de désertification au niveau de la zone de recherche, deux séries d'hypothèses peuvent être formulées :

Concernant la surexploitation et l'épuisement des potentialités des ressources naturelles en général (eau, sols, forêts et pâturages), notre hypothèse de départ est que les politiques agricoles et les incitations du marché ont eu un effet défavorable sur la conservation des ressources naturelles et le développement agricole en général. Il s'agit donc de vérifier si :

- L'intervention de l'état dans l'ensemble du processus de production et de commercialisation des produits agricoles à travers les subventions aux inputs (eau, engrais, capital, autres intrants...) et moyennant la garantie des prix à la production favoriserait l'apparition de modes d'exploitations agricoles défavorables à la conservation des ressources et a incité à la disparition des modes de gestion traditionnels plus adaptés aux conditions du milieu.

Par ailleurs, le libre accès aux ressources et l'absence de règles d'utilisation des espaces naturels (pâturages et forêts) seraient les principales causes d'apparition de comportement de dégradation de ces ressources (surpâturage et défrichement). Dans ce sens, il s'agit de vérifier si :

- Les formes d'organisations locales de contrôle et planification d'utilisation des ressources naturelles sont efficaces dans la lutte contre la surexploitation ;
- Les statuts de propriété des espaces naturels (généralement collectifs) sont favorables à la conservation et à la gestion durable des ressources naturelles ;
- Le capital d'exploitation influence les stratégies des agriculteurs et favorise l'intensification de l'utilisation des ressources naturelles.

## **H. ANALYSE SOCIO-ECONOMIQUE DES MENAGES AGRICOLES**

Pour caractériser les changements socio-économiques intervenus au niveau de la zone, ayant eu une influence sur la dégradation du milieu, et qui ont eu lieu sous l'effet de plusieurs facteurs (le changement de mode de vie de la population, les caractéristiques sociodémographiques, les systèmes de production et les pratiques pastorales), il s'avère nécessaire de dégager une méthodologie de recherche permettant de caractériser le mode d'utilisation de l'espace agro-pastoral, comprendre les mécanismes d'échanges et les structures de revenus des ménages agricoles.

Au niveau des comportements individuels des acteurs ruraux, ce travail vise à évaluer les niveaux du partage des terres et des moyens de production et leurs effets sur la

différenciation des acteurs locaux sur la base des caractéristiques du capital humain et de l'environnement socio-économique et géographique. En évaluant les niveaux de partage des ressources disponibles entre les différents acteurs il est plus facile de comprendre les trajectoires de comportements et leurs effets sur la dégradation du milieu. Dans ce contexte nous proposons de réaliser une analyse de l'organisation des différentes catégories de ménages agricoles ainsi que des conséquences que celle-ci a sur le mode de faire-valoir des ressources disponibles et sur la formation du revenu. Nous étudierons comment les ménages agricoles analysés comme des organisations s'adaptent et perçoivent les changements de l'environnement et quelles stratégies ils adoptent face aux contraintes économiques et environnementales.

Pour atteindre les objectifs escomptés à travers la recherche, il est proposé de réaliser le travail du terrain en deux étapes :

- La réalisation des entretiens semi-structurés avec les différents services concernés par le développement rural au niveau de la zone (communes rurales, centre des travaux agricoles, services de développement forestier, centre régional de la recherche agronomique, les directions provinciales de l'agriculture) pour recueillir les données et informations de base permettant de guider notre recherche ;
- Enquêtes détaillées à partir d'un échantillon choisi pour recueillir des données fines qui serviront à l'analyse socio-économique de la dégradation du milieu.

Au niveau agrégé, les techniques d'analyse micro-économiques combinées avec l'analyse spatiale basée sur les données intégrées au niveau du système d'information géographique d'étude de la dynamique spatio-temporelle de la désertification, permettront de spécifier et de mettre en œuvre des modèles de simulation. A partir des simulations il est possible d'imaginer des futurs plausibles sur la base des conditions d'évolution du milieu et des indicateurs de dégradation recueillis. Dans ce sens, nous proposons d'utiliser les techniques suivantes :

- Outils de typologie : Analyses en composantes principales et méthodes de Clustering ;
- Modèles de régression linéaire ;
- Modèles de simulation intégrant la dimension environnement et la socio-économie régionale.

## **I. ELABORATION DU QUESTIONNAIRE**

Les travaux d'enquête auprès des ménages agricoles dans les zones sélectionnées du bassin versant ont pour objectif, dans le cadre de l'approche systémique, de comprendre l'ensemble des facteurs et leurs interactions pour appréhender une réalité complexe. La compréhension de la structure des ménages agricoles et leurs fonctionnements (dimensions spatiale et dynamique) permettra de saisir les mécanismes socio-économiques de base qui sont à l'origine des comportements de dégradation ou de conservation du milieu.

Le premier chapitre se réfère aux données socio-économiques et aux composantes de l'appareil de production à savoir le capital foncier (superficie et mode de faire-valoir, etc.), la taille de la famille et le travail (travail agricole et extra-agricole), enfin le capital d'exploitation notamment les équipements et le cheptel vif (animaux par catégorie). A cela il faudra ajouter l'évaluation du capital social et technique à travers des indicateurs dérivés (niveau d'instruction, nombre d'enfants, niveau de technicité).

Le deuxième chapitre du questionnaire tente de décrire les stratégies de gestion des facteurs de production et d'utilisation de la main-d'œuvre familiale disponible.

Un troisième chapitre s'intéresse à la destination de la production animale (commercialisation et autoconsommation) ce qui implique l'étude des flux générés par le processus de production impliquant des charges et des recettes.

Le quatrième chapitre concerne l'évaluation des performances techniques.

Le dernier chapitre tente l'évaluation économique de la productivité économique et sa relation avec la dégradation du milieu. Il s'agit d'identifier les différents modes de conduite de l'élevage et l'évaluation de leur impact sur l'utilisation de l'espace agricole.

Cette approche quantitative est matérialisée par la réalisation d'une enquête socio-économique fournissant des données quantifiées pouvant faire l'objet d'analyses statistiques en les intégrant dans un système d'information des ménages agricoles (niveau d'analyse).

## **J. ELABORATION D'UN SYSTEME D'INFORMATION DES MENAGES AGRICOLES**

L'analyse socio-économique des ménages agricoles fournit une masse importante de données aussi bien quantitatives que qualitatives qu'il importe de bien archiver par la mise en place d'un système d'information spécifique. Ces données regroupent :

- Les données issues du travail de pré-diagnostic (monographie préliminaire et entretiens) ;
- Les données résultant du diagnostic au niveau des ménages agricoles moyennant les enquêtes socio-économiques dont le contenu a été détaillé plus haut.

La conception de la base de données socio-économiques des ménages agricoles donnera la possibilité, sur la base des informations issues de la réalité du terrain et reflétant les comportements des agriculteurs, de disposer d'une information cohérente, formellement architecturée pour l'étude de la dynamique locale. Ceci offre la possibilité, en plus de la rapidité d'accès et de recherche de l'information, de faciliter les opérations de dépouillement, d'encodage et de calcul dans le cadre des opérations de synthèse des données recueillies.

## **K. INTEGRATION ET ANALYSE DES DONNEES DES MENAGES AGRICOLES**

Pour permettre de localiser spatialement les agriculteurs enquêtés et intégrer les données agrégées issues des enquêtes socio-économiques dans l'analyse et la modélisation spatiale à travers le système d'information géographique, nous avons utilisé un GPS.

Lors de l'analyse statistique, des outils de présentation classiques ont été utilisés, à savoir les ratios, tableaux, graphiques, courbes, méthodes factorielles, etc., qui sont neutres par rapport aux objectifs poursuivis.

Le croisement des informations issues des données concernant le climat, la topographie, l'hydrologie et le sol, des données socio-économiques agrégées des ménages agricoles issus des enquêtes sur le terrain a été valorisé moyennant des analyses à travers des outils spatiaux et statistiques :

- Méthodes de typologie : méthodes factorielles, de classification et clustering ;
- Outils de traitement spatial : logiciel ArcGIS, PCI Geomatica, ERDAS ;
- Outils d'analyse et de modélisation statistique : logiciels SAS, SPSS, ... ;
- Les outils de gestion et d'intégration des données (Access, ArcGIS).

L'objectif du présent chapitre est d'exposer l'ensemble des concepts et définitions liés au terme désertification et de présenter les méthodes et les problèmes liés à la mesure et l'évaluation de la dégradation du milieu en relation avec la problématique de la désertification.

### A. INTRODUCTION

Le terme désertification semble être utilisé pour la première fois en 1927 par Luis Lavauden pour décrire la dégradation des boisements dans le Sud de la Tunisie sous l'action de l'homme. Plus tard, Auberville vulgarisa le terme, en le définissant comme étant un processus de dégradation due aux activités humaines qui transformait la forêt tropicale en savane et la savane en régions quasi désertiques (Auberville, 1949) et a conclu que cette dégradation est due principalement à l'activité de l'homme en écartant les causes climatiques.

Communément, le terme de désertification a été souvent associé à l'avancée du désert dont les dunes de sable envahissent les régions moins arides avoisinantes. Cette vision populaire de la désertification a perdu tout fondement pour l'ensemble de la communauté scientifique. Le mythe de l'avancée de désert, popularisé par Hugh Lamprey, (Lamprey, 1975) pour avoir comparé la position du bord du désert dans l'ouest du Soudan en 1958 et en 1975 et ayant conclu que la limite sud du désert a progressé vers le sud d'une distance moyenne d'environ 90 à 100 kilomètres au cours des dix-sept dernières années, soit environ 5,5 km/an, a été scientifiquement rejeté par plusieurs scientifiques (Charney et al., 1975 ; Warren et Agnew 1988 ; Helldén, 1991 ; Verón et al., 2006) qui ont insisté sur le rôle fondamental de la variation des précipitations annuelles pour expliquer les écarts enregistrés. En outre, une série d'études basées sur l'analyse de données satellitaires a démontré que le Sahara répondait naturellement aux fluctuations pluviométriques, pouvant s'étendre durant les périodes de sécheresse et se contracter avec le retour des pluies (Tucker et al., 1991 ; Nicholson et al., 1998 ; Prince et al., 1998 ; Mougin et al., 2000). Ainsi, et comme il a été signalé par plusieurs auteurs, la désertification ne consiste pas en une progression à partir des frontières, mais c'est plutôt un processus complexe invasif rayonnant à partir de centres d'utilisation non durables des terres, elle se manifeste par plaques (Smith et Koala, 1999) ; elle est plutôt ponctuelle que linéaire (Mabutt et Floret, 1983).

Actuellement, le problème majeur auquel est confrontée la communauté scientifique est l'absence de consensus scientifique autour d'une méthodologie unifiée d'étude et de suivi de la désertification. Les projets de la recherche visant l'amélioration des connaissances scientifiques en matière de lutte contre la désertification et de sauvegarde de l'environnement ont eu des résultats très mitigés et ont été qualifiés par un grand nombre d'observateurs comme de réels échecs dus d'une part, à un manque d'indicateurs pertinents pour la mesure et le suivi de la désertification et, d'autre part, à l'absence d'une définition universelle complète du terme même de désertification (Helldén, 1991 ; Glenn et al., 1998 ; Verón et al., 2006).

De nombreuses définitions de la désertification ont été proposées au cours notamment des trente dernières années. L'abondance même des définitions en fonction des différentes communautés, scientifiques ou politiques, des objectifs escomptés et des méthodes d'approche retenues, indique en elle-même le degré d'imprécision du concept. Ainsi, plus de 100 définitions de la désertification ont été recensées dans la littérature (Glantz et Orlovsky, 1983 ; Mainguet, 1990). Cette multitude de définitions donne une bonne idée sur le manque



de connaissances quant à la nature de la désertification (Smith et Koala, 1999 ; Cornet, 2001). Le concept même de désertification a fortement évolué au cours de ces quarante dernières années (Mainguet, 1991 ; Warren et Khogali, 1992 ; Thomas, 1993).

## **B. DEFINITIONS DE LA DESERTIFICATION**

La définition de la désertification adoptée par la convention des Nations unies pour combattre la désertification (UNCCD, 2006) fait référence à deux composantes essentielles, à savoir l'activité humaine et l'effet des changements climatiques, pour expliquer les causes de la désertification dans les milieux arides, semi-arides et subhumides secs. Ainsi, l'interprétation des changements du milieu comme la somme des pertes significatives totales de productivité dues à la désertification dépend de l'intégration de l'ensemble de ces deux composantes dans un contexte économique et de bien-être des êtres humains qui utilisent le milieu.

La réduction de la productivité économique et biologique des écosystèmes terrestres dans un contexte de complexité fait référence à l'ensemble des éléments qui composent l'écosystème à savoir, la terre, les sols, la flore, la faune et l'ensemble des processus qui relie ces éléments (biotopes, topographie, hydrologie, ...). Ainsi, la définition adoptée par la UNCCD fait principalement référence aux relations entre les êtres humains et leurs environnements pouvant engendrer la dégradation du milieu dans les zones arides.

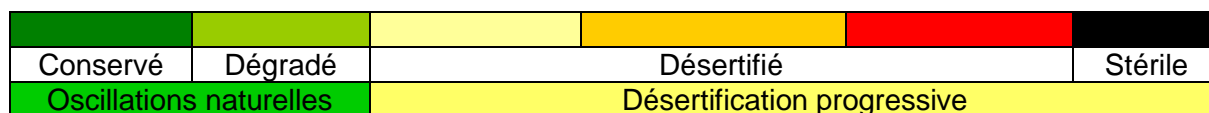
Concrètement, si on juge que la désertification est le stade avancé d'un processus de dégradation des terres dans lequel l'écosystème perd une partie de sa capacité de résilience, il est important de définir les différents niveaux de la dégradation et le seuil de désertification. Dans ce cas, l'évaluation de la désertification et la recherche des moyens de lutte doivent être un objet essentiel de l'investigation scientifique d'une part, parce qu'elle est la forme avancée de détérioration du milieu (nécessite des investissements de restauration) et d'autre part, car elle constitue une menace grave pour le maintien des écosystèmes et la protection de l'environnement. Elle doit aussi définir les seuils d'évolution et le seuil d'irréversibilité (perte totale de la résilience). Toute évaluation de la désertification devra donc inclure les différents niveaux de dégradation et la définition du seuil d'irréversibilité de l'écosystème à étudier selon ses propres caractéristiques biophysiques. Naturellement, la définition des seuils significatifs du changement de l'environnement dans le sens de dégradation ou de désertification du milieu dépend de la valeur des services rendus par celui-ci (productivité marginale/coût de restauration).

Dans tous les cas, la qualification des degrés de dégradation qui peut être décrite ou non comme désertification est très peu abordée en littérature scientifique, certains auteurs (Katyal et Vlek, 2000) proposent que l'on considère comme affectées par la désertification les terres dont la perte du potentiel est supérieure à 15%. La question qui reste alors toujours d'actualité est la définition des niveaux de dégradation du point de vue étendue, intensité et temporalité pour lesquels cette dégradation peut être qualifiée de désertification ou du moins définir des degrés de désertification selon un ensemble de critères scientifiquement admis sur la base d'un consensus scientifique.

Si la dégradation des terres menant à une perte totale de la productivité est un phénomène progressif qui se fait sur une longue période, son début se caractérise par une faible perte de la productivité. Ainsi, une perte soutenue de productivité de 10% (Dregne et Chou, 1992) à 15% (Sehgal et Abrol, 1994) est considérée comme « légère dégradation », elle peut être surmontée en adoptant les procédures de gestion mieux appropriées aux conditions du milieu. Si, par contre, aucune intervention n'est réalisée, la productivité continue à diminuer. Une nouvelle étape est atteinte quand des pratiques agronomiques conventionnelles se trouvent incapables de récupérer la productivité perdue. Il s'agit de dégradation qui correspond à une perte potentielle de la productivité de 10 à 25% (Dregne et Chou, 1992) ou

de 33% (Sehgal et Abrol, 1994) qu'il est possible de corriger moyennant l'amélioration des modes de gestion et d'exploitation des terres. Cette étape de dégradation peut être qualifiée de « dégradation modérée ». A ce stade, et même si des améliorations de la productivité, pour remédier à la dégradation, sont exigées, la dégradation est toujours réversible et peut encore être contrôlée au niveau local (Oldeman, 1988).

Par contre, quand la perte de productivité atteint 50% à 66%, elle est considérée comme grave (Dregne et Chou, 1992), forte (Oldeman, 1988) ou élevée (Sehgal et Abrol, 1994). La restauration de la productivité est encore possible mais nécessite des coûts plus élevés avec la mise en place de techniques de restauration adaptées. Mais, si dégradation dépasse ces seuils, le système naturel peut être considéré économiquement comme irrécupérable ; c'est l'étape irréversible de la dégradation. En effet, les terres dégradées ne peuvent pas être toutes économiquement réhabilitées (Dregne et Chou, 1992). Il est estimé que la réhabilitation des terres désertifiées ne serait rentable que dans 52% des cas, quand les avantages de la réhabilitation sont supérieurs aux investissements nécessaires (perte de revenu par rapport au coût annuel de réhabilitation).



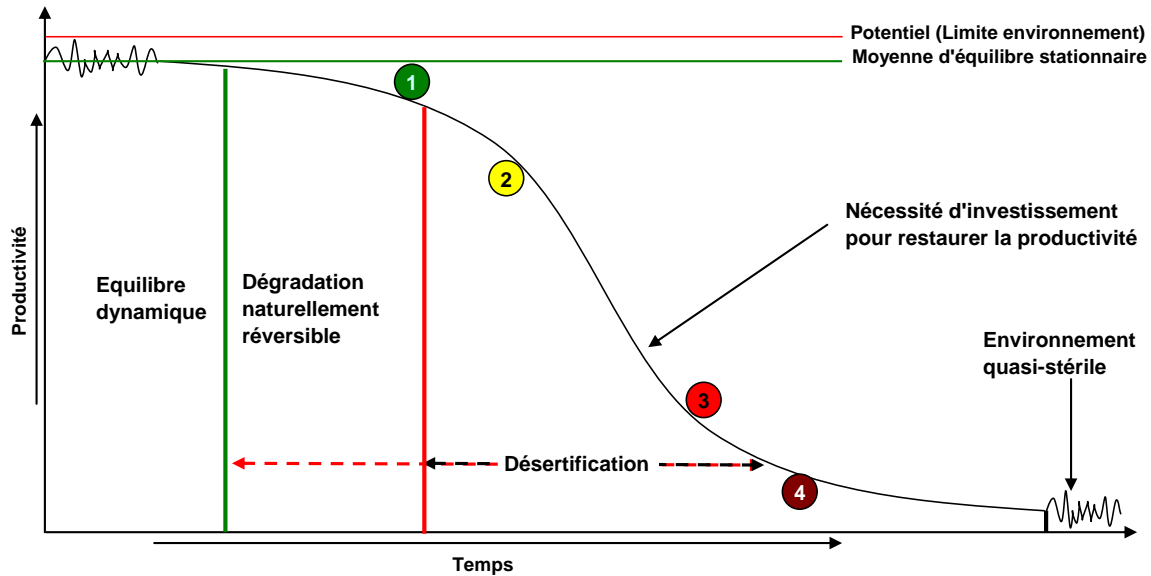
**Figure 5 : Etapes du processus de perte de productivité totale de l'écosystème**

Certains auteurs ont associé le mot désertification au critère d'irréversibilité naturelle de la dégradation (Rosanov, 1982 ; Mainguet, 1995). L'évolution de l'altération de la végétation, des sols et des eaux est telle qu'il est impossible, sans l'intervention de l'homme, de faire revenir l'écosystème naturel à son état primitif malgré des conditions de protection quasi totale de l'environnement pendant la durée d'une génération, soit 25 ans (Floret et Pontanier, 1982).

Se référant à la figure 5, il est clair que le passage entre les différents états conservé, dégradé et désertifié avec toutes les situations intermédiaires pose énormément de problèmes théoriques en relation avec la nature des écosystèmes (fragilité/résilience), leurs valeurs économiques vis-à-vis des utilisateurs directs et potentiels et de la rareté des ressources dont ils disposent par rapport à l'ensemble de l'écosystème terrestre (valeurs non échangeables).

### C. MESURE DE LA DESERTIFICATION

La dégradation est un processus logistique continu et progressif qui s'étend sur une plus ou moins longue période spécifique selon la nature de chaque écosystème (fragile ou résilient). La mesure de la désertification doit pouvoir identifier les points critiques d'évolution (points d'inflexion) du processus et sa fonction d'évolution temporelle. Dans les deux cas, si on estime qu'il s'agit d'une fonction d'évolution de productivité ayant une tendance normale et continue (fonction de Gauss), on peut la schématiser à la figure 6 :



**Figure 6 : Etapes du processus de perte de productivité**

- (1) Phase d'accélération (processus lent) ;
- (2) Phase d'accélération logarithmique (processus rapide) ;
- (3) Phase de ralentissement logarithmique (processus rapide) ;
- (4) Phase de décélération (processus lent).

La dynamique de la croissance des populations suit le plus fréquemment une courbe en forme de S ou sigmoïde. Si la dégradation est une décroissance progressive de l'ensemble des populations animales et végétales de l'écosystème (productivité et qualité), cette courbe peut être schématisée comme indiquée sur la figure 6. Au début, la productivité est à son optimum par rapport au potentiel du milieu et on parle d'état stationnaire ou d'équilibre (carrying capacity), (en vérité, compte tenu des fluctuations de l'environnement, la productivité varie de manière aléatoire autour de sa moyenne). Au début, la dégradation progresse lentement, elle évolue moins vite que le temps, c'est la première phase du processus de dégradation (1) où la quantité perdue en termes de productivité est inférieure à une unité du temps. La deuxième phase (2) est caractérisée par une accélération du processus de dégradation, c'est la phase de dégradation logarithmique ascendante du processus où la quantité perdue en productivité est supérieure à une unité de temps. La phase trois (3) est caractérisée par un fléchissement du processus logarithmique de dégradation qui devient alors descendant ; la quantité perdue est toujours supérieure à l'unité de temps mais diminue progressivement. La dernière phase du processus est le ralentissement de la dégradation qui évolue moins vite que le temps. Finalement, l'écosystème perd une partie importante de sa productivité et redevient stable, les fluctuations de productivité restent faibles et de tendance stationnaire et sont relatives seulement à la productivité totale des espèces qui se sont bien adaptées aux nouvelles conditions de l'environnement ou qui ont conquis le nouvel écosystème devenu plus favorable (plantes et animaux).

Les limites des classes entre l'équilibre, la dégradation naturellement réversible, la désertification et la quasi-stérilité dépendent des facteurs intrinsèques à l'écosystème (facteurs endogènes) (taux de croissance des espèces, compétition entre espèces, résistance aux maladies et aux variations des conditions du milieu) et des facteurs indépendants de l'écosystème (précipitations, températures, concentration CO<sub>2</sub>, saisonnalité, pollution, ...).

Aussi, la durée totale du processus de dégradation pour atteindre le stade de désertification finale conduisant à un écosystème quasi-stérile dépend des caractéristiques de résilience de

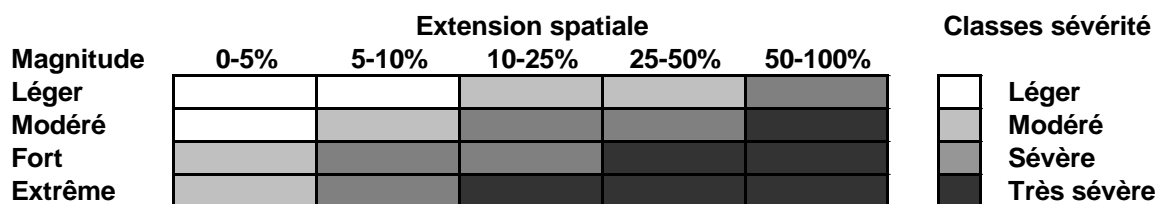


l'ensemble de l'écosystème dans ses composantes biotiques et abiotiques par rapport aux causes directes de la dégradation (réponses du milieu physique et de la faune et de la flore). Ainsi, un écosystème est d'autant plus résilient que la durée du processus de dégradation est longue. Par ailleurs, dans les écosystèmes arides et semi-arides le bruit relatif aux variables à réponse rapide masque souvent le signal des variables critiques lentes (Lynam et Stafford Smith, 2003). D'où la nécessité de distinguer entre la dynamique stationnaire des écosystèmes, qui est a priori une fonction aléatoire par rapport au temps (bruit blanc), et la tendance à long terme pouvant être qualifiée comme désertification qui, elle, est corrélée négativement au temps. Actuellement, la définition des seuils significatifs du changement de l'environnement (intensité) par rapport à la durée de mesure (intervalle de mesure) et l'étendue spatiale du changement (sévérité) pose toujours des questions auprès de la communauté scientifique quant à l'étude et la quantification de la dégradation de l'environnement en général.

A noter que l'augmentation de la production agricole, paramètre très variable selon la qualité du milieu, le niveau technologique et les prix, ne signifie pas l'amélioration du potentiel de productivité agricole de l'écosystème naturel. Une forte production induite par une pluviométrie favorable, par l'amélioration des niveaux des technologies agricoles ou par un changement relatif des prix peut induire un appauvrissement soutenu des sols et un prélèvement non durable sur le capital naturel en général (eau, structure et nutriments du sol, faune et flore). L'étude de la dégradation des écosystèmes exige donc l'estimation des potentiels soutenables de productivité des différents écosystèmes en prenant en ligne de compte les principaux facteurs biophysiques, notamment la pluviométrie et le bilan hydrique, le type et l'état des sols, la topographie et la qualité de la flore et de la faune produites. Dans ce sens, la planification intégrée de l'utilisation des terres doit s'appuyer sur une évaluation judicieuse du potentiel soutenable qu'offre chaque unité de l'écosystème pour répondre d'une manière durable aux besoins de la société.

Ainsi, le problème qui se pose généralement lors du suivi à long terme des écosystèmes dans le cadre de l'étude de la désertification est celui de la séparation entre le processus inhérent à la dynamique intrinsèque de l'écosystème en relation avec les conditions du milieu (climat et les réponses de la faune et la flore) et l'évolution à long terme de l'écosystème en relation avec la dégradation progressive et continue du milieu par rapport à son potentiel soutenable. L'interprétation du changement spatio-temporel comme perte significative par rapport aux caractéristiques de résilience de l'environnement dans le cadre de l'étude de la désertification stipule la formulation d'un certain nombre d'hypothèses concernant les intervalles et la durée des mesures qui peuvent certainement conduire à des interrogations concernant leur validité.

Les changements d'occupation du sol et l'utilisation des terres se produisent à un taux, à une magnitude et à une extension spatiale (Lambin et al., 2001) et la mesure de la désertification moyennant un chiffre simple ou un indice synthétique n'est pas facile à mettre en œuvre (Lambin et al., 2009). La dégradation est communément présentée sous forme de classes de sévérité en deux dimensions (degré ou magnitude et extension spatiale).



**Figure 7 : Présentation graphique de la sévérité et de l'extension spatiale de la désertification**

Source : Tucker, 1994

Théoriquement, il s'agit d'une mesure relative, liée à trois éléments essentiels et distincts. Le premier est en relation avec la diminution de la productivité totale du milieu (services rendus par l'écosystème) qui peut être mesurée par rapport à son potentiel de productivité soutenable, il s'agit donc d'un indice de dégradation relatif sans métrique, le second est en relation avec la sévérité relative ou l'extension spatiale qui doit être mesurée par rapport à l'étendue de la zone homogène étudiée, c'est-à-dire la variation de l'étendue relative de la zone dégradée et finalement la vitesse de propagation de la dégradation ou le taux de dégradation par rapport au temps. Dans ce sens, certaines estimations avancées par nombre d'organismes internationaux ne peuvent en aucun cas être validées ou rejetées car ne disposant pas de repères standards (potentiel du milieu). Théoriquement, il n'y a pas une unique mesure de la désertification en présence de nombreux potentiels biophysiques. La plupart des évaluations de la désertification sont dérivées seulement de l'un ou l'autre des facteurs biophysiques (par exemple érosion de sol, perte de couvert végétal, changement d'albédo) ou des facteurs socio-économiques (diminution de la production, réduction des terres agricoles, exode rural, etc.), mais rarement les deux à la fois. Ainsi, un nombre restreint de variables critiques peut être adopté pour la compréhension des causes et l'étendue des régions affectées par la désertification plutôt que pour le suivi de ses effets (Reynolds et Stafford Smith, 2002).

La mesure de la désertification doit donc intégrer, pour être complète, les cinq éléments suivants :

- La surface de la zone de potentiel de productivité unique (ex. zone agro-climatique) ;
- La durée de la mesure ;
- Le potentiel de productivité soutenable de la zone ;
- La productivité moyenne effective de la surface dégradée ;
- La surface dégradée durant la durée de la mesure.

Si on considère que toute dégradation ayant une tendance dépassant de manière continue deux fois l'écart-type par rapport à la moyenne d'équilibre stationnaire ( $\mu - 2\delta$ ) (paramètres calculés sur la période d'au moins une génération  $\sim 25$  ans) est une désertification alors notre analyse doit pouvoir calculer le taux de désertification à ce seuil pour chaque système agro-climatique ou bioclimatique.

Si on suppose ce seuil de 10% par rapport au potentiel du milieu (Dregne et Chou, 1992) (impossibilité de restaurer l'écosystème sans intervention humaine : écosystème peu résilient), il est alors utile de calculer le taux de désertification au seuil de 10% ou le taux apparent de désertification pour les besoins de comparaison et pour la standardisation des résultats, qu'on peut noter  $ARD_{10}$ , est égal à :

$$ARD_{10} = ((0,9.PP - PM)/0,9.PP) * (SD/ST)$$

Avec :

- ARD<sub>10</sub>** : Taux apparent de désertification au niveau de 10% ;
- PM** : Productivité moyenne de la zone dégradée ;
- PP** : Potentiel de productivité de la zone ;
- SD** : Surface dégradée ;
- ST** : Surface de la zone.

A signaler que cette formule affecte le même poids aux variables intensité et sévérité et ne tient pas compte de l'intensité de la dégradation au point ou du coût marginal de la dégradation spécifique, perte de biodiversité par exemple, mais sur l'ensemble du territoire en considérant que l'effet d'une diminution d'une unité de surface correspond pratiquement à

la diminution d'une unité de productivité. Ceci peut être corrigé en cas de nécessité en ajoutant un coefficient de pondération selon la valeur des pertes de productivité (services et biens rendus par l'écosystème) par rapport à la surface perdue, Ce qui implique une bonne connaissance de la valeur des biens et services rendus par l'écosystème par rapport à l'ensemble des écosystèmes terrestres (richesse de l'écosystème ou valeur économique de l'écosystème). Il est bien évident qu'une unité de surface dans un écosystème hyper aride n'a pas la même valeur qu'une unité de surface en forêt malgache.

Ici, le paramètre « Durée de mesure » n'est pas considéré dans la formule de calcul du taux apparent de désertification, ceci implique que cette durée de mesure doit être mentionnée implicitement avec le taux de désertification ou intégrée au taux de désertification apparent moyennant la vitesse apparente de la désertification qui est égale :

$$ASD_{10} = ARD_{10}/T$$

**ASD<sub>10</sub>** : Vitesse apparente de désertification au niveau de 10% ;  
**ARD<sub>10</sub>** : Taux apparent de désertification au niveau de 10% ;  
**T** : Durée de la mesure.

Le processus de dégradation diffère selon les caractéristiques inhérentes à l'écosystème naturel, spécifiquement le type de sol, la pente, la végétation et le climat (Stocking et Murnaghan, 2001 ; Poesen, 1995). Ainsi, il convient, avant d'aller plus loin et si on se concentre sur la productivité agricole seulement, de définir les paramètres de mesure de la productivité au niveau des zones agro-écologiques ou agro-climatiques qui permet de calculer les niveaux de dégradation.

Tout d'abord, il faut distinguer entre la production moyenne de la biomasse (matière sèche par unité de surface), qui exprime la productivité moyenne du milieu biophysique en relation avec les conditions climatiques, qui est une mesure de terrain de la productivité et les mesures indirectes de la productivité qui sont essentiellement réalisées à travers des indices de végétation issus des données de la télédétection. Dans ce cas, le problème réside dans le choix d'un indice de végétation, parmi ceux issus des différentes techniques de télédétection, qui permet une meilleure différenciation de la densité réelle de biomasse au sol (le mieux corrélée avec la mesure directe) en considérant le type de capteur disponible et la nature du milieu biophysique étudié (densité et type de végétation).

Concernant les mesures de la vitesse de la dégradation rapportée à la surface totale de la zone homogène, les données satellitaires donnent une estimation assez précise des changements d'occupation du sol qui peuvent, à travers des classifications combinées avec observations sur le terrain et les photos aériennes, permettre une bonne estimation de l'évolution spatiale de la dégradation.

Finalement, la mesure de la désertification au niveau global en considérant le taux de  $\alpha$  comme point de référence par rapport à la productivité soutenable de l'écosystème peut être formulée comme suit :

$$ASD_{\alpha} = ((1 - \alpha) \cdot \beta \cdot PP - PM) / ((1 - \alpha) \cdot \beta \cdot PP * SD/ST * 1/T)$$

Avec :

**ASD <sub>$\alpha$</sub>**  : Vitesse de désertification au taux  $\alpha$  ;  
**PM** : Productivité moyenne relative de la zone dégradée ;  
**PP** : Potentiel de productivité de la zone ;  
 $\alpha$  : Seuil significatif de dégradation ;  
 $\beta$  : Valeur relative de l'écosystème terrestre ;

**SD** : Surface dégradée ;  
**ST** : Surface de la zone ;  
**T** : Durée de la mesure.

Par ailleurs, il faut signaler que dans les zones de fort potentiel agricole, le changement de la productivité n'est pas lié directement à la quantité de biomasse ni à un quelconque indice de végétation issu des données de la télédétection. L'estimation des pertes de productivité ne peut se faire que moyennant l'analyse économique. C'est généralement, la première phase du processus de dégradation dans les zones à fort potentiel agricole qui ne se manifeste pas à travers la densité de la végétation, mais plutôt à travers les rendements à cause de la diminution de la fertilité. Globalement, cette diminution est compensée par un surcoût de production moyennant des amendements en engrais, des apports en eau d'irrigation, les rotations culturales et la jachère (coût de remplacement). En général, cette première partie de la dégradation n'est pas considérée comme désertification étant donné que le système peut de lui-même restituer son potentiel de productivité moyennant des techniques de préservation appropriées ne nécessitant pas des apports financiers.

Parallèlement, dans les zones naturelles telles que les forêts et les parcours, la dégradation est considérée en relation avec l'altération de la végétation et une modification de la composition floristique par raréfaction des espèces les plus valorisées ou plus appréciées par les animaux. L'éclaircissement du couvert végétal donne une bonne indication sur la diminution de la biomasse totale. Le sol, moins protégé par le couvert végétal, est soumis à l'action mécanique de l'érosion (eau et vent) et perd plus facilement ses qualités structurales et organiques. Dans ce cas, c'est surtout la diminution des prélèvements humains et la charge animale qui sont déterminants pour la restauration de l'équilibre de l'écosystème.

Compte tenu du fait que les surcoûts pour le maintien du même niveau de prélèvement sont difficilement imputables aux différentes catégories d'utilisateurs (pasteurs, éleveurs, collecteurs de bois et de fourrages, bûcheurs...) et aussi parce que le contrôle et la mesure des prélèvements sont, en eux-mêmes, très coûteux, la mesure de la désertification reste plus difficile que dans les zones de culture.

## **D. CAUSES DE LA DESERTIFICATION**

La dégradation des terres notamment dans les milieux arides reste peu documentée (Lambin et al., 2003). Elle se produit dans une zone donnée si certains éléments de l'écosystème naturel (sols, végétations et eaux) sont utilisés au-delà de leurs seuils spécifiques (Kirkby et Kosmas, 1999). Le processus de dégradation diffère selon les caractéristiques inhérentes à l'écosystème naturel, spécifiquement le type de sol, la pente, la végétation et le climat (Stocking et Murnaghan, 2001 ; Poesen, 1995). Les principales causes directes évoquées sont :

**L'activité humaine** : Beaucoup de scientifiques s'accordent sur le fait que la désertification est due essentiellement aux activités humaines (Le Houérou, 1968 ; UNCOD, 1977 ; Nelson, 1990 ; Warren et Agnew, 1988 ; Katyal et Vlek, 2000 ; Cornet, 2001). L'augmentation de la demande en produits alimentaires et en ressources naturelles serait faite aux dépens d'une surexploitation des ressources et des potentiels agricoles. Si on définit la désertification comme étant le résultat d'une incapacité de l'homme à équilibrer durablement l'offre et la demande en services des écosystèmes, celle-ci se traduirait, en relation avec la dégradation du milieu, par quatre types d'actions humaines liées aux systèmes de productions agricoles et d'exploitation des ressources naturelles terrestres :

- Le déboisement au-delà des capacités de régénération naturelle ;
- La mise en culture des zones marginales et l'augmentation artificielle des potentiels de production des zones agricoles au-delà des capacités biophysiques soutenables ;
- La surexploitation des pâturages et parcours au-delà de leur capacité ;
- L'utilisation inadaptée des techniques d'irrigation.

L'activité humaine (agriculture et élevage) se manifeste par une réduction de la végétation qui est considérée comme la principale composante biologique du processus de désertification dans les milieux arides. Le couvert végétal naturel (forêts et parcours) et les cultures sont les facteurs les plus importants permettant de réduire les risques d'érosion (Roose, 1994 ; Fritsch, 1992). La litière et la végétation basse sont aussi efficaces que la canopée pour absorber l'énergie des pluies et du ruissellement (Roose, 1994). Aussi, sur les terres de parcours la diminution du couvert végétal suite à l'augmentation des effectifs des troupeaux engendre des effets négatifs sur la structure du sol (Willat et Pullar, 1983 ; Warren et al., 1986).

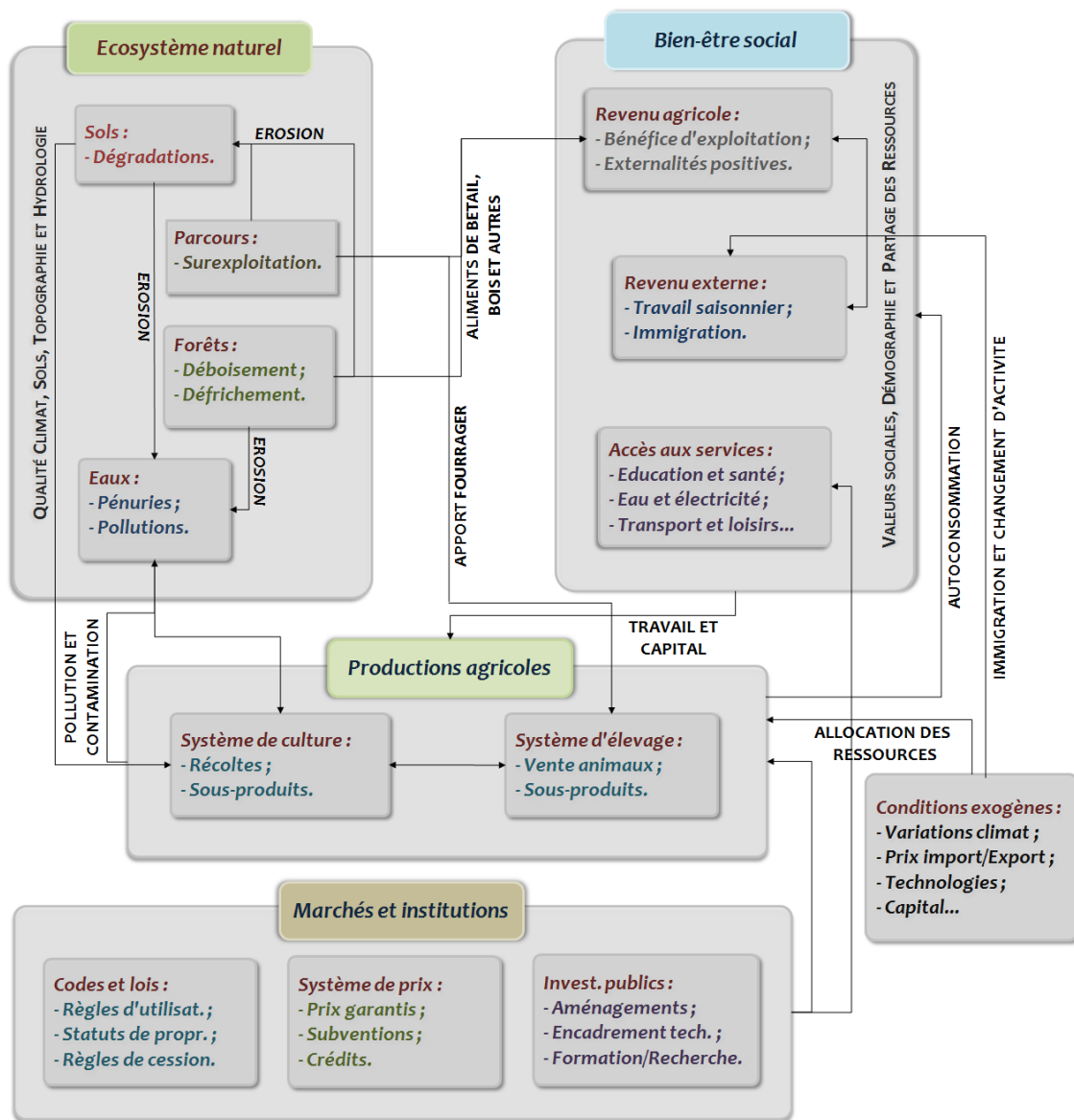
Cependant, il serait utile de signaler que plusieurs auteurs ont souligné qu'il n'y a pas de corrélation directe entre la croissance démographique et la dégradation des terres (Kates et al., 1977 ; Olsson, 1985) (analogiquement entre pollution et démographie). La dégradation est donc plutôt liée au mode de gestion agricole en relation avec les potentiels de productivité qu'à la densité de la population. Néanmoins, dans les régions arides à faible productivité où la production agricole est destinée essentiellement pour satisfaire la demande alimentaire locale, cette corrélation peut être validée plus facilement.

**Le Climat :** Les effets des changements climatiques sur la désertification sont complexes et ne sont pas suffisamment assimilés dans le contexte strict de la dégradation des terres et de la désertification en particulier. Généralement, les facteurs climatiques sont associés avec une diminution des précipitations (dessiccation du milieu) et considérés comme principale cause de la désertification (Puigdefàbregas, 1998).

Cependant, les résultats des recherches récentes sur le changement climatique global et en Méditerranée en particulier tendent vers une réduction des précipitations annuelles, une hausse des températures moyennes et une augmentation de leurs variabilités interannuelles et au cours de la même saison (augmentation des extrémales inter- et intra-annuelles) (Rousset et Arrus, 2004). Les scénarios basés sur les modèles de circulation globale prévoient en général une élévation relative des températures moyennes mais ne précisent pas bien la répartition de ces augmentations selon les différentes régions du globe. Selon le troisième rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2001) la température moyenne à la surface du globe a accusé une hausse de l'ordre de  $0,6 \pm 0,2$  °C depuis le début du vingtième siècle avec une nette accélération depuis 1976. Concernant les précipitations, il note une augmentation de 5 à 10% au cours du vingtième siècle dans l'hémisphère nord, mais une diminution sur certaines régions du globe (Afrique du nord et occidentale et certaines parties de la Méditerranée).

D'un autre côté, les phénomènes de sécheresse induisent, à prélèvement quasi-constant, une augmentation de la vulnérabilité des écosystèmes naturels et une aggravation des phénomènes de dégradation par une exploitation plus intense des disponibilités en ressources naturelles. Il est démontré, par ailleurs, que l'effet de la sécheresse est très faible là où l'impact humain et animal est nul ou négligeable (Cornet, 2001).





**Figure 8 : Schéma de fonctionnement général de l'écosystème en relation avec la dégradation**

Plusieurs questions restent encore d'actualité jusqu'à ce jour concernant les variations climatiques et la désertification à savoir :

- Relation entre les sécheresses et les changements climatiques globaux ;
- Relation entre la dégradation des terres et les changements climatiques ;
- Relation entre les concentrations de CO<sub>2</sub> et les changements climatiques locaux.

Par ailleurs, la diminution des précipitations peut activer certaines causes indirectes de la désertification par l'intermédiaire des changements d'utilisation des terres (Lambin et al., 2009). Ainsi, les changements d'allocation des ressources en général suite à des changements climatiques (intensification, irrigation, extension des terres cultivées, changements de technologies...) peuvent induire une raréfaction des ressources en eau et en terre et contribuer à davantage de dégradation du milieu.

En résumé, malgré les incertitudes liées aux modèles de simulations climatiques, il semble que les changements climatiques globaux devraient se traduire par un accroissement des

conditions d'aridité dans la plus grande partie des zones touchées par la désertification, ceci pourrait se traduire, en l'absence de mécanismes d'adaptation, par une augmentation des pressions exercées sur les ressources du milieu et l'aggravation des phénomènes de désertification.

**Facteurs indirects** : Les principaux processus de dégradation des terres sont la dégradation du couvert végétal, la dégradation de la qualité des sols et l'érosion (FAO, 1984) et se produisent sur une zone donnée si certains éléments de l'écosystème naturel (sols, végétations et eaux) sont utilisés au-delà de leurs seuils spécifiques (Kirkby et Kosmas, 1999). Ceci nécessite une bonne connaissance des interactions entre les comportements des acteurs économiques, le potentiel des écosystèmes et le mode de partage des ressources. En général, il est actuellement admis que la désertification est mieux expliquée par la combinaison des facteurs socio-économiques et des facteurs biophysiques, plutôt que par une simple variable (Lambin et al., 2009). Ainsi, parmi les facteurs indirects les plus cités en littérature on peut énumérer :

- L'inadaptation des techniques de production ;
- La croissance démographique ;
- La mauvaise répartition des ressources et la pauvreté ;
- Les politiques de développement agricole et rural inadaptées ;
- Le manque d'information et d'encadrement.

Dans la majorité des pays en développement, le secteur agricole doit assurer la sécurité alimentaire, fournir des revenus suffisants aux agriculteurs et préserver les bases écologiques d'un développement durable. Cependant, souvent les deux premiers objectifs ont été maintenus aux dépens d'une surexploitation des potentiels agricoles. L'introduction de la mécanisation à grande échelle, l'investissement massif dans la grande hydraulique, l'encouragement du changement des systèmes et techniques de productions traditionnels et le remembrement des terres pour augmenter la production ont provoqué une exploitation abusive des ressources qui n'a pas toujours été synonyme d'une amélioration du bien-être et du revenu des populations locales.

Plusieurs études ont révélé que les systèmes de production traditionnels intensifs en main-d'œuvre familiale et avec des technologies de production adaptées sont plus rentables économiquement et socialement que les grandes exploitations de monoculture. Selon Rosset (1999), les petits agriculteurs sont plus productifs, plus efficaces et contribuent davantage au développement économique en relation avec les communautés environnantes bien peuplées. Ils considèrent mieux les ressources de l'écosystème en réduisant l'érosion des sols et en préservant la biodiversité, assurant ainsi la durabilité de la production agricole. En Inde, par exemple, avant la révolution verte, des chiffres sur la production rizicole des fermes ont été défavorablement comparés avec les revenus de la monoculture, sans tenir compte des revenus totaux en termes de rotations en polyculture et d'élevage (Shiva, 1991).

L'augmentation de la population est l'une des causes de dégradation de la terre les plus citées dans la littérature scientifique (Mainguet, 1991 ; Barrow, 1994). Cependant, ceci néglige le fait qu'il y a beaucoup de régions peuplées dans le monde qui engendrent relativement peu d'érosion et de dommages environnementaux, tandis que d'autres avec une population plus faible sont responsables de beaucoup plus de dégradation. La croissance démographique, comme déjà cité plus haut, n'implique pas une dégradation de l'environnement, ou du moins la corrélation entre la dégradation et la démographie n'est pas toujours linéaire et positive. Plusieurs facteurs peuvent influencer la dégradation indépendamment de la croissance de la population tels que le changement des modes de mise en valeur agricole (petits fermiers vers grandes exploitations), les changements technologiques et la croissance des autres secteurs de l'économie. Mais, dans les régions sèches et fragiles où la plus grande frange de la population travaille et vit en milieu rural en

relation avec l'agriculture, il serait plus facile de corrélérer la surexploitation des ressources de l'écosystème et la croissance démographique (Smith et Koala, 1999).

Les ressources en terres sont généralement réparties dans les zones arides d'une manière très inéquitable entre les exploitants, les pasteurs et les fermiers, ce qui se traduit souvent dans la réalité par des crises économiques et sociales en relation avec l'exode, l'immigration, la famine et les conflits politiques et sociaux. Par ailleurs, suite à l'augmentation de la demande en terre pour les cultures ; les pasteurs, qui avaient à leur disposition de grandes étendues de terres utilisées comme pâturage, n'ont plus accès qu'à des terres pauvres, marginales et souvent fragmentées et enclavées. Ce mode d'utilisation des terres de parcours et la rupture des mécanismes de gestion communautaire des terres ont provoqué l'apparition de comportements de surexploitation des pâturages afin d'en tirer un bénéfice personnel à court terme sans se préoccuper de la perte pour la communauté dans le long terme (Hardin, 1968). Plusieurs études montrent le lien étroit qui existe entre la pauvreté et la possession de la terre. En effet, en absence du support de production et d'un capital nécessaire, les populations sont contraintes à user d'autres moyens tels que l'élevage extensif, le défrichement, le déboisement et la mise en culture des terres marginales... pour subvenir aux besoins les plus vitaux. Compte tenu des contraintes imposées et du manque de solutions, ces populations sont induites dans un cycle d'exploitation excessive des ressources disponibles pour satisfaire les besoins pressants et immédiats, même si cette exploitation compromet la durabilité de ces ressources et renforce à terme la vulnérabilité du système de production (stratégie de survie à court terme due au manque d'opportunités). Les pauvres n'ont généralement aucun choix et doivent opter pour l'avantage immédiat, très souvent aux dépens d'un long terme plus durable (Barrow, 1994). En plus, si une communauté est trop pauvre pour réunir le capital requis pour la restauration de la terre dégradée, cette dégradation est susceptible de continuer sinon de s'accélérer (Warren et Agnew, 1988).

D'un autre côté, l'inadéquation du droit foncier et le vide juridique qui s'ensuit par rapport aux anciens régimes de propriété communautaire et modes de partage des ressources (eau, parcours, champs de culture communs) ont favorisé, dans la plupart des pays concernés par la désertification, un épuisement des ressources par la recherche d'un bénéfice individuel supplémentaire à court terme sans se préoccuper de la perte à long terme pour la communauté.

Les pressions exercées sur les ressources et l'environnement dépendent du fonctionnement des systèmes économiques et du niveau de valorisation des potentiels biophysiques en relation avec les conditions climatiques. Depuis plus d'un demi-siècle et dans le cadre d'un contexte international favorable à l'intervention de l'Etat et au protectionnisme, la plupart des pays touchés par la désertification (Afrique du nord et de l'ouest, Inde, Pakistan, Chine,...) ont déployé de grands efforts de planification et de mise en valeur agricole moyennant des mécanismes d'investissements étatiques, d'interventions et de régulation de l'agriculture (construction de barrages, aménagement de périmètres irrigués, mise en valeur pastorale, reboisement, délimitation des périmètres forestiers, subventions, garantie des prix, encouragement de l'exportation, codes et lois...). Cet ensemble de mesures et d'incitations économiques et institutionnelles avait pour objectif la « modernisation » de l'agriculture pour répondre à l'objectif de l'autosuffisance alimentaire en produits alimentaires de base d'une part, et l'amélioration des revenus des agriculteurs d'autre part. Cependant, les objectifs d'intensification de l'agriculture et sa modernisation ont été faits en se basant sur un ensemble de mécanismes contradictoires et sans réelle concertation avec les communautés locales ; l'augmentation de la production et l'intensification de l'agriculture n'ont pas été toujours synonymes de conservation de l'espace naturel et d'amélioration des conditions de vie des populations. Ceci s'est traduit, dans la plupart des cas, par un bouleversement des pratiques agricoles locales ancestrales et une exploitation excessive des ressources, en plus on a assisté à une disparition progressive des modes de gestion communautaire de l'espace



naturel caractérisés par un meilleur équilibre entre les potentiels agricoles et les systèmes de production pratiqués. Les stratégies de développement rural basées sur l'amélioration des techniques agricoles et économiques ont certes permis une amélioration sensible des productions agricoles, mais celle-ci s'est traduite par une surexploitation des potentiels des écosystèmes et n'a pas été toujours en faveur des populations locales.

Dès le début des années 80 du siècle passé et dans le cadre d'un marché mondial des produits agricoles artificialisé, où la majorité des produits sont subventionnés en amont et en aval du processus de production, la chute des cours mondiaux de la plupart des produits agricoles a provoqué un effondrement du système d'appui et de subvention à l'agriculture dans les pays en développement et l'abandon des politiques agricoles interventionnistes appliquées. Faute de moyens de financement supplémentaires, des réformes économiques profondes ont été entamées avec l'appui des organismes financiers internationaux (FMI, BM...) en vue de remédier à la crise économique. L'abandon des politiques interventionnistes au prix d'une libéralisation des échanges a encore et en plus eu un effet néfaste sur les populations locales qui se sont appauvries davantage. Ainsi, il est important de signaler les conséquences négatives que peut avoir une politique de développement agricole non adaptée aux besoins des populations et aux contraintes naturelles sur la dégradation du milieu :

- Perte de revenus et d'avantages comparatifs ;
- Perte du potentiel naturel et de biodiversité ;
- Perte de pratiques agricoles et des modes de gestion traditionnels ;
- Perte de cohésion sociale ;
- Augmentation de la vulnérabilité vis-à-vis des marchés et des politiques.

Dans un contexte de vulnérabilité aux conditions climatiques, les problèmes de développement agricole se posent en termes d'opportunités de productions en relation avec le potentiel biophysique local. L'amélioration des conditions de vie des populations doit se faire initialement en relation avec l'amélioration des systèmes de production existants en apportant des améliorations aux techniques de production (amélioration et correction) et aussi par l'information sur les opportunités du marché des produits agricoles à travers les prix et leur évolution.

Les systèmes de productions locaux doivent se baser sur l'ensemble des avantages comparatifs qui valorisent le mieux les conditions et les potentiels de production en relation avec les préférences et les aspirations des populations locales. Souvent, c'est le manque d'information sur les véritables opportunités de production qui fait défaut. L'information et le système de vulgarisation agricole ne doivent pas se baser nécessairement sur l'innovation (nouvelles techniques ou produits) mais sur la valorisation de l'existant, souvent bien adapté aux conditions naturelles du milieu et au savoir local des agriculteurs, à travers le suivi des indicateurs du marché pour l'ensemble des produits (locaux et de terroir) et à travers l'amélioration des techniques agricoles existantes pour une meilleure économie des moyens. L'introduction de nouveaux produits ou de nouvelles techniques ne doit se faire qu'en dernier recours, lorsque toutes les possibilités d'utiliser le potentiel et le savoir local sont épuisées.

La question essentielle qui se pose pour chaque agriculteur en relation avec les opportunités du marché et le contexte d'une politique agricole nationale est de savoir quels sont les produits agricoles qu'il pourra produire à moindre coût pour un maximum de bénéfice tout en prenant en ligne de compte les contraintes liées à son exploitation (surface mobilisable, temps de travail, capital...). En général, en absence d'informations exhaustives sur le potentiel agricole soutenable et sur les produits susceptibles d'être cultivés au sein de son exploitation, tout agriculteur, par principe de rationalité économique, a tendance à maximiser son revenu agricole en se basant seulement sur les mécanismes d'offre et de demande sur

le marché où il effectue l'échange. Mais et souvent, cette rationalité économique est biaisée par les éléments suivants :

- Le marché est limité aux produits d'échange, les éléments produits disponibles naturellement dans l'écosystème et non échangés ne sont pas pris en compte (biens à valeurs négatives ou nulles).
- Imperfection du marché (concurrence imparfaite ou marchés artificiels) : Les biens échangés sur le marché ne reflètent pas la réalité de l'offre et de la demande (mono- et oligopoles, interventions de l'Etat à travers des lois et des subsides) : Subventions des inputs, prix garantis, aides...
- Manque d'information sur les possibilités d'échange et insuffisances technologiques : Souvent des produits bien adaptés aux conditions locales de production ne sont pas cultivés dans les milieux qui en sont les plus favorables à cause du manque d'information sur les opportunités de valorisation et aussi compte tenu de l'absence de technologies de production adaptées (plantes aromatiques et médicinales non cultivées, marché des fleurs, ...).
- Barrières douanières entre les Etats : Les mécanismes de tarification douanière et de subventions à l'importation ou à l'exportation se traduisent par une modification artificielle des avantages comparatifs naturels entre les pays. Ces mécanismes de protection nationaux ou régionaux se traduisent par un manque à gagner pour l'ensemble de l'écosystème terrestre moyennant des surcoûts de production et par un effet négatif sur l'environnement.
- Manque de moyens de financement : La diffusion d'innovations technologiques dans le cadre d'un programme d'amélioration des revenus des agriculteurs pour mieux valoriser le patrimoine de l'écosystème pose très souvent le problème des coûts de remplacement des anciennes pratiques agricoles. Ceci se traduit par une résistance à la diffusion de l'innovation compte tenu du risque lié au changement et de son effet sur le système de production et aussi compte tenu de la valeur totale de l'investissement en capital, en terre et en travail que ceci nécessite. En général, ce sont les agriculteurs les plus riches du point de vue patrimoine foncier et capital qui sont moins sensibles au risque d'adoption des innovations technologiques (coût de remplacement/valeur du capital).

## **E. EVALUATION DES COÛTS DE LA DESERTIFICATION**

L'évaluation des coûts de la désertification implique l'estimation de la diminution des biens et services environnementaux pour l'ensemble des générations actuelles et futures, mais dans la plupart des études économiques il s'agit surtout de l'estimation des pertes de rendements des productions agricoles issues de l'écosystème et dues spécifiquement à la dégradation du milieu. Théoriquement, la diminution de la productivité est en relation avec la variation de la quantité et la qualité de la production agricole et les externalités perdues ou éventuellement gagnées par l'écosystème. La valeur du bien environnemental, qui traduit la qualité du milieu biophysique, doit être mesurée par les pertes en rentabilité économique pour les cultures et les animaux d'élevage et aussi par la diminution du bien-être engendrée par l'occupation agricole pour les populations et les effets indirects de l'agriculture sur les sols (érosion), la faune et la flore.

Dans ce contexte, le Millennium Ecosystem Assessment (MEA) propose une approche plus intégrée de la problématique de la dégradation de l'environnement en proposant une évaluation en termes de services rendus par l'écosystème qui englobe les productions agricoles, l'approvisionnement en biens naturels (bois, eaux, fourrages...), la régulation de la

biodiversité, la qualité de l'air, la santé humaine, les services culturels et touristiques rendus (MEA, 2005). Cette approche a été surtout conçue dans le cadre de la sauvegarde de la biodiversité et considère que tant que les services rendus par les écosystèmes seront considérés comme gratuits et infinis, et que leur pleine valeur (non pas monétaire, mais intrinsèque et bénéfique à la fois pour l'humanité et les autres espèces) n'aura pas été prise en compte, ceux-ci seront surexploités et affaiblis ou même détruits en relation avec une économie du marché qui considère que ce qui n'a pas un prix ou plutôt qui ne fait objet d'échange n'est pas pris en compte dans le calcul des coûts ; ceci est le cas pour un grand nombre de ressources et de services des écosystèmes touchés par les phénomènes de dégradation et de désertification (eau, air, terre, végétation naturelle, sols, faune sauvage,...).

En pratique, des enquêtes auprès des agents économiques qui bénéficient du potentiel biophysique du milieu (agriculteurs, touristes, résidents...) sont nécessaires pour estimer le prix de substitution qu'ils sont librement prêts à payer pour retrouver le même niveau de bien-être. Cette investigation permet d'évaluer le coût de la désertification en estimant la fonction de demande du bien naturel considéré dans le cadre de la discipline économique. Mais il faudra préciser que cette estimation de la fonction de demande pour l'évaluation du capital naturel n'est pas une estimation complète de la perte totale issue de la dégradation. En plus, quand la dégradation est irréversible ou quand celle-ci se traduit par une perte de richesses biophysiques propres à l'écosystème naturel (sol et espèces rares ou endémiques), tous les scénarios de remplacement sont incapables de restituer l'état initial du milieu. Les coûts de la dégradation sont alors impossibles à évaluer car aucune substitution n'est possible.

En général, si l'évaluation économique de la désertification peut se faire en considérant les coûts directs qu'elle engendre pour les agriculteurs et les éleveurs (pertes de productions agricoles, élevage, bois et fourrages naturels) sur une saison agricole moyenne du point de vue conditions de production (précipitations, températures, maladies et infestations diverses), l'estimation des coûts indirects est difficile à réaliser (envasement des barrages, pertes en sol, pertes en biodiversité, perte de la qualité paysagère, contribution au réchauffement climatique,...). En plus, au niveau des zones naturelles (forêts et parcs) l'affectation des coûts de restauration, dans le cadre du principe général de pollueur payeur, demande une grande participation collective et reste pratiquement difficile à mettre en œuvre en dehors d'une politique globale de planification régionale.

L'application des différentes méthodes d'évaluation de l'environnement au cas de la désertification conduit à l'évaluation de la diminution des services rendus par l'actif naturel suite aux activités humaines et aux effets liés aux changements climatiques. En théorie, le calcul de la variation de la valeur économique totale, c'est-à-dire sa contribution au bien-être humain, commence par la connaissance de la valeur économique de l'actif naturel utilisé. Toutefois cette démarche qui se veut être exhaustive rencontre de nombreux problèmes pratiques d'utilisation, ce qui explique le faible nombre d'études cherchant à estimer la valeur économique totale d'un écosystème (Lescuyer, 2000). Si le concept de valeur économique totale apparaît donc théoriquement robuste, en réalité il n'offre qu'une information partielle des bénéfices à prendre en compte dans la relation de l'être humain avec son environnement naturel pris dans sa globalité et sa complexité.

Plusieurs motifs sont généralement avancés pour expliquer ces difficultés :

- La difficulté d'élaboration de critères scientifiques fiables pour la quantification de la dégradation et pour évaluer son étendue en relation avec les caractéristiques propres de chaque écosystème (Warren et Agnew, 1988).

- La difficulté d'acquisition des panels de données biophysiques de base permettant la description de l'état de milieu et sa dynamique spatio-temporelle (qualité du sol, végétation, topographie, hydrologie, pluviométrie...).
- La difficulté de définir les seuils de référence de productivité des écosystèmes arides, semi-arides et subhumides (Grainger, 1992). S'il est généralement admis que la dégradation du couvert végétal est le meilleur indicateur de la dégradation des écosystèmes au niveau des zones arides, la grande variabilité climatique et les caractéristiques propres des écosystèmes arides basées sur la succession de plusieurs stades d'équilibre stable de la végétation (Yang et al., 2005) rendent difficile de définir ces seuils de référence.
- La quantification de l'actif naturel ayant subi une dégradation est souvent imputée à l'action de l'homme au niveau des zones étudiées et, à défaut d'explication plus plausibles, à l'évolution globale de l'écosystème naturel en relation avec les changements climatiques globaux ou régionaux (précipitations, température, pollution, CO<sub>2</sub>). L'imputation de la dégradation sur les deux composantes, action de l'homme et changements climatiques, reste très difficile.
- La quantification monétaire des actifs naturels reste délicate en raison de la complexité des interactions entre le milieu naturel et ses bénéficiaires et à cause du manque de connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes (valeur économique actuelle et future de l'actif naturel). L'estimation de la valeur économique totale est le résultat non pas de l'agrégation de tous les bénéfices retirés de l'écosystème, mais seulement de certaines valeurs qui ont pu être quantifiées monétairement (Lampietti et Dixon, 1995 ; Nunes et Van Den Bergh, 2001). La notion de valeur économique totale de l'écosystème correspond alors à la somme des quelques seules valeurs économiques sélectionnées selon les priorités de l'étude (parcimonie scientifique) et l'état des connaissances (état de l'art) et non de la totalité des valeurs qui le constituent. En plus, la fonction de l'espace naturel est difficile à cerner compte tenu de la complexité des usagers et des interactions qu'ils entretiennent avec le milieu (agriculteurs, éleveurs, touristes, pasteurs...) et ne prend, par ailleurs, pas en ligne de compte les échanges de services qui s'opèrent à l'intérieur de l'écosystème lui-même et leurs relations indirectes avec les prélèvements effectués (éléments nuisibles ou indésirables pour l'homme par rapport à leur intérêt réel pour l'écosystème).
- La difficulté de séparer les effets saisonniers (oscillations stationnaires) liés à l'amplitude des variations des conditions climatiques en zones arides des tendances climatiques globales relatives à la dégradation du milieu. La plupart des évaluations sont fondées sur des périodes de référence utilisant des séries de données plus au moins longues, mais ne permettent pas d'imputer la dégradation de l'environnement sur les deux composantes à savoir les fluctuations saisonnières réversibles et stationnaires et la tendance à long terme. En général, les milieux arides possèdent une grande capacité de résilience et les seuils des fluctuations réversibles qui peuvent être qualifiés comme début de désertification sont très difficiles à identifier.
- Les évaluations monétaires des coûts de la désertification se basant sur les prix de référence des productions agricoles au niveau des marchés nationaux ou internationaux sont indépendantes des coûts engendrés pour l'environnement. Ces prix peuvent passer du simple au double pour les céréales à titre d'exemple. Ces variations impliquent donc une nécessité de pondérer des coûts de dégradation à l'échelle internationale en considérant les prix appliqués pour un panier de biens de référence et les taux d'actualisation standard à retenir.

Ces difficultés pratiques ne doivent pourtant pas délégitimer le recours à l'évaluation économique de la désertification. Si l'estimation de la valeur économique totale perdue

constitue effectivement un objectif idéal, l'évaluation monétaire de certaines composantes de cette dégradation constitue tout de même une information importante pour les usagers et les pouvoirs publics à condition que les hypothèses et la démarche scientifique soient bien explicitées.

L'estimation du coût de la désertification à partir du changement de productivité, qui est la méthode la plus utilisée, implique l'acceptation d'un certain nombre d'hypothèses qui ne sont pas toujours faciles à justifier dans la réalité :

- Pas de changement et d'adaptation des processus de productions agricoles aux effets de dégradation du milieu ou à la diminution des pluies (changement technique, innovation agricole, stratégies économiques) : les coûts de production sont constants.
- Pas de changement des mécanismes d'offre et de la demande (élasticités) au niveau du marché (augmentation des prix des productions et diminution des prix des inputs...).
- La diminution de la productivité est totalement imputée à la désertification. Pas d'effet exogène pouvant influencer la productivité agricole (vagues de froids et de chaleurs, grêle, pluies intenses, infestations diverses, maladies et invasion de criquets, ...).

Le passage de la diminution des rendements agricoles à la productivité économique et sa mise en relation avec la désertification doivent être réalisés avec grande précaution pour éviter de sous-estimer ou surestimer les pertes économiques dues à la désertification. Une vérification des hypothèses du calcul de productivité est nécessaire pour pouvoir défendre les chiffres proposés. Souvent, les estimations de perte en productivités agricoles faites aux échelles nationales sont très variables d'une année à l'autre car elles ne prennent pas toujours en considération les déterminants de la diminution de la productivité en relation avec les mécanismes d'adaptation des agriculteurs, les effets régulateurs du marché et les conditions locales de production.

A part les estimations des pertes économiques révélées sur le marché réel, il existe très peu d'études appliquées à la dégradation du milieu et encore moins à la désertification. L'évaluation directe des pertes économiques sur les marchés substitués, l'évaluation contingente et les évaluations indirectes qui affectent une valeur monétaire aux pertes réelles ou fictives issues de la désertification, ne sont généralement utilisées que pour les études d'évaluation dans la foresterie, les parcs naturels, et la pêche (Richards, 2000 ; Pagiola et al., 2002 ; Khare et White, 2003) et ne sont pas encore intégrées dans le cadre des études et recherches dans le domaine de la désertification.

## **F. COÛTS DE LA DESERTIFICATION**

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement évalue le coût économique des dégâts et pertes occasionnées par la désertification dans le monde à la somme de 42,32 milliards de dollars (US \$ de 1990). Pour l'Afrique, ce coût s'élève à 476 millions de dollars pour les terres irriguées, 1,86 milliard pour les cultures pluviales et 6,97 milliards pour les pâturages, soit un total de 9,3 milliards de dollars (UNEP, 1992).

Le calcul des coûts de la désertification a été réalisé pour les trois types de terrains, différenciés en fonction des activités agricoles qu'ils supportent : les cultures irriguées, les cultures pluviales et l'élevage. Les terres hyperarides n'ont pas été considérées dans ce calcul (pas de perte de valeur économique). Aussi, l'étude ne retient pour le calcul des coûts que les niveaux de dégradation au moins modérée et suppose donc que les dégradations légères sont susceptibles d'être corrigées par l'amélioration des techniques de production au niveau local et ne nécessitent donc pas des investissements et interventions externes pour la restauration des niveaux de productivité perdus.



La perte de productivité due à la dégradation des terres est ramenée aux coûts moyens de dégradation moyennant le choix des coûts de référence et du pourcentage de productivité perdue par unité de surface pour les productions agricoles et le bétail.

Compte tenu de l'absence de chiffres sur les pertes économiques dues à la désertification par pays, les estimations des coûts de la dégradation ont été faites sur la base des données disponibles pour l'Australie et les Etats-Unis qui sont, à titre d'exemple, pour la dégradation modérée de 250\$/ha, 38\$/ha et 7\$/ha respectivement pour les terres irriguées, cultures pluviales et pâturages (UNEP, 1992).

Ainsi, les résultats des estimations obtenues montrent que les coûts de la désertification sont d'environ 11 milliards de dollars pour les terres irriguées, 8 pour les terres de cultures pluviales et 23 milliards pour les pâturages ou parcours. Le coût annuel total est donc de l'ordre de 42 milliards de dollars. Le tableau suivant donne les détails par continent.

**Tableau 1 : Coûts de désertification des terres par type et par continent (Millions US \$)**

Continent	Irriguées	Pluviales	Pâturage	Total
Afrique	476	1.857	6.966	9.299
Asie	7.953	4.657	8.313	20.923
Australie et N. Zélande	62	544	2.529	3.135
Europe	476	450	564	1.490
Amérique du Nord	1.465	441	2.878	4.784
Amérique du Sud	354	252	2.984	3.590
<b>Monde</b>	<b>10.786</b>	<b>8.191</b>	<b>23.334</b>	<b>42.311</b>

Source : UNEP, 1992

Concernant les dépenses de réhabilitation des terres, nécessaires pour contrecarrer le processus de désertification et restaurer les potentiels initiaux et les services rendus des écosystèmes en général, l'étude ne prend en ligne de compte que la restauration de la productivité agricole des terres et ne donne aucun chiffre sur les conséquences de cette restauration sur les équilibres environnementaux de la planète.

Le calcul des coûts de restauration a été fait sur la base, d'une part, des durées d'investissement en réhabilitation selon le type de terrain, qui sont de trois ans pour les terres irriguées, cinq à dix ans pour les terres de cultures pluviales (selon les niveaux de dégradation) et cinquante ans pour les pâturages et, d'autre part, en considérant les coûts de réhabilitation à l'hectare (US\$ 1990), estimés sur la base du référentiel des prix de la FAO, pour les terres irriguées et les terres de cultures pluviales, et sur les études sur les pâturages concernant les Etats-Unis et l'Australie :

- **2.000 \$/ha de terres irriguées ;**
- **400 \$/ha de culture pluviale ;**
- **40 \$/ha de pâturages.**

Sur la base des montants des investissements en réhabilitation, de l'aléa climatique et du type d'activité, le pourcentage de récupération des terres désertifiées est de 100% pour les terres irriguées, 70% des surfaces en cultures pluviales et 50% des pâturages. Ainsi, sur la surface totale de terres dégradées dans le monde, 52% sont rentables après réhabilitation du point de vue économique, soit une superficie totale de 1.860 millions d'hectares. Le tableau suivant donne les détails, par type de terre aride, des superficies économiquement réhabilitables et les coûts de réhabilitation.

Ainsi, le coût total de la réhabilitation des terres arides dégradées s'élève à 213 milliards de \$. Sur une durée d'investissement de 20 ans, l'investissement annuel moyen nécessaire est de l'ordre de 11 milliards, alors que chaque année, la désertification coûte environ 28 milliards de \$ (UNEP, 1992).

**Tableau 2 : Coûts de réhabilitation des terres par type de terres à l'échelle mondiale (Millions d'ha et millions de US \$)**

Catégorie	Surface dégradée	Surface à réhabiliter	Coût
Terres irriguées	43	43	86.200
Terres pluviales	216	151	60.360
Parcours	3.333	1.667	66.672
<b>Total</b>	<b>3.592</b>	<b>1.861</b>	<b>213.232</b>

Source : UNEP, 1992

Plusieurs critiques ont été formulées concernant les méthodes de calcul et le manque de rigueur scientifique dans l'étude dirigée par Dregne et Chou (1992), ayant fait l'objet du rapport scientifique du Programme des Nations Unies pour l'Environnement de 1992 (Tomas et Middleton, 1994 ; Pearce, 1994 ; Alexandratos, 1995 ; Jaubert, 1997). Cependant, les résultats obtenus n'en demeurent pas moins intéressants pour l'effort de quantification effectué compte tenu de l'étendue du phénomène et en absence de données plus précises à l'échelle des pays concernés (~ 110 pays) ; aussi l'étude reste un travail de référence cité par l'ensemble des intervenants dans le domaine de lutte contre la désertification, les chiffres concernant les pertes annuelles et les coûts sont repris dans la plupart des documents et travaux de recherche traitant le phénomène de désertification.

## G. CONCLUSION

Le terme désertification, malgré sa consonance politique alarmiste, résume l'ensemble des problèmes de dégradation qualitative et quantitative du milieu naturel dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches en relation avec l'activité humaine et les changements climatiques. C'est un problème d'équilibre entre le potentiel biophysique et la rentabilité économique d'autant plus complexe qu'il s'agit d'un phénomène multidimensionnel difficile à cerner dans un contexte de pauvreté humaine et de vulnérabilité des écosystèmes naturels. La désertification doit être étudiée dans un cadre transdisciplinaire qui touche aussi bien l'environnement, la climatologie, l'agronomie, l'économie et le développement.

Orienter les interventions vers la sauvegarde des équilibres standards de l'écosystème dans les zones arides n'a pas toujours produit les résultats escomptés auprès de l'ensemble des groupes d'intérêt. Dans ce sens, les études sur la désertification devraient adopter une approche écosystémique et définir les objectifs spécifiques et les impératifs du développement durable en concertation avec les populations concernées. La communauté scientifique et les responsables politiques doivent encourager l'ensemble des acteurs en relation avec la dégradation des zones arides à adopter une approche intégrée et participative du développement durable de l'écosystème dans les démarches de planification rurale aux niveaux national et régional.

L'identification et l'évaluation des services rendus par l'écosystème se sont beaucoup améliorées avec le développement des systèmes d'information, de la télédétection, des méthodes d'évaluation économique de l'environnement et d'analyse spatiale, mais restent toujours confrontées au manque de standards méthodologiques d'étude et d'évaluation intégrée de la dégradation du milieu en relation avec les besoins des populations locales et les caractéristiques biophysiques propres à chaque écosystème.

Dans ce contexte, les travaux de recherche et de développement sur la désertification doivent se focaliser sur les aspects liés à la connaissance des interactions entre le milieu naturel en tant que support et moyen de production, les niveaux de vie des populations et leur perception de la sauvegarde de l'environnement dans le cadre d'une approche participative. Sans ces connaissances, les interventions ascendantes pour la restauration et la protection de l'espace naturel et rural n'auront aucun effet significatif à long terme sur l'amélioration des conditions de production agricole, les niveaux de vie des populations locales et la sauvegarde de l'environnement.

Par ailleurs, la mise en place de modèles de gestion intégrée des ressources porte aussi sur les aspects politiques, juridiques et institutionnels en relation avec les modes de gestion des patrimoines naturels agricoles (territoires, sols et eaux) : leurs règles d'utilisation, de gestion, d'accès et d'échange en vue de permettre un meilleur équilibre entre les potentiels et les usages agricoles et ruraux.

Les mécanismes de protection tarifaire des Etats ou des groupements et d'unions économiques inter-états avec des subventions aux prix à l'amont et à l'aval des processus de production et éventuellement de consommation ont réduit les avantages comparatifs de beaucoup d'écosystèmes terrestres et ont causé, par conséquence, des surcoûts supplémentaires pour l'ensemble de la communauté avec toutes les conséquences que ceci a pu provoquer sur l'exploitation des ressources.

Dans ce sens, le combat contre la désertification ne peut être pensé qu'à travers une meilleure transparence des prix des biens échangés à l'échelle du globe sans nécessairement passer par des interventions ponctuelles au niveau de chaque écosystème. Dans un contexte international, où est apparue la notion de bien public mondial, les services rendus par l'environnement dans les régions arides du globe doivent être intégrés dans leur dimension de régulation des équilibres climatiques, biologiques et économiques à l'échelle de toute la planète.

Dans ce sens, la communauté internationale est amenée, plus que jamais, à soutenir les pays concernés par la désertification dans leurs efforts d'adaptation de leurs politiques de développement agricole et rural pour une meilleure prise en compte de la dimension environnementale dans le processus de décision.

Un engagement mondial pour ne produire localement que ce qui est le moins coûteux par rapport à l'ensemble des autres écosystèmes terrestres (vérité des coûts et des prix) ne demande certainement pas davantage d'investissements, mais permet une mise sous tension de l'ensemble du système productif mondial en vue d'éviter les surcoûts et le gaspillage (charte mondiale sur la production et l'échange des biens et produits agricoles). C'est seulement dans ce cas que l'ensemble de l'écosystème terrestre sera utilisé avec la meilleure allocation possible des ressources et sera logiquement moins vulnérable à la surexploitation et à la dégradation.



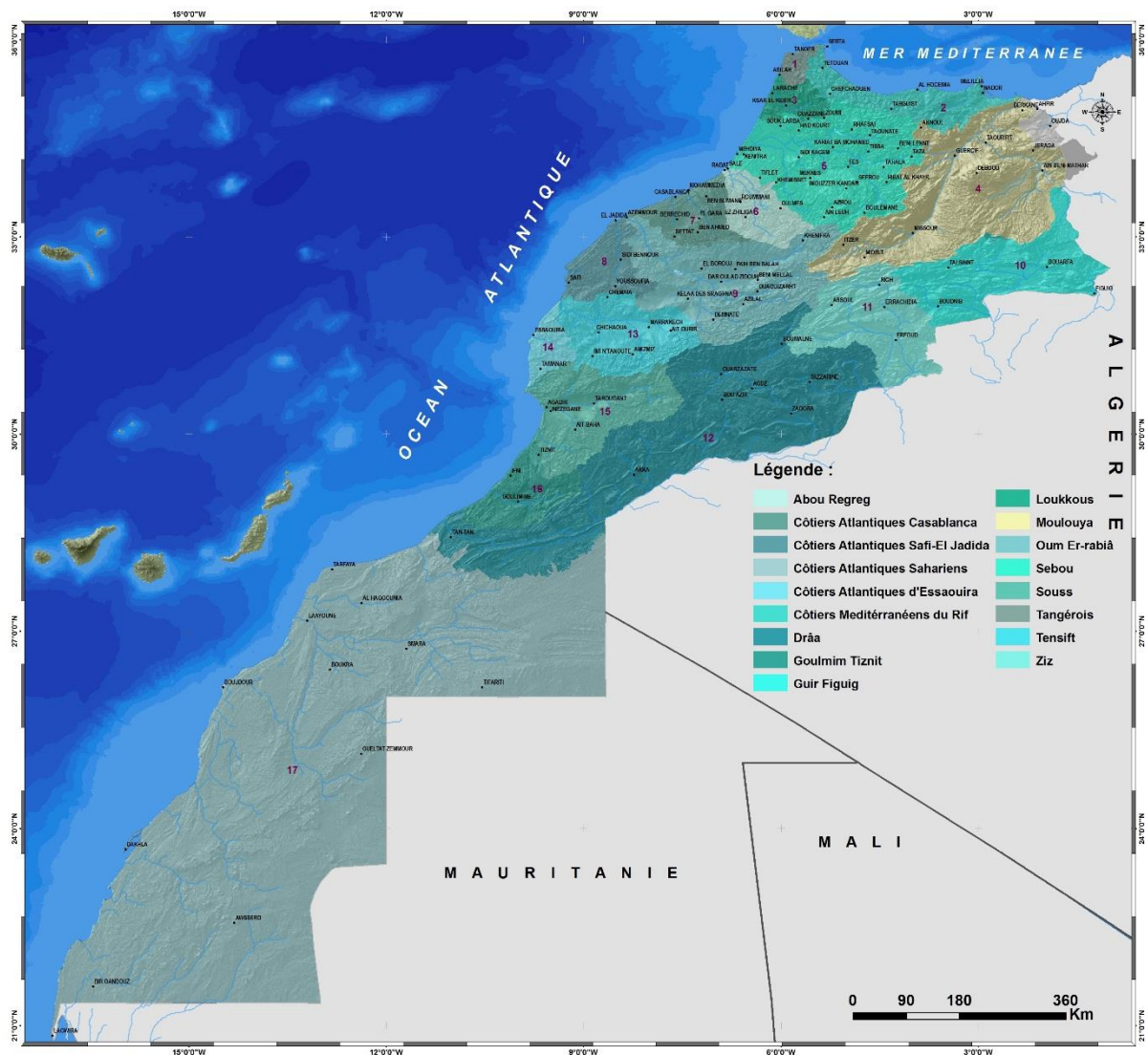
**A. PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA MOULOUYA**

**1. LOCALISATION**

Le bassin versant de la Moulouya est le plus grand bassin versant méditerranéen du Maroc et de l'Afrique du Nord après celui du Nil. Il est localisé au Nord Est du Maroc et s'étend entre les parallèles 32° 18' et 35° 9' Nord et les méridiens 1° 10' et 5° 40' Ouest. Il comprend les versants Est du Rif et du Moyen Atlas, le versant Nord-Est du Haut Atlas et une grande partie des Hauts Plateaux. S'étendant du Pic du Mont Ayachi jusqu'à la mer Méditerranée, il compte un cours principal, le fleuve de la Moulouya et trois principaux affluents qui sont Oued Za, Melloulou et Msoun.

En drainant presque l'ensemble des régions orientales du Maroc avant d'atteindre son embouchure méditerranéenne, le bassin de la Moulouya implique une énorme superficie de l'ordre de 54.864,37 km<sup>2</sup>. Sa forme allongée du Sud au Nord et légèrement inclinée vers l'Est lui assure une ouverture bienfaisante sur les influences humides méditerranéennes, mais l'expose également aux vents chauds et secs du Sud.

En outre, la disposition en losange étiré du Sud-Ouest au Nord-Est du bassin crée une séparation claire avec le Maroc Atlantique à cause de la dorsale montagneuse du Rif et de l'Atlas qui fait écran aux influences humides océaniques et contribue à accentuer son aridité et sa continentalité.



**Figure 9 : Situation géographique du Bassin versant de la Moulouya**  
 Source : Direction Générale de l'Hydrologie + nos traitements

Le BV de la Moulouya est limité au Nord-Ouest par les bassins côtiers méditerranéens, à l'Ouest par les bassins de Sebou et d'Oum Rbia et au Sud par les bassins de Ziz et de Guir, alors qu'à l'est, il se prolonge dans le territoire algérien.

Du point de vue localisation, le BV de la Moulouya est situé principalement en territoire marocain avec plus de 95% de superficie soit, 52.797,73 km<sup>2</sup>, le reste étant localisé en territoire algérien et représenté par une partie du sous-bassin versant d'Oued El Oglat.

## 2. GEOMORPHOLOGIE

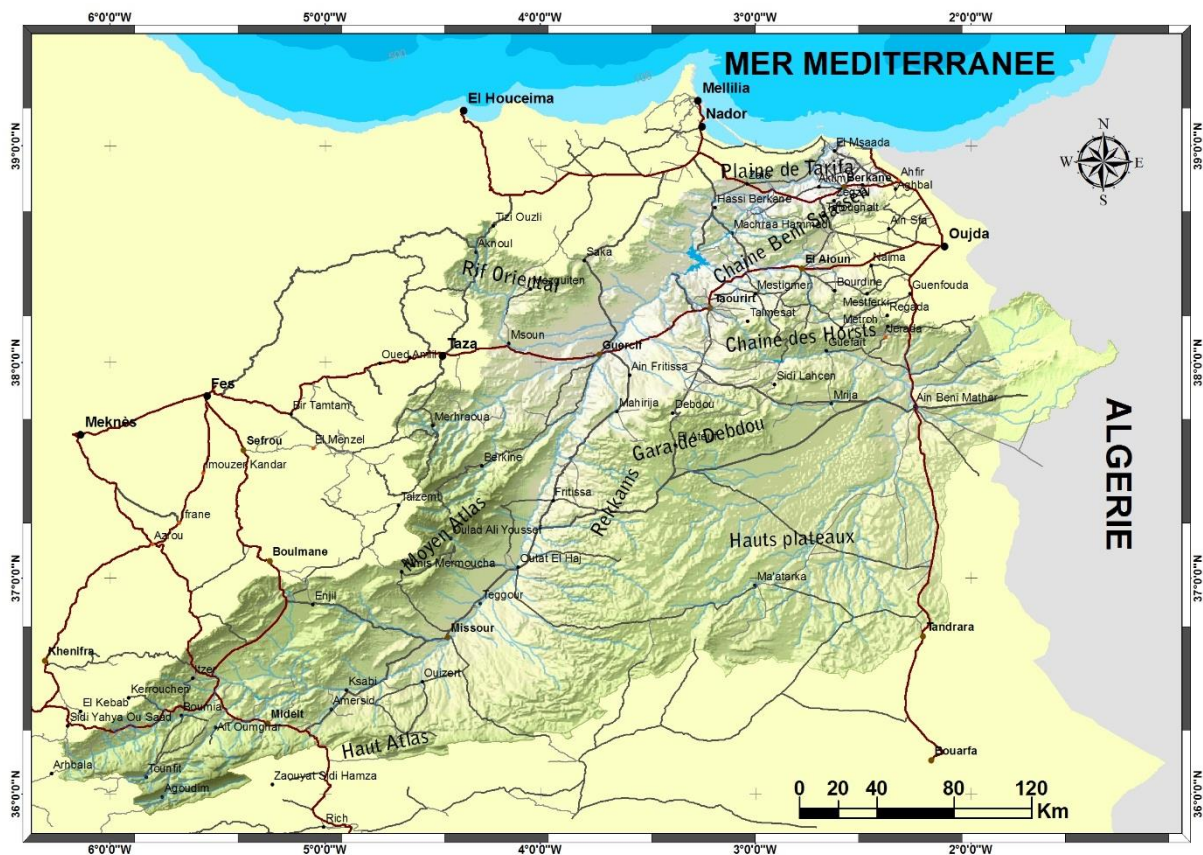
L'identification des limites des différentes unités géomorphologiques a permis de délimiter cinq grandes zones géomorphologiques à savoir :

- La Basse Moulouya ;
- La Moulouya occidentale ;
- Les Hauts Plateaux ;
- La Moyenne Moulouya ;
- La Haute Moulouya.

La Haute Moulouya est caractérisée par les massifs montagneux du Haut et Moyen Atlas qui s'étalent entre les altitudes allant de 1.250 au niveau du Barrage Hassan II aux environs de Midelt à 3.757 m au niveau du mont Ayachi dans le Haut Atlas.

La moyenne Moulouya, quant à elle, se présente sous forme d'une cuvette en pente quasi-régulière dirigée Nord-Est avec une superficie de l'ordre de 14.500 km<sup>2</sup>.

Le bassin versant de La Moulouya est essentiellement en forme de Hauts Plateaux tabulaires avec environ 19.600 km<sup>2</sup>, soit plus de 35% de la superficie totale du bassin. Ces Hauts Plateaux dominent le sous-bassin versant d'Oued Za et sont essentiellement des régions steppiques de moyenne altitude, soit 1.200 m en moyenne.

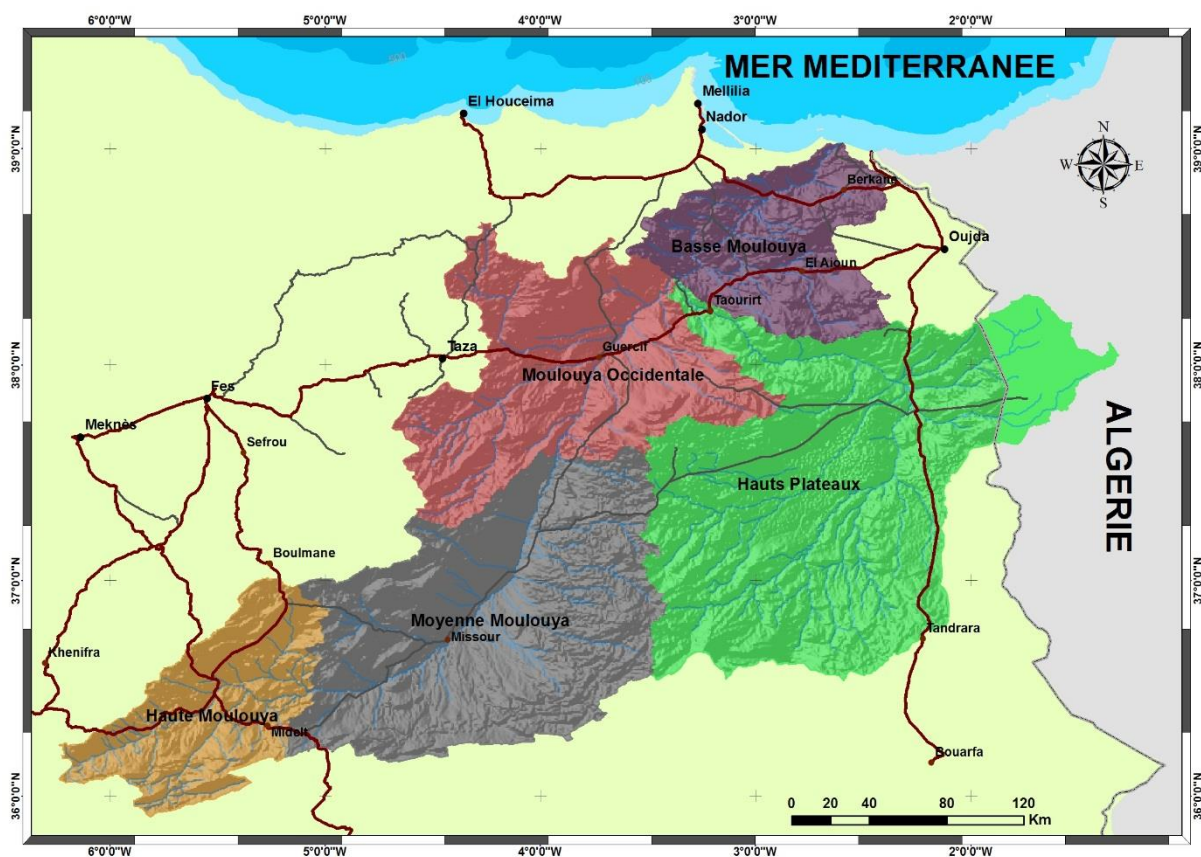


**Figure 10 : Carte de morphologie générale du BV de la Moulouya**  
 Source : Divers cartes topographiques du Maroc

La Moulouya Occidentale est constituée essentiellement par les sous-bassins des Oueds de Melloulou et de Msoun en plus de quelques petits affluents situés sur la rive Est. La surface totale de la Moulouya Occidentale est de l'ordre de 10.000 km<sup>2</sup>.

La Basse Moulouya est composée essentiellement de la chaîne de Béni Snassen et des plaines méditerranéennes avec une superficie de l'ordre de 5.400 km<sup>2</sup>.





**Figure 11 : Zonage naturel du bassin versant de la Moulouya**  
 Source : STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008 + nos traitements

### 3. DECOUPAGE ADMINISTRATIF

Sur le plan administratif le bassin versant de la Moulouya est rattaché à quatre grandes régions du Maroc, à savoir la région de l’Oriental qui couvre plus de 50% de la superficie du BV, suivie de la région de Fès-Boulmane (Centre-Nord) avec 39% et de la Région de Meknès-Tafilalet (Centre-Sud) localisée au niveau des zones de la Haute Moulouya avec presque 11% de superficie. La région du Centre, quant à elle, n’occupe que moins de 0,5% de la superficie du bassin et est localisée au niveau de l’extrême Sud-Ouest du Bassin.

**Tableau 3 : Répartition du BV de la Moulouya entre les régions**

Région	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Centre	81,69	0,15
Centre Nord	20.386,92	38,61
Centre Sud	5.605,23	10,62
Oriental	26.723,89	50,62
<b>Total</b>	<b>52 797,73</b>	<b>100</b>

Source : Découpage régional, 1997 + nos calculs

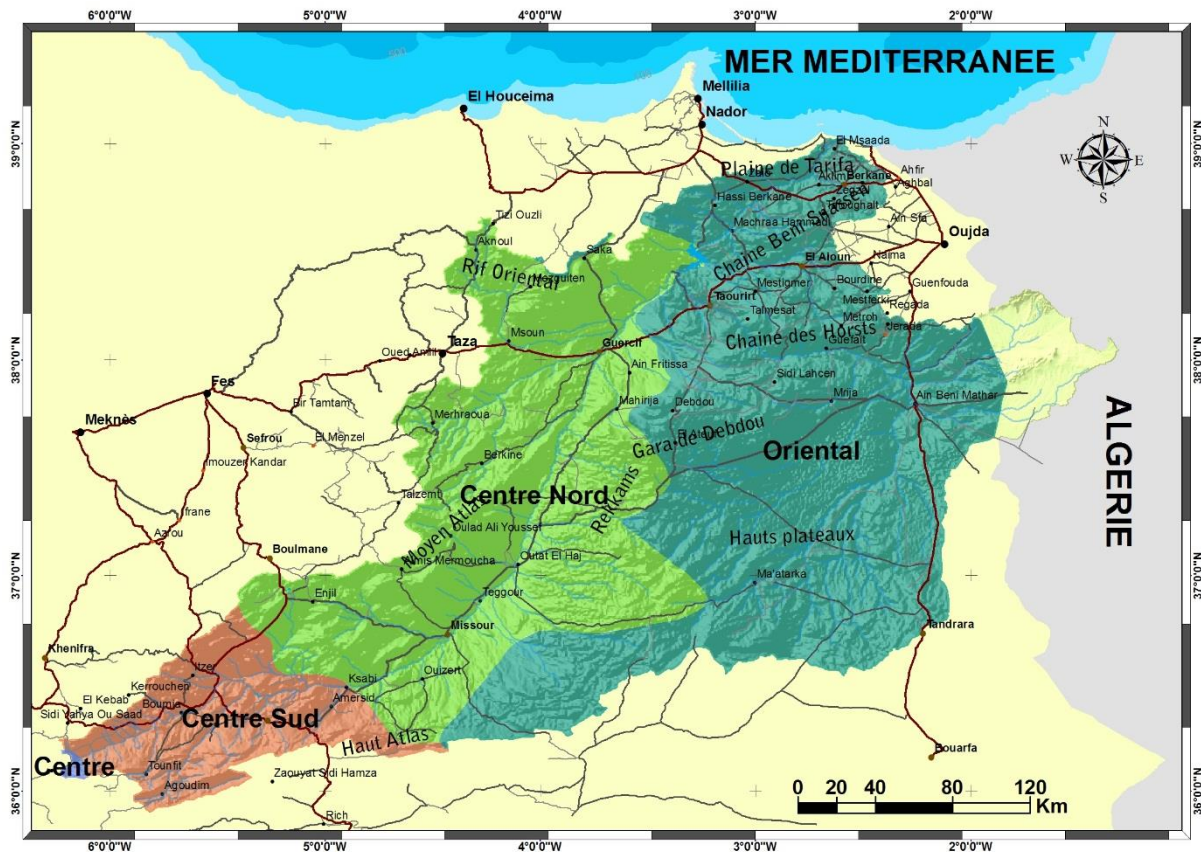
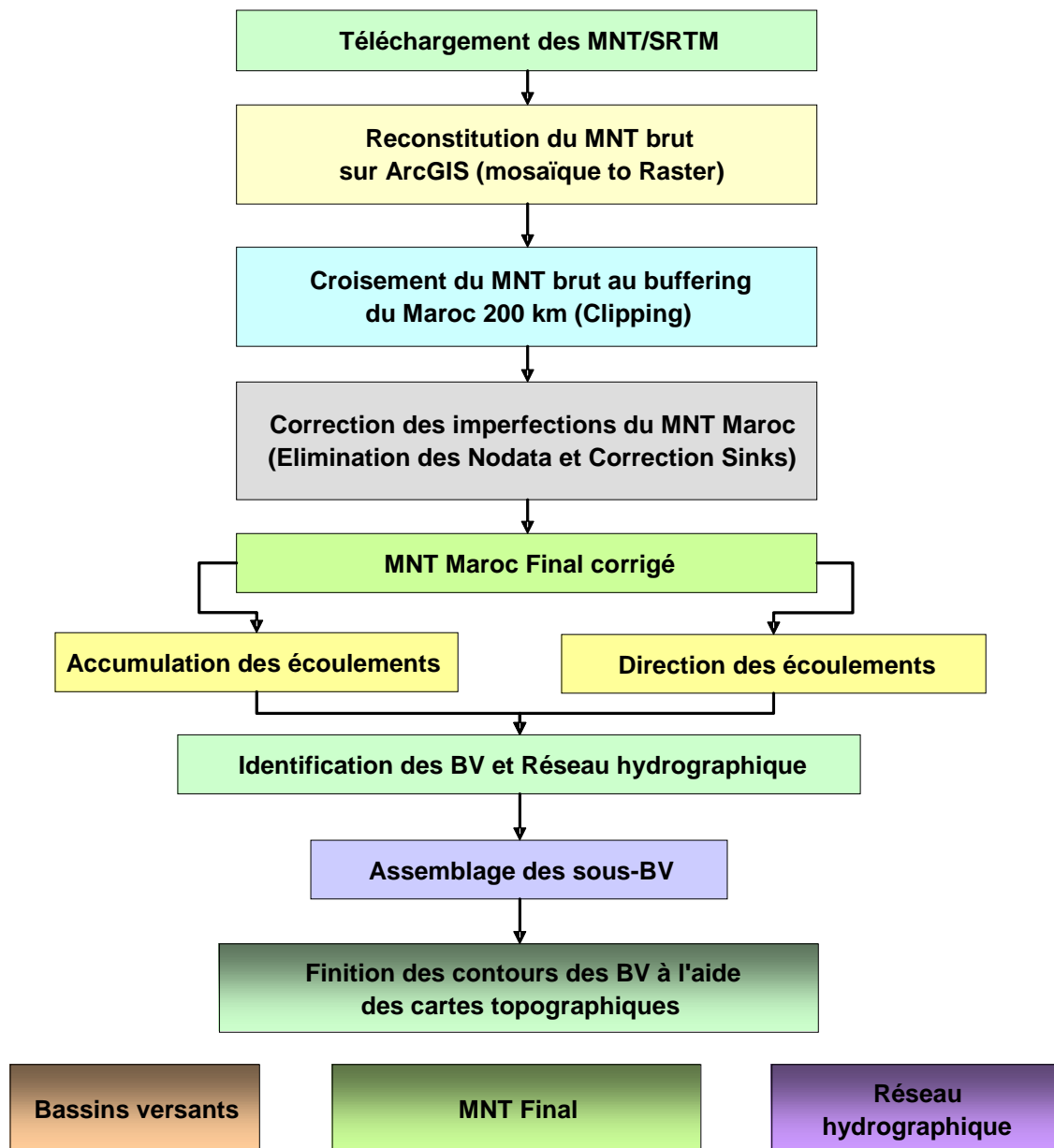


Figure 12 : Découpage administratif du BV de la Moulouya

Source : Découpage régional, 1997

#### 4. TOPOGRAPHIE

Les données relatives à la topographie du BV ont été préparées à partir du modèle numérique de terrain SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Ces données sont à l'origine produites par la NASA avec une résolution de 90 m pour l'ensemble du globe (Jarvis et al., 2008). Elles ont été téléchargées à partir du géoportail du Consortium pour l'information spatiale (CGIAR-CSI) (Version 4.1) puis prétraitées selon la procédure suivante :

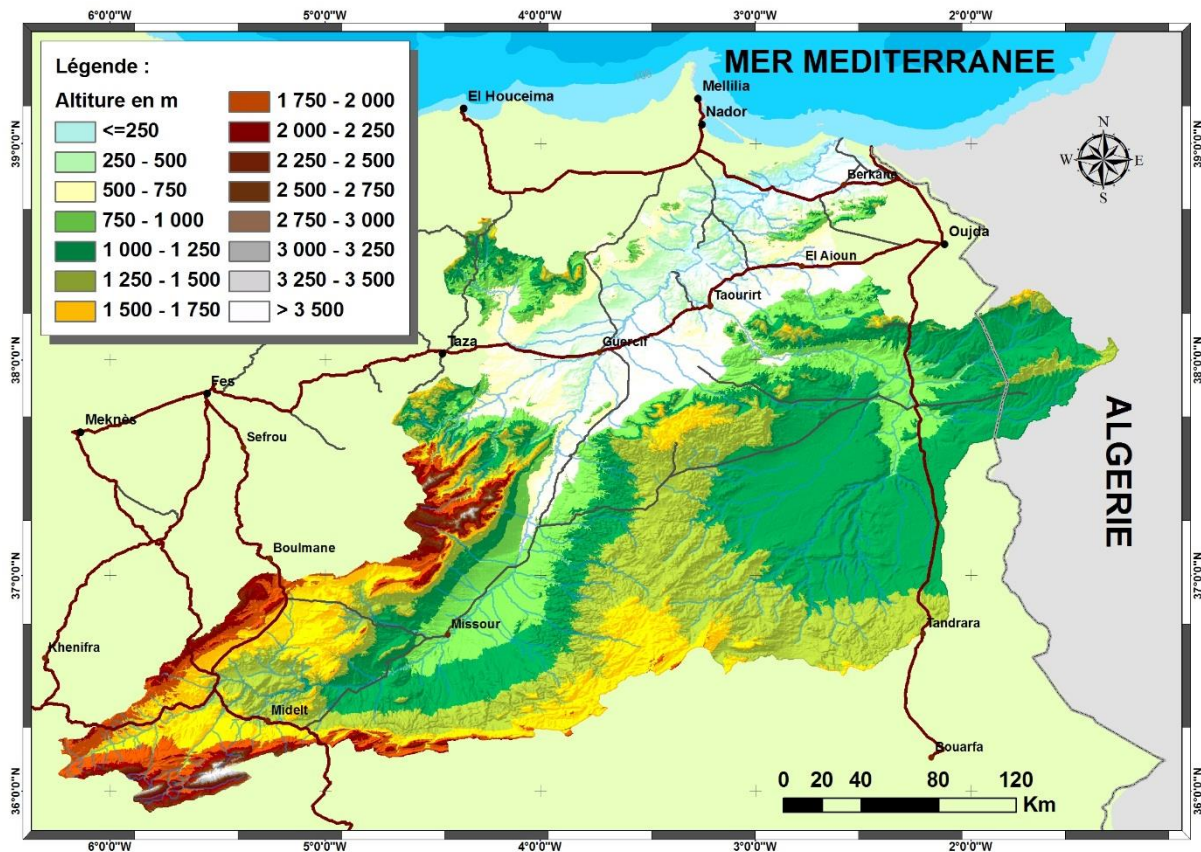


**Figure 13 : Algorithme d'extraction du MNT du BV de la Moulouya**

Du point de vue de la topographie, la rivière de la Moulouya longe la cuvette du BV versant en pente presque régulière dirigée vers le Nord-Est avec un gradient d'altitude de l'ordre de 4 m par kilomètre.

La topographie du BV est surtout caractérisée par les effets des montagnes Atlasiques du Sud et du Nord-Ouest qui se prolongent en forme de V du Sud vers le Nord pour former un égouttoir ouvert vers l'Est pour contenir une bonne partie des Hauts Plateaux de l'Oriental. En général, au niveau du BV de la Moulouya les altitudes varient de 0 à 3.727 m et l'altitude moyenne est de 140 m.





**Figure 14 : Carte hypsométrique du BV de la Moulouya**

Source : STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008

## 5. GEOLOGIE

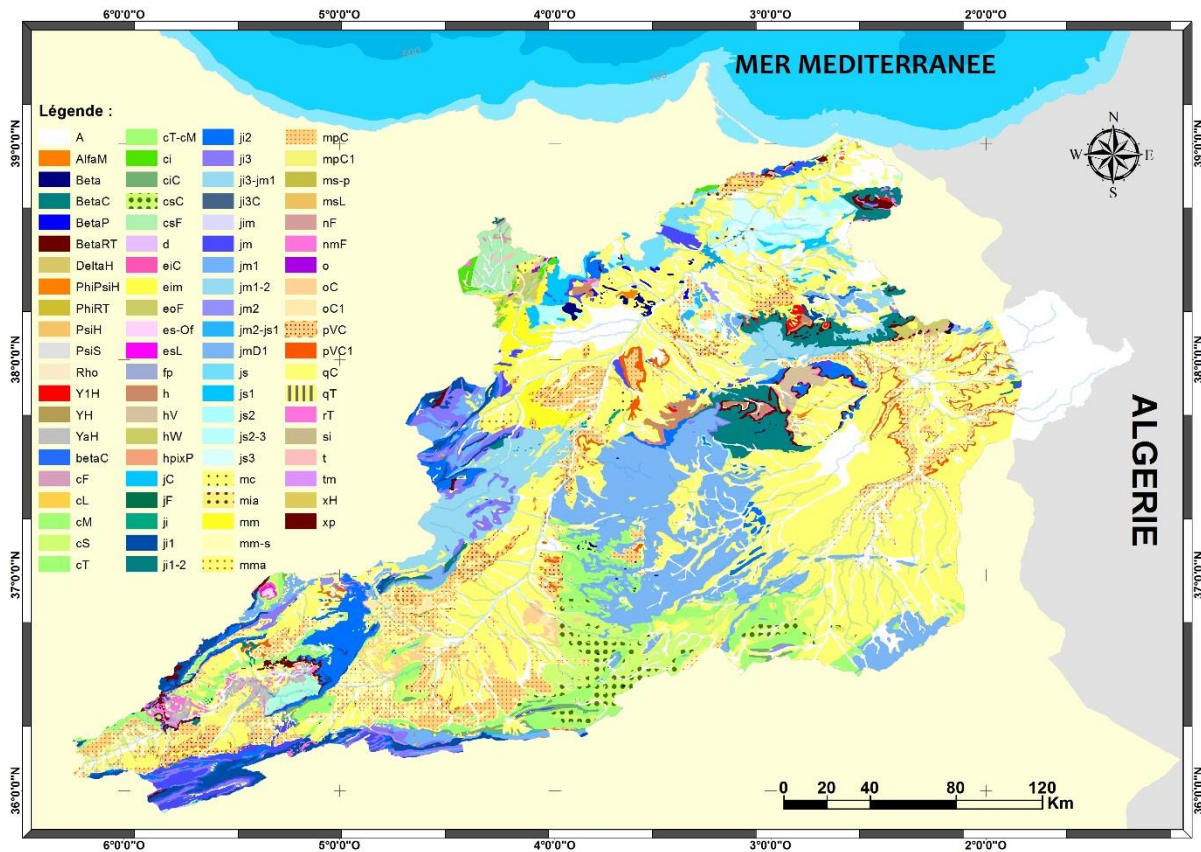
Les cartes géologiques au 1/500.000 couvrant l'ensemble du BV de la Moulouya (feuilles d'Oujda et de Rabat) ont été utilisées pour extraire les différentes formations géologiques. Ces deux cartes ont été d'abord scannées, puis géo-référencées et mosaïquées. Les formations géologiques ont été alors vectorisées puis reclassées en fonction de leur lithologie (figure 15).

L'annexe 1 donne une description détaillée des légendes extraites des feuilles géologiques d'Oujda et de Rabat.

La diversité lithologique du bassin versant de la Moulouya, associée aux conditions de pédogenèse dans les zones montagneuses a engendré une grande diversité de sols. En effet, ces zones sont en partie érodées et transportées vers la plaine pour former des dépôts superficiels de composition hétérogène.

Dans l'ensemble, la vallée de la Moulouya traverse des terrains paléozoïques, permotriasiques et des terrains relativement récents, soit du Miocène continental, soit des alluvions quaternaires.

Les régions collinaires du Nord-Est faisant partie du sous-bassin de l'Oued Za sont occupées par des couvertures périglaciaires généralisées reposant sur des roches dolomitiques du jurassique et créacé. Ces revêtements sont un mélange de débris terrigènes formant un milieu très aéré favorable à l'Alfa.



**Figure 15 : Carte géologique du BV de la Moulouya**  
 Source : Cartes géologiques 1/500.000 de Rabat et de Oujda

Le tableau 4 montre l'importance des différentes formations géologiques au niveau de la zone d'étude. Ainsi, on note que les formations géologiques du bassin versant de la Moulouya sont très diversifiées avec des âges s'étendant du paléozoïque au quaternaire.

### 5.1. Les schistes et granites du paléozoïque

Le Paléozoïque est représenté principalement par des schistes et des granites, il occupe 1,71% de la superficie totale du bassin versant de la Moulouya et affleure dans la Haute Moulouya sous forme de granite formant les massifs primaires de Boumia et d'Aouli et sous forme de schistes.

Dans la chaîne des Horsts, les schistes sont intercalés localement par des couches de charbon exploitées au niveau de la mine de Jerada. Au nord des Hauts Plateaux, le paléozoïque n'est représenté que par des schistes. Ces formations affleurent, aussi, sous forme de strates dispersées, au niveau de la plaine de Guercif.

### 5.2. Les marnes, basaltes et argiles du trias

Le trias occupe environ 3,89% de la superficie du bassin versant. Il affleure en discordance sur les massifs primaires de la Haute Moulouya et très altérés dans la chaîne des Horsts et les Hauts Plateaux. Tandis qu'au niveau du bassin de Guercif, il est composé, en général, par des argiles rouges salifères.



### **5.3. Les formations carbonatées du jurassique**

Ces formations carbonatées sont omniprésentes dans le paysage de la Moulouya, elles couvrent 23% de sa superficie totale. Elles sont constituées par des calcaires, des dolomies, des calcaires dolomitiques et parfois par des calcaires marneux. On les rencontre sur les bordures du Haut Atlas et du Moyen Atlas, dans la partie Est et Ouest des Hauts Plateaux. Elles forment presque entièrement les chaînes des Béni Snassen, des Béni Bouyachi et la chaîne des Horsts. Ces formations carbonatées affleurent presque toujours sous forme de massifs disloqués en blocs et en brèches karstiques (Laouina, 1990).

### **5.4. Les marnes et calcaires du crétacé**

Ces formations du crétacé affleurent, en général, dans la Haute Moulouya, le long du Haut Atlas, entre le massif d'Aouli et le Haut Atlas et à l'Est de Midelt où elles se présentent sous forme de marnes, grès rouges et calcaires blancs. Ces formations affleurent aussi dans la partie occidentale des Rekkam avec des marnes à la base et des calcaires au sommet. Le Crétacé représente environ 7,4% de la superficie du bassin.

### **5.5. Les conglomérats, grès et calcaires du crétacé**

Les formations tertiaires occupent 14% de la superficie du bassin versant. Elles affleurent au niveau de la Moyenne Moulouya avec des marnes jaunes très gypsifères et gréseuses, au niveau du Sud et du Sud-Ouest de la plaine du Guercif avec des grès, conglomérats et marnes. Par contre dans les Hauts Plateaux, le Tertiaire est représenté en grande partie par des argillites plus ou moins sableuses, des sables, des grès et des calcaires lacustres. Au niveau du Rif oriental, le Tertiaire est constitué essentiellement par des marnes et des schistes.

### **5.6. Les formations du quaternaire**

Les formations quaternaires sont surtout constituées par des éboulis, des conglomérats, des argiles rouges, des limons, des encroûtements calcaires ou par des coulées basaltiques.

Les formations quaternaires occupent une grande superficie du bassin versant de la Moulouya, environ 53,9%, soit sous forme de terrasses alluviales le long de l'oued Moulouya et de ses principaux affluents, soit sous forme de cônes de déjection au pied du Haut Atlas, du Moyen Atlas et aux pieds des autres chaînes de montagnes ou tout simplement sous forme de vastes étendues à faible pente essentiellement au niveau des Hauts Plateaux.

**Tableau 4 : Importance des formations géologiques du BV de la Moulouya**

<b>Lithologie</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Regs et dépôts encroutés	16.595	31,43
Grés-argile marin	6.257	11,85
Terrasses limoneuses	5.815	11,01
Conglomérats et cailloutis	5.696	10,79
Calcaires	5.288	10,02
Dolomies	4.601	8,71
Marne et gypse	2.925	5,54
Marno-calcaire	1.585	3,00
Marnes	1.166	2,21
Calcaire lacustre	777	1,47
Schistes	596	1,13
Basaltes	513	0,97
Argiles	321	0,61
Granites	309	0,58
Roches métamorphiques	185	0,35
Argiles et gypses	53	0,10
Cendres	39	0,07
Calcaires et dolomies	30	0,06
Trachytes	20	0,04
Sable	13	0,02
Travertin	7	0,01
Syénites	4	0,01
Rhyolites	2	0,00
<b>Total</b>	<b>52.797</b>	<b>100,00</b>

Source : Cartes géologiques 1/500.000 de Rabat et d'Oujda

Concernant la région de l'étude, et considérant la topographie de la région et son isolement, les apports allochtones, mis à part les apports quaternaires en aval, sont très limités aux bas-fonds des rivières et sont en général des dépôts très récents issus de l'érosion en amont des formations dolomitiques et calcaires.

## **6. CLIMAT**

Le climat est l'un des principaux facteurs influençant la dégradation des sols et la végétation ; sa qualité est évaluée en employant les paramètres qui influencent la disponibilité de l'eau que sont les précipitations et l'aridité.

La spatialisation des données climatiques est nécessaire pour décrire la qualité du climat. Pour cela et dans le but d'éviter l'utilisation des méthodes d'interpolation spatiale et de régression statistique demandant beaucoup de données climatiques pour un maximum de stations météorologiques, nous avons opté pour l'utilisation des données spatialisées issues de la base de données climatiques mondiale (WorldClim, version 1.4) moyennée sur la période 1950-2000, libre d'accès, disponible pour l'ensemble du globe et utilisée à très grande échelle par la communauté scientifique.

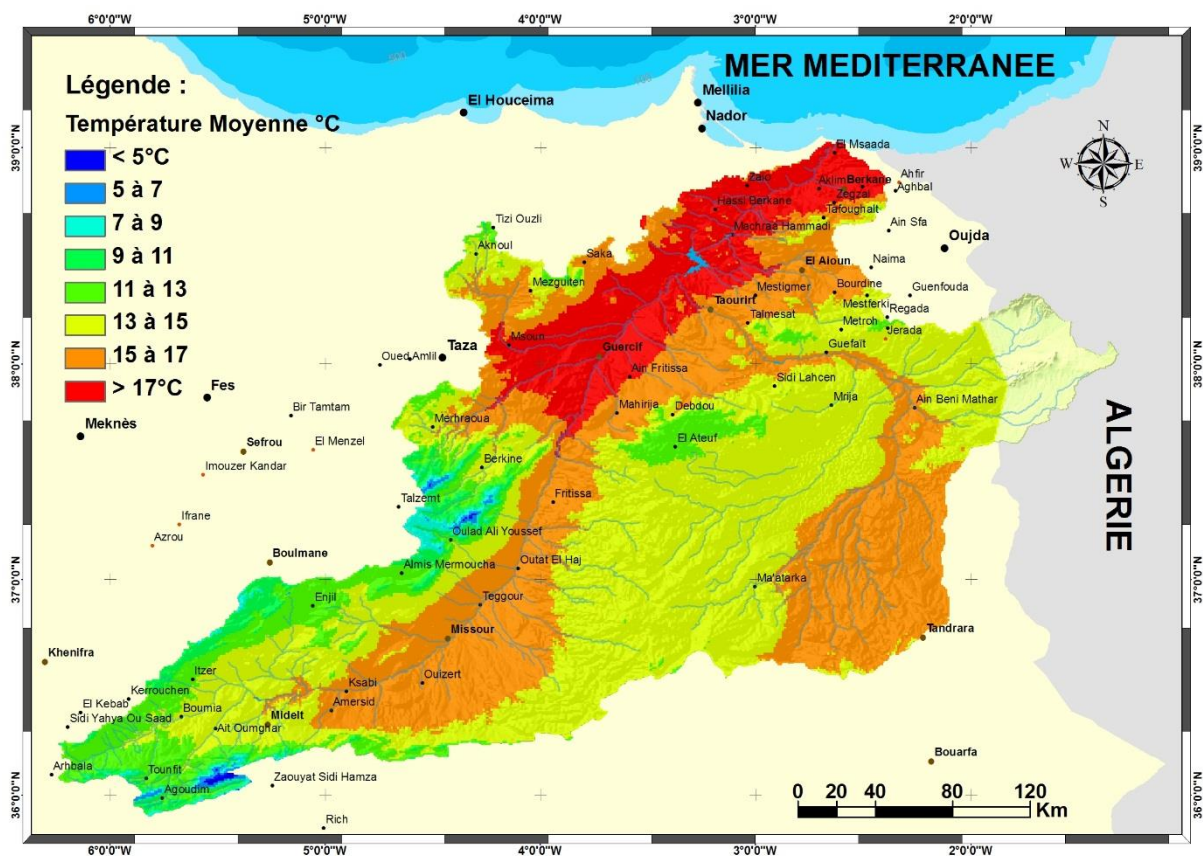
### **6.1. Les températures**

Les températures moyennes annuelles varient de 3 °C sur les montagnes du Moyen Atlas à l'Ouest et les crêtes du Haut Atlas au Sud-Ouest à plus de 17 °C au niveau de la vallée de la Basse Moulouya jusqu'aux hauteurs de la vallée de Missouri. L'analyse de la variabilité

spatiale des températures moyennes dans la zone montre l'effet des courants méditerranéens et de la barrière montagneuse du Rif et des chaînes de montagnes de Béni Snassen et des horsts sur les variations thermiques du bassin versant. On note ainsi que les régions les plus chaudes en moyenne se concentrent au niveau de la côte méditerranéenne et se prolongent le long de la vallée de la Moulouya jusqu'au versant nord du Moyen Atlas et des Horsts.

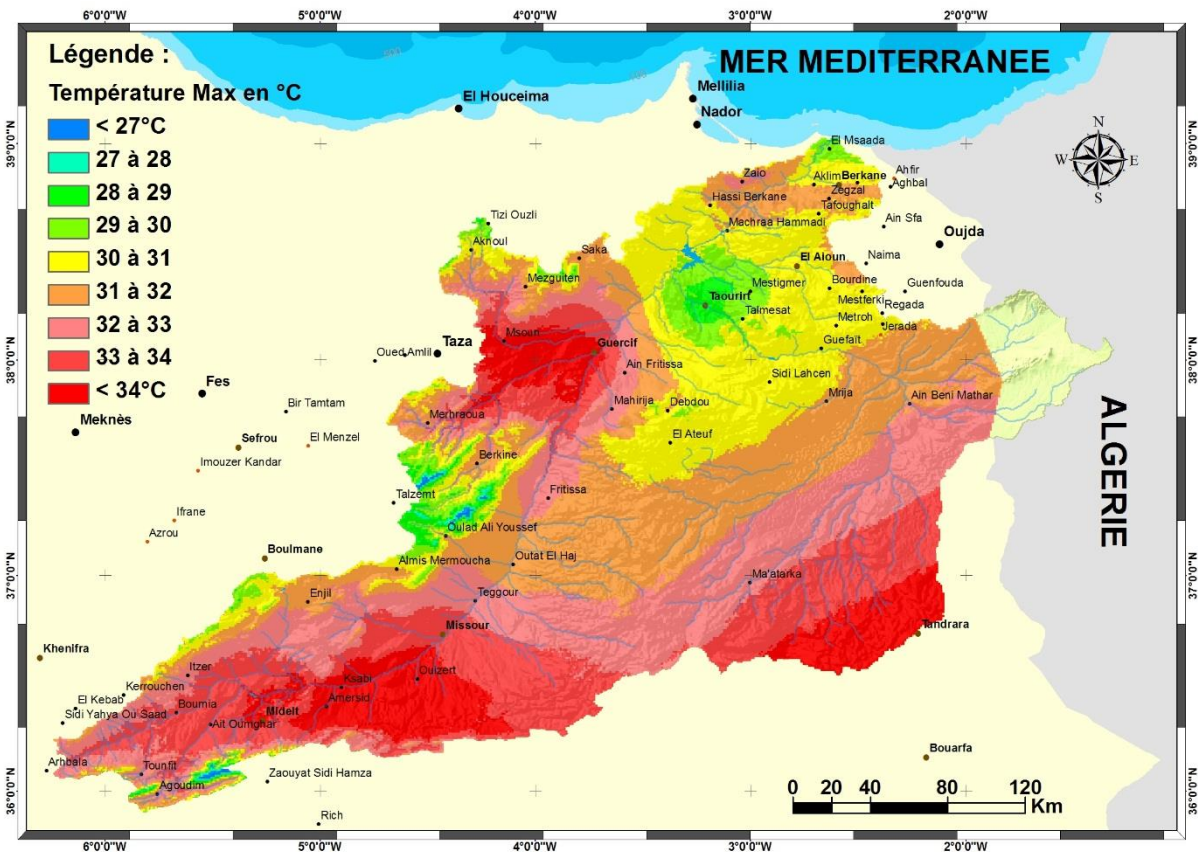
La température annuelle maximale pour la période 1950-2000 montre que celle-ci varie de 25,7 à 37,1 °C (juillet). Les températures maximales les moins élevées sont situées au niveau des hautes altitudes du Moyen et du Haut Atlas, alors que les plus hautes sont concentrées au sud de la vallée de Missour, dans l'extrême Sud-Est (région de Tandrara) et au niveau du couloir de Taza Guercif.

Concernant la température annuelle minimale (janvier) elle peut descendre jusqu'à -13 °C sur les crêtes montagneuses de l'Ouest et du Sud et ne dépasse pas 6 °C sur la côte.



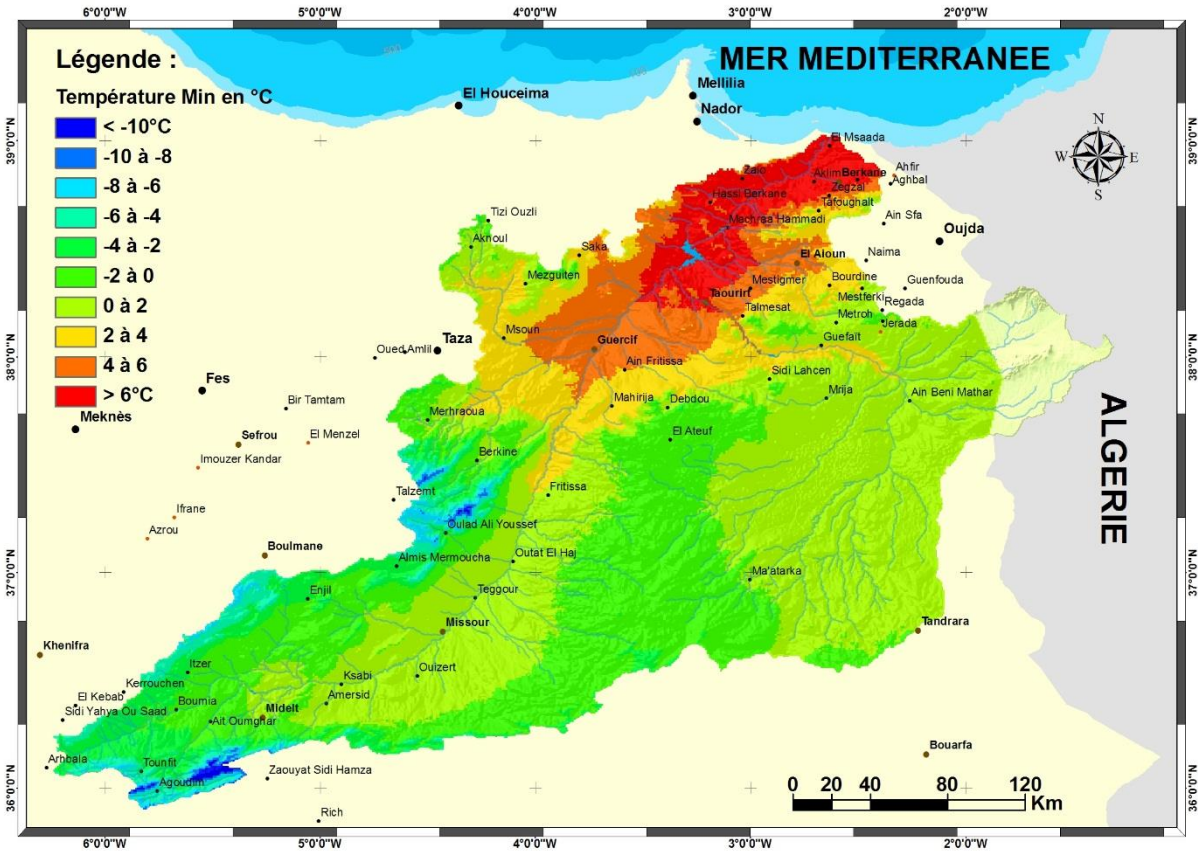
**Figure 16 : Température moyenne du BV de la Moulouya**  
 Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005





**Figure 17 : Température maximale du BV de la Moulouya**

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005



**Figure 18 : Température minimale du BV de la Moulouya**

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005

On note que les cartes de la température moyenne et minimale sont relativement mieux corrélées, (coefficient de corrélation linéaire pixel à pixel = 0,94) alors que la carte de la température maximale est plus spécifique (coefficient de corrélation linéaire pixel à pixel < 0,28) et présente un gradient Nord-Sud plus prononcé ce qui explique l'effet des vents chauds et secs venant du Sud (Chergui) et leur impact sur les températures estivales.

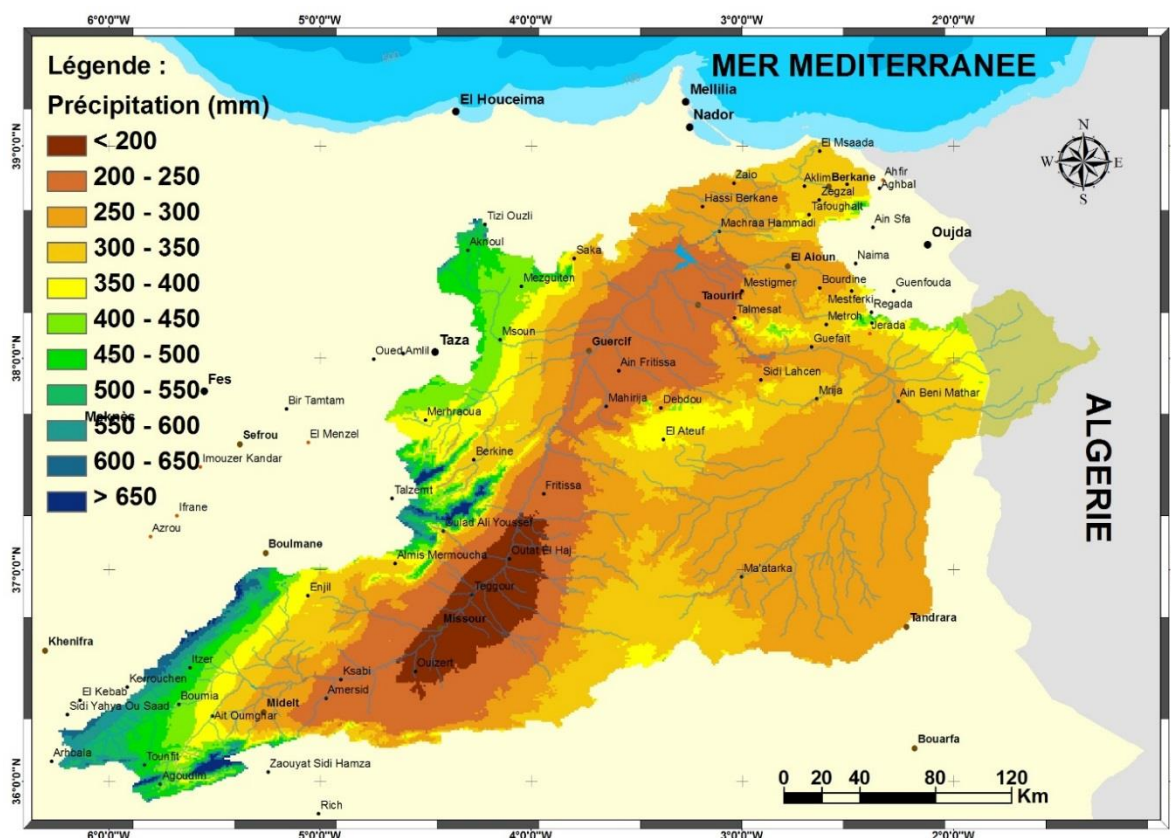
## 6.2. Les précipitations

La pluviométrie présente une grande variabilité spatio-temporelle. La couche d'information relative à la moyenne des précipitations annuelles sur la période 1950-2000 pour le bassin versant de la Moulouya a été extraite à partir de la base de données WorldClim (~ 1 km de résolution). Les résultats obtenus montrent que la moyenne des précipitations au niveau du bassin versant est de 308 mm. Elle varie globalement de 164 mm à 851 mm. Les valeurs les plus basses sont enregistrées au niveau de la vallée de Missour et les valeurs les plus élevées sont localisées au niveau des crêtes de la Chaîne de Bouiblane pour le Moyen Atlas et autour du Mont Ayachi dans le Haut Atlas.

La répartition spatiale des pluies montre que presque 60% du territoire reçoit moins de 300 mm annuellement, alors que les régions où il pleut plus de 600 mm ne dépassent pas les 1,1%.

Pluie	< 200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	> 800
% Surface	4,16	54,18	28,97	8,18	3,42	0,91	0,15	0,04

Si on se limite seulement à la moyenne Moulouya où les précipitations sont les plus basses et on compare Missour à Outat Lhaj, la diminution des précipitations moyennes est de l'ordre de 50 mm, soit un gradient de 30% sur une distance de 42 km à vol d'oiseau ce qui donne plus de 1 mm de diminution par kilomètre ou 0,5 mm par mètre d'altitude (altitude Missour 880 m et Outat Lhaj 780 m).

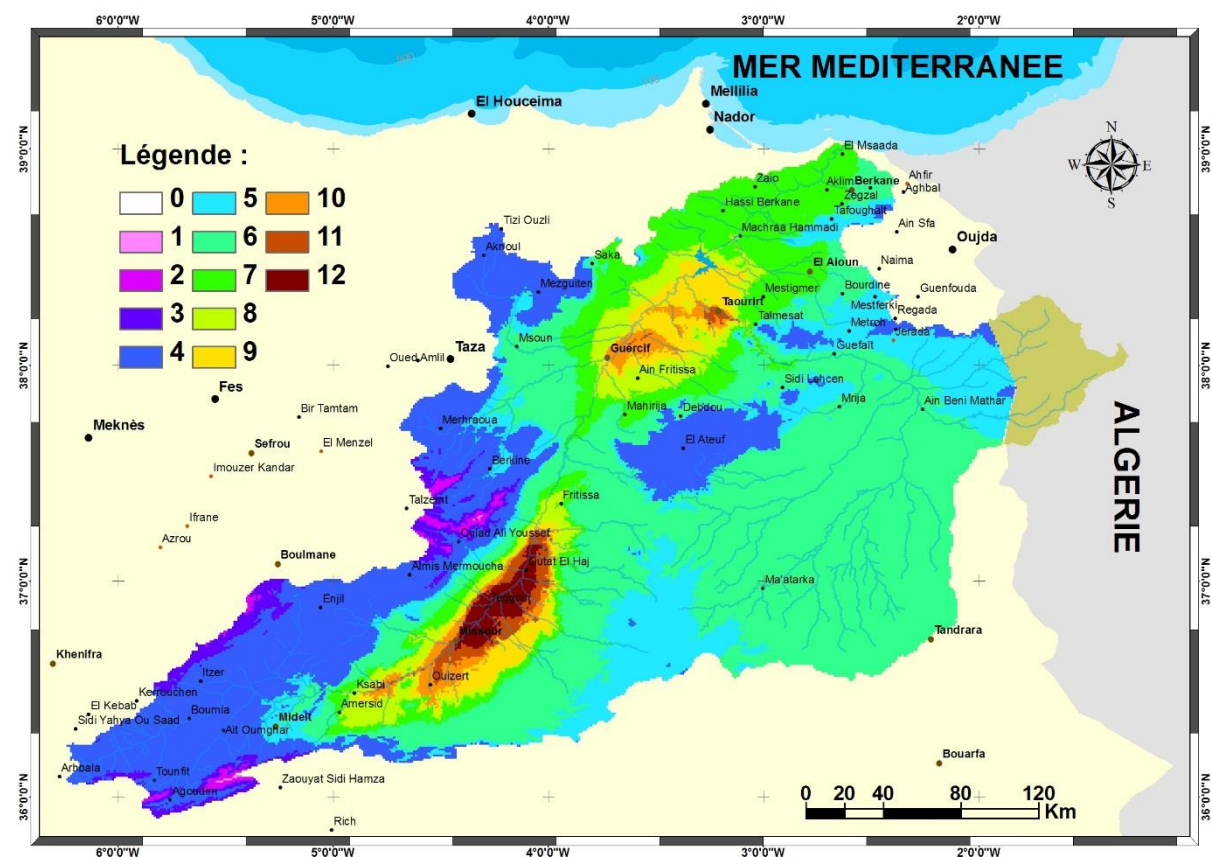


**Figure 19 : Répartition des précipitations moyennes BV de la Moulouya**  
Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005



La carte ci-dessus issue du traitement des données WorldClim (1950-2000) montre que la vallée de Missouri de Ouizert à Outat Lhaj est la zone la plus sèche de tout le BV de la Moulouya avec des précipitations ne dépassant pas les 200 mm, alors que les zones les plus arrosées sont situées en montage avec un gradient très significatif parallèle à la dorsale montagneuse de l'Atlas dirigée Nord-Est - Sud-Ouest.

L'analyse du nombre de mois secs ( $P < 2T$ ) permet de classer la zone en différentes classes en fonction de la valeur des précipitations mensuelles par rapport à la valeur moyenne des températures. Ainsi, au niveau de la vallée de Missouri, on distingue nettement que le nombre de mois secs est pratiquement de 12, alors qu'en montagne le nombre de mois secs est toujours inférieur à 4.



**Figure 20 : Nombre de mois secs du BV de la Moulouya**  
Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos traitements

### 6.3. Etages bioclimatiques

Selon Emberger (1955) et pour un même modèle de précipitations, la stratification de la végétation est surtout liée à l'amplitude thermique entre la moyenne des minimas du mois le plus froid et la moyenne des maximas du mois le plus chaud. Ainsi, la notion de l'amplitude thermique selon Emberger, mesure la moyenne des maximas du mois le plus chaud ( $M$ ) moins la moyenne des minimas du mois le plus froid ( $m$ ) et est mesurée par  $(M + m) / 2$ .

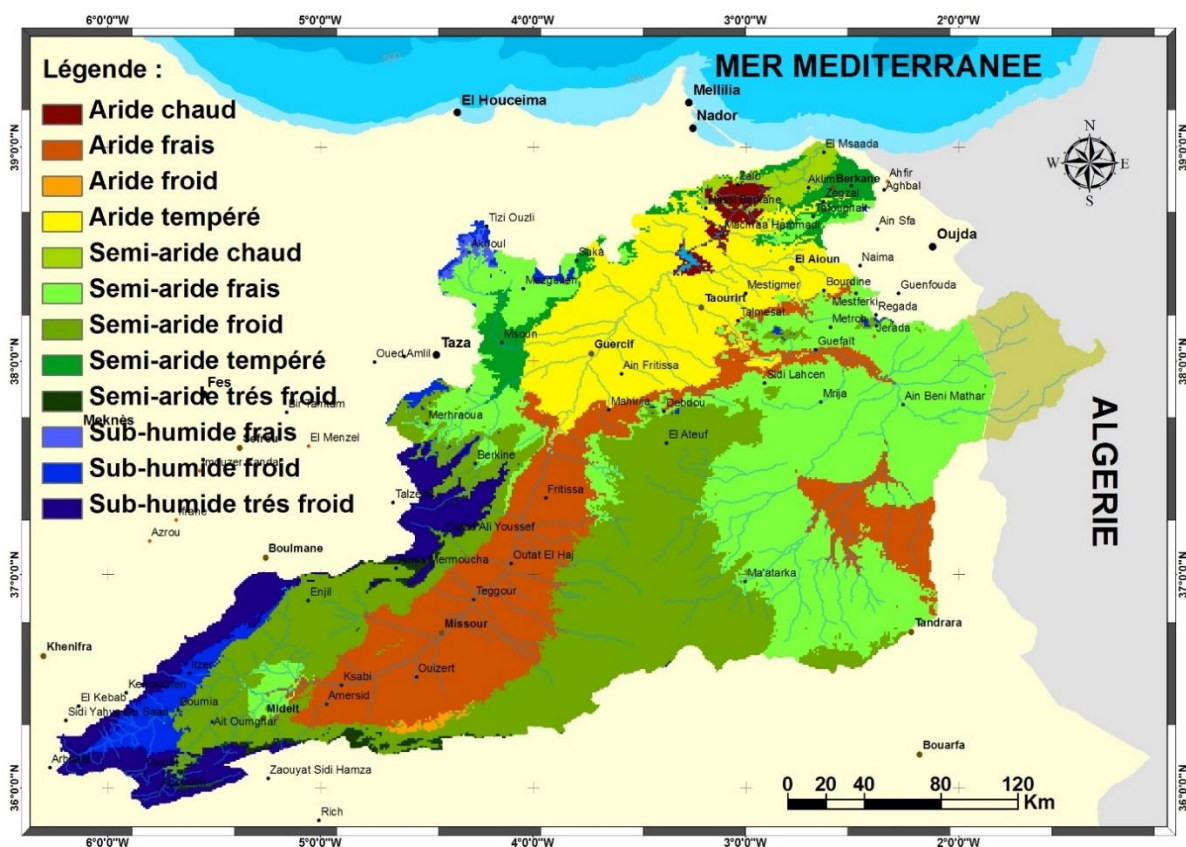
Cependant, cette valeur ne tient pas compte de l'amplitude des variations des températures entre  $m$  et  $M$ , ce qui a amené Emberger à imaginer un indice d'amplitude thermique extrême  $M - m$  qui a l'avantage aussi de tenir compte de l'effet de continentalité. Finalement, en y introduisant les précipitations annuelles reçues, le quotient pluvio-thermique  $Q2$  retenu par Emberger est le suivant :

$$Q2 = \frac{2000 * P}{(M + m + 546,4) * (M - m)}$$

- Où : **P** : Pluviométrie annuelle en mm  
**M** : Température maximale du mois le plus chaud en °C (juillet)  
**m** : Température minimale du mois le plus froid en °C (janvier)

Ce quotient, quelquefois appelé "indice bioclimatique d'Emberger", traduit le rapport entre la quantité des précipitations et la moyenne des extrêmes thermiques (mois le plus chaud et le plus froid), le tout corrigé par l'amplitude thermique extrême (M – m).

La dérivation de la carte des étages bioclimatiques, selon la classification d'Emberger, montre l'existence au niveau du bassin versant de la Moulouya de 3 types de climats, le subhumide, le semi-aride et l'aride avec des variantes relatives à la température minimale du milieu, soit 12 étages bioclimatiques (figure 21) allant du subhumide très froid autour des régions montagneuses du Moyen et Haut Atlas jusqu'à l'aride chaud de Mahrâa Hammadi à Zaïo.



**Figure 21 : Etages bioclimatiques du BV de la Moulouya**

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos traitements

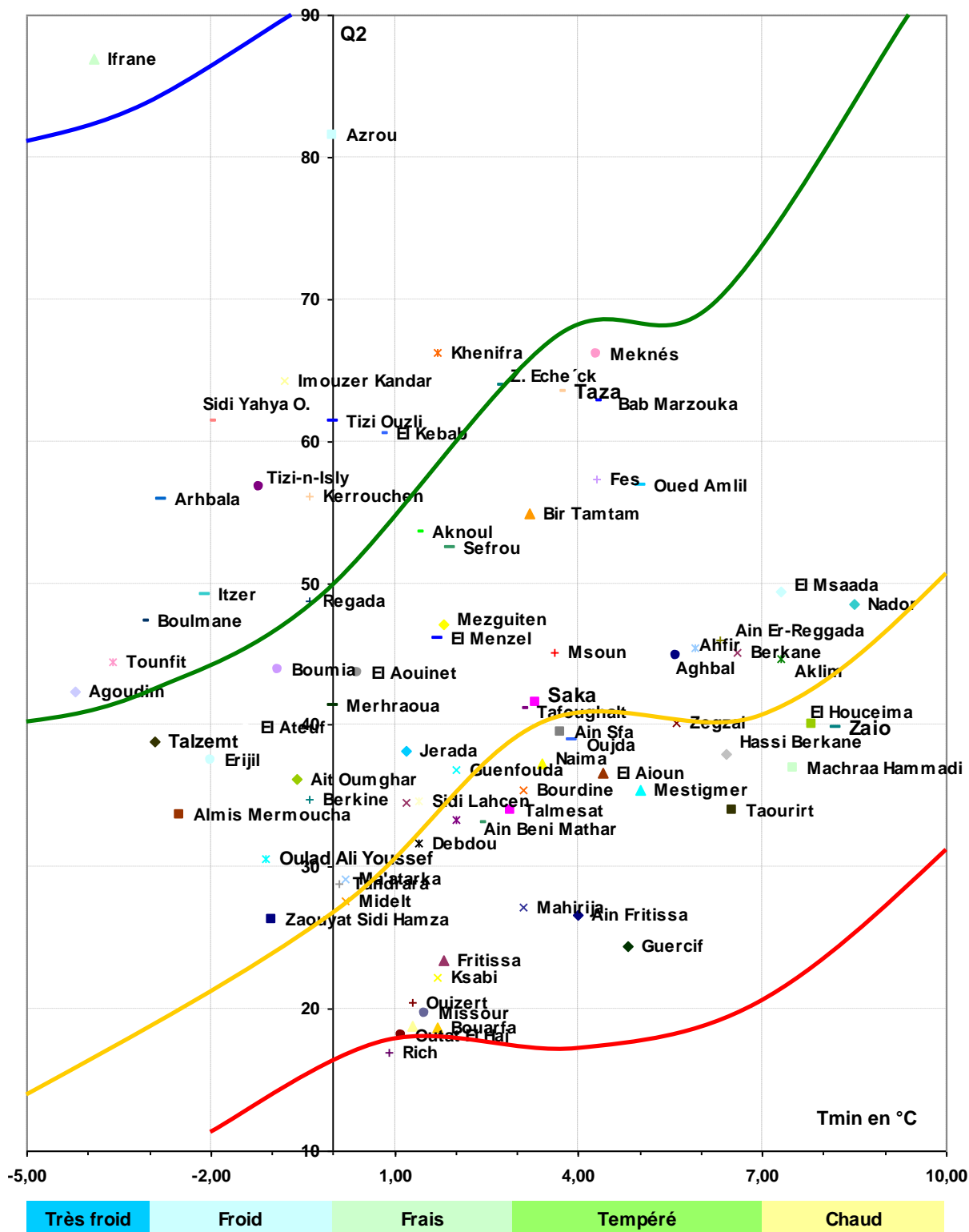
L'étage semi-aride représente 58% de la surface totale du BV de la Moulouya. Il est sous forme d'une bande de 10 à 80 km autour des chaînes du Haut, du Moyen Atlas et du Rif mais aussi sur l'ensemble des Hauts Plateaux et la Basse Moulouya. Les variantes semi-arides frais et froid sont dominantes et représentent presque de 54% la superficie du bassin.

L'étage aride est surtout localisé au niveau de la vallée de Missouri de Amersid jusqu'à Mhirija et représente 32% de la surface du bassin.

Le subhumide est un étage de montagne, il est localisé sur les altitudes supérieures à 1.500 m au Rif et à plus de 1.800 m sur le Haut et Moyen Atlas, sa variante très froide est la plus dominante avec 6,19% de la superficie.

**Tableau 5 : Importance des étages bioclimatiques du BV de la Moulouya (%)**

	Très froid	Froid	Frais	Tempéré	Chaud	Total
Sub-humide	6,19	2,40	0,27	0,00	0,00	8,87
Semi-aride	0,81	26,73	27,17	2,87	1,21	58,78
Aride	0,00	0,21	18,06	13,09	0,98	32,35
<b>Total</b>	<b>7,00</b>	<b>29,34</b>	<b>45,51</b>	<b>15,96</b>	<b>2,19</b>	<b>100,00</b>



**Figure 22 : Climagramme pluvio-thermique d'Emberger pour BV de la Moulouya**

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos traitements



A partir du climagramme d'Emberger (Sauvage, 1963) pour le BV de la Moulouya et les villes aux alentours, on note facilement que le centre d'Outat Lhaj est le point le plus aride du bassin versant et présente le Q2 le plus bas de la région, il se situe à la limite entre l'aride et le per-aride ou désertique et son climat peut être comparable avec celui des villes de Rich ou Bouarfa.

#### 6.4. L'aridité

Deux indices d'aridité sont utilisés pour quantifier l'aridité du climat :

- L'indice d'aridité bioclimatique de Bagnouls Gausson (Bagnouls et Gausson, 1953) qui est défini comme suit :

$$BGI = \sum_{i=1}^n (2T_i - P_i) \cdot K$$

Où :

- T<sub>i</sub>** : température moyenne du mois i en °C ;
- P<sub>i</sub>** : précipitations moyennes du mois i en mm ;
- K** : proportion du mois pendant laquelle 2T<sub>i</sub> > P<sub>i</sub>.

Du fait que nous ne disposons pas des données nécessaires pour calculer le coefficient K de chaque mois, nous avons estimé K en considérant comme hypothèse que le mois le plus sec (juillet) et pour le pixel dont la valeur de 2T-P est la plus faible correspond à un K minimum de 27 jours et l'existence d'une relation linéaire entre 2T<sub>i</sub>-P<sub>i</sub> et K.

Sachant que 2T-P du mois de juillet varie de 72 à -3 et que la valeur maximale de 2T-P est de 189, le modèle linéaire de calcul de K pixel par pixel et pour chaque mois devient comme suit :

- Si 2T-P ≥ 0            **K = 30**
- Si 2T-P < 0            **K = 30 +  $\frac{27 * (2T - P)}{189}$**

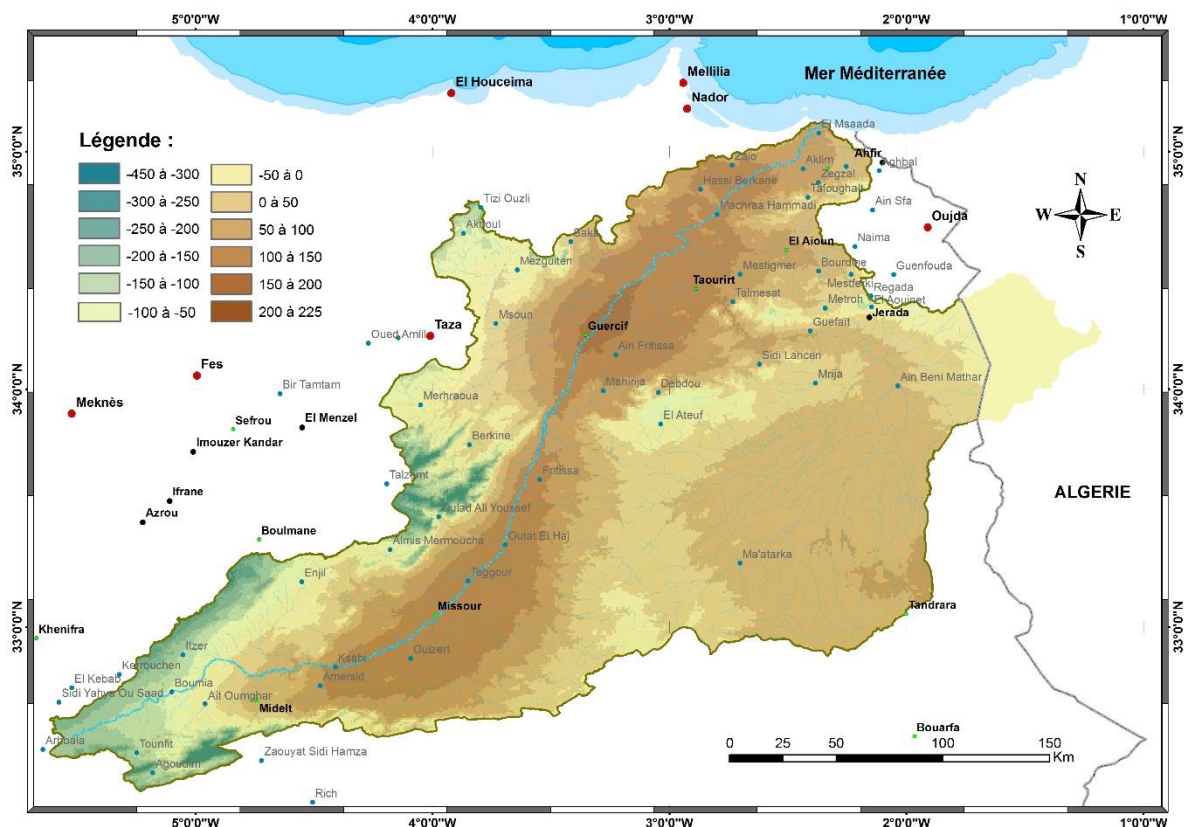
Pour valider les résultats obtenus concernant l'indice d'aridité de Bagnouls-Gausson, nous avons calculé sa corrélation avec l'indice d'aridité bioclimatique (UNEP, 1997) (I = P/ETP). Cet indice a été publié en ligne par le CGIAR-CSI sur la base des données WorldClim pour la même période (Zomer et al., 2008). Ainsi, la corrélation linéaire entre les deux couches d'information est de -0,93 ce qui donne une assez bonne appréciation de la validité du modèle retenu pour le calcul de l'indice de Bagnouls-Gausson pour l'ensemble du Maroc.

- L'indice d'aridité (UNEP, 1997) adopté par la méthodologie développée par la FMA (Fondation de Météorologie Appliquée) qui est défini comme suit :

$$AI = P/ETP$$

Où :

- P** : Précipitations annuelles moyennes en mm ;
- ETP** : Evapotranspiration potentielle annuelle moyenne en mm.



**Figure 23 : Indice d'aridité de BGM du BV de la Moulouya**

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos traitements

L'indice d'aridité BGM modifié au niveau du BV de la Moulouya varie entre -450 et 225. Il est très faible dans les crêtes de montagne et élevé dans la vallée, avec des valeurs maximales dans la région de Guercif et Missour entre 150 et 220. La classification des différents types de climats selon les valeurs de l'indice d'aridité de Bagnouls-Gausson modifié est comme suit :

Classe	Climat	%
< -150	Aride	16,00
-150 à 150	Semi-aride	79,40
> 150	Humide et Subhumide	5,60

L'indice d'aridité P/ETP, en adoptant la classification des climats selon les normes ci-dessous pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya, montre que :

Classe	Climat	%
0,05 à 0,2	Aride	30,42
0,2 à 0,5	Semi-aride	68,36
0,5 à 0,65	Subhumide sec	1,03
> 0,65	Humide	0,19

Selon cet indice le climat semi-aride occupe 68% du territoire suivi de l'aride avec 30%, les climats subhumides et humides ne dépassent pas 2%.

Selon la classification UNEP, on note que plus de 99% de la superficie du bassin versant de la Moulouya est potentiellement concernée par la désertification (subhumide, aride et semi-aride).

## 6.5. Les vents

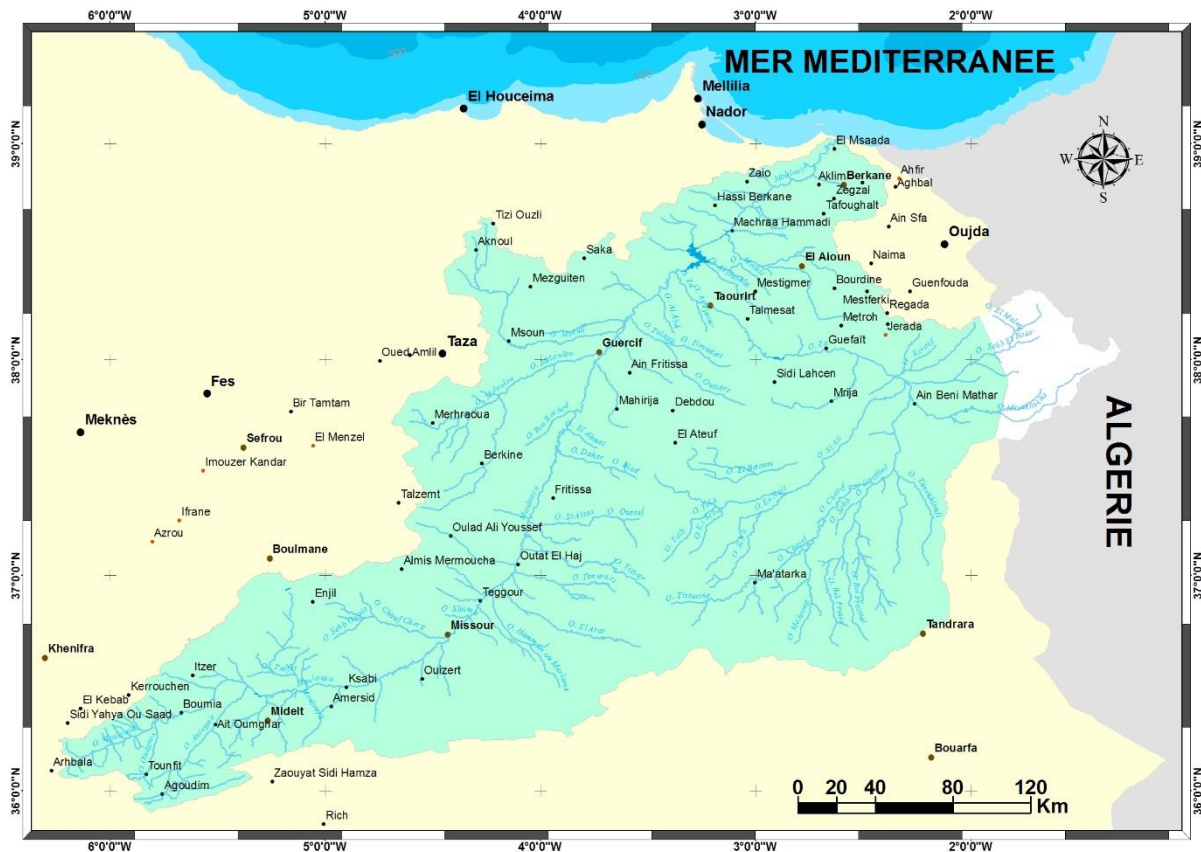
Les vents dominants dans le bassin versant de la Moulouya varient suivant les saisons : en hiver, les vents arrivent, du Nord-Ouest, par-dessus les barrières moyennes atlasiques et rifaines entraînant des masses d'air océaniques froides et parfois humides. En été, le Chergui vient du Sud et entraîne des masses d'airs secs et chauds des régions sahariennes. Les vitesses moyennes sont de l'ordre de 3 à 5 km/h, mais peuvent aller jusqu'à 80 km/h pour causer des tempêtes de sable dans les Hauts Plateaux et dans la vallée.

## 7. RESEAU HYDRAULIQUE

### 7.1. Réseau hydrographique

Le bassin versant de la Moulouya présente un réseau hydrographique très dense. L'oued Moulouya, en tant que collecteur principal, draine le long de son parcours un grand nombre d'affluents dont les principaux forment les grands sous-bassins de la zone et qui sont :

- L'oued Za est l'affluent le plus long de la Moulouya, avec sa longueur de 290 km et sa pente hydraulique de l'ordre 4,95 m/km, il draine une très grande superficie d'environ 19.600 km<sup>2</sup>. Sa ramification en amont est très dense, drainant de vastes étendues des Hauts Plateaux.
- L'oued Msoun prend sa source du Rif oriental, sa longueur est de 136 km et présente une pente hydraulique assez forte de l'ordre de 10,42 m/km. Il draine presque 2.300 km<sup>2</sup> de terrains à substrat tendre constitué essentiellement par des marnes de tertiaires.
- L'oued Melloulou est le plus important affluent de l'oued Moulouya avec un débit liquide moyen annuel de 300 Mm<sup>3</sup>. Il est originaire du Moyen Atlas où il puise ses sources des puissantes formations calcaires qu'il incise. Ces sources lui confèrent un débit soutenu même en période d'étiage. L'oued Melloulou est long de 87 km et draine une superficie d'environ 2.800 km<sup>2</sup>. Il possède une pente hydraulique très forte de l'ordre de 16,67 m/km.
- L'oued Ansegmir prend sa source du Haut Atlas, il est long de 82 km et draine une superficie de l'ordre de 800 km<sup>2</sup> constituée essentiellement par des carbonates d'âge mésozoïque et formations quaternaires.



**Figure 24 : Réseau hydrographique du BV de la Moulouya**

Source : Divers cartes topographiques de la zone

Les autres cours d'eau sont intermittents et à faible écoulement avec des crues (3 à 5 crues en moyenne par an).

## 7.2. Ressources hydriques

Le bassin hydraulique de la Moulouya qui comprend, en plus du bassin versant de la Moulouya, la vallée du Guir jusqu'à la frontière algérienne vers l'est, a un apport moyen annuel estimé à 1.650 Mm<sup>3</sup> ; la quantité mobilisée a été de l'ordre de 1.230 Mm<sup>3</sup> en 2004 (HCP, 2006).

Malgré la progression moins rapide de la population du bassin hydraulique de la Moulouya par rapport à celle du pays (1,24% par an entre 1994 et 2004 contre 1,39% pour le Maroc), la quantité d'eau disponible par habitant a diminué entre 1994 et 2004 pour passer de 647 m<sup>3</sup>/hab. à 585 m<sup>3</sup>/hab., soit une chute de l'ordre de 6,2 m<sup>3</sup>/hab.an.

Les projections futures grâce à l'effort de mobilisation prévu dans le cadre du programme national d'aménagement des bassins hydrauliques prévoient la mobilisation de 1.490 Mm<sup>3</sup>/an en 2030, ce qui permettra de maintenir le disponible à 541 m<sup>3</sup>/hab. (HCP, 2006).

L'eau destinée à l'agriculture a représenté 95% de l'eau mobilisée en 1994 (1.120 Mm<sup>3</sup>/an sur les 1.185 Mm<sup>3</sup> produits) ce taux sera de 91% en 2030, (1.355 Mm<sup>3</sup>/an sur 1.490 Mm<sup>3</sup> prévus) (HCP, 2006).

Durant les périodes de pénurie d'eau à cause de la sécheresse, la priorité est logiquement donnée à l'approvisionnement de la population en eau potable. Ceci pénalise l'agriculture irriguée obligée de se focaliser sur l'arrosage des cultures pérennes et d'abandonner les cultures annuelles. Ceci a été le cas dans les années 91-92 et 92-93, lorsque le Maroc a

enregistré un déficit pluviométrique de 38% la première année et de 60% la deuxième. Le déficit hydrologique a été encore plus élevé (44% en 91-92 et 76% en 92-93). La baisse des disponibilités d'eau dans les retenues de barrages explique les restrictions drastiques imposées dans le bassin de la Moulouya, qui a enregistré un déficit hydraulique de 80% environ, les demandes d'eau d'irrigation n'ont pu être satisfaites qu'à 75% en 91-92 et 50% en 92-93 (HCP, 2006).

## **8. RESSOURCES VEGETALES**

### **8.1. Occupation du sol**

La végétation naturelle de la Moulouya, y compris les Hauts Plateaux, est particulièrement dominée par l'Alfa (*Stipa tenacissima*). Cette végétation climacique endémique de la zone est localisée sur les plateaux, les collines et glacis ou sur les massifs montagneux. Elle est caractérisée par une plus forte vigueur en hautes altitudes et par une dégradation plus prononcée dans les basses altitudes vers la vallée.

D'une manière générale, on peut y distinguer quatre formations végétales principales :

- L'agriculture en Bour dépendant uniquement des précipitations, les superficies cultivées en Bour se situent autour des périmètres urbains, quelques périmètres localisés dans la plaine de Guercif, du couloir Taourirt-Oujda et dans la Haute Moulouya.
- L'agriculture irriguée dans la plaine de la Basse Moulouya (Bou Areg, Gareb et Triffa) à partir des retenues des barrages Mohamed V et de Méchera Hammadi (grande hydraulique). En amont, les périmètres irrigués sont sous forme de petite et moyenne hydrauliques le long de l'oued Moulouya et de ses grands affluents (petits périmètres).
- Les terres de parcours : Dans les régions arides du bassin versant de la Moulouya, où l'agriculture est quasi-inexistante, l'élevage sur des parcours naturels constitue la seule source de revenu agricole pour la population. Ces terres de parcours sont constituées essentiellement par des faciès d'Alfa et parfois d'armoise de différentes densités.
- Les terres boisées : Mis à part les massifs montagneux, la couverture forestière arborée est précaire en raison des conditions bioclimatiques arides du bassin versant de la Moulouya et pour cause de la surexploitation (surpâturage et coupes de bois).

Par ailleurs, il est important de signaler l'étendue des mises en cultures des terres aux abords de l'oued Moulouya et dans les dépressions (culture en sec et en épandage dans les terrasses des oueds).

Pour permettre une estimation des superficies relatives aux différents types d'occupation du sol, y compris les terrains nus et les bâtis, nous avons utilisé les cartes issues du projet Globcover pour l'Afrique du nord entre décembre 2004 et juin 2006 téléchargées à partir du géoportail de l'Agence Spatiale Européenne (300 m de résolution spatiale).

Du point de vue superficie, la répartition de l'occupation du sol est la suivante :



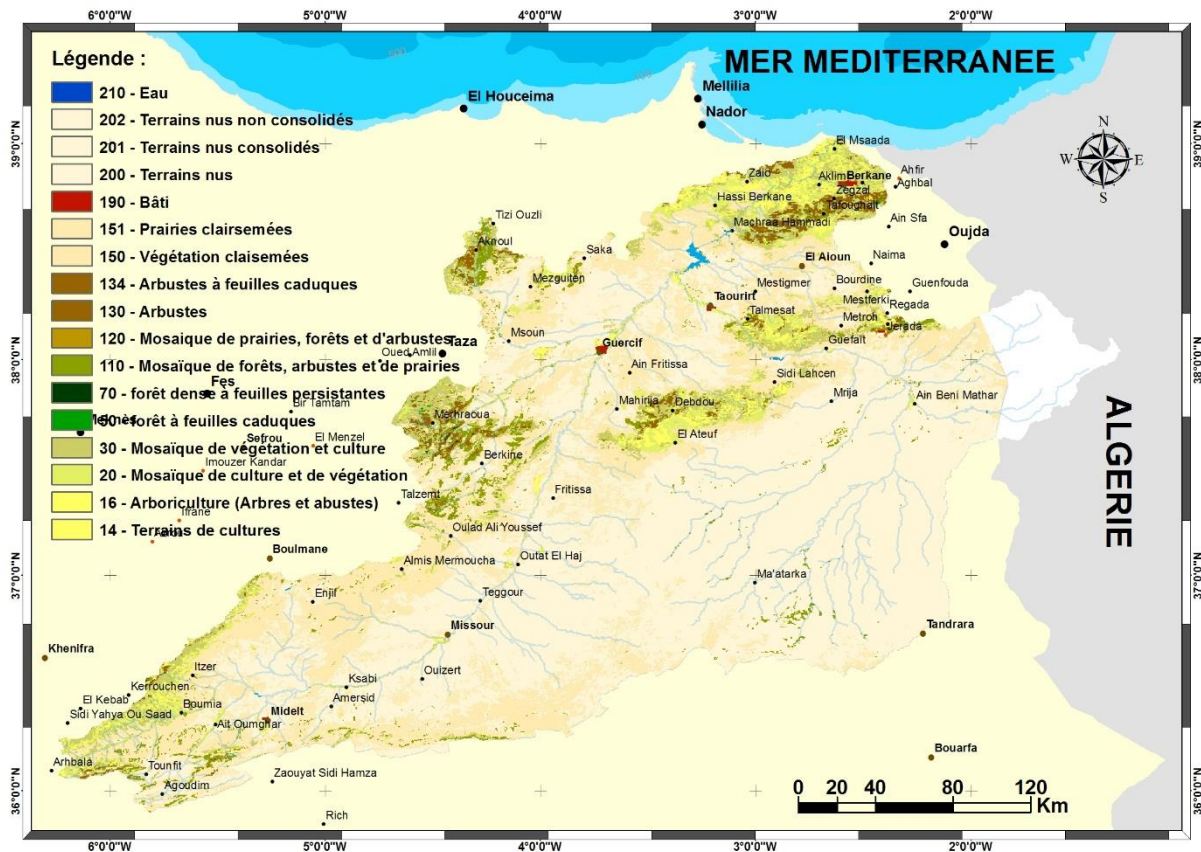


Figure 25 : Occupation du sol du BV de la Moulouya

Source : Globcover, 2009

Tableau 6 : Répartition des occupations du sol du BV de la Moulouya

	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Cultures	1.224,20	2,32
Arboriculture	15,01	0,03
Mosaïque Végétation naturelle et culture	4.993,93	9,46
Forêt	19,76	0,04
Mosaïque de forêts, arbustes et de prairies	1.268,93	2,40
Arbustes	785,95	1,49
Végétation clairsemée	14.753,49	27,94
Bâti	47,81	0,09
Terrain nu	29.665,42	56,19
Eau	23,23	0,04
<b>Total</b>	<b>52.797,73</b>	<b>100</b>

Source : Globcover, 2009 + nos calculs

Selon la classification Globcover, les sols nus représentent 56% de la superficie du bassin versant, ils sont localisés surtout au niveau des Hauts Plateaux et la moyenne Moulouya, suivis des zones à végétation clairsemée avec 28%. Les zones de culture y compris l'arboriculture ne dépassent pas 1.240 km<sup>2</sup>, soit moins de 2,4% de la superficie totale du bassin versant.

## 8.2. Formations forestières

En général, le développement de la végétation naturelle, en particulier la forêt, reste limitée en raison de l'aridité du climat et de la nature du sol. Les deux types de formations végétales naturelles au niveau du bassin versant sont les forêts de densité variable, mais rarement denses, situées au niveau des zones de montagne et des zones steppiques laissant toujours apparaître le sol nu et dominé par l'Alfa.

Pour mieux cerner l'étendue des formations forestières de la zone, la carte des formations forestières du Maroc (André et al., 1957) a été scannée, géoréférencée et vectorisée. Les résultats obtenus montrent que les formations forestières, y compris l'Alfa, occupent 28.230 km<sup>2</sup>, soit 57,47% de la superficie totale du bassin. L'Alfa (*Stipa tenacissima*) présente une superficie de l'ordre de 21.644 km<sup>2</sup>, soit plus des trois quarts des superficies forestières de la zone.

A signaler la grande différence entre les chiffres d'occupation du sol entre les données issues du projet Globcover et la carte des formations forestières du Maroc surtout concernant le faciès de l'Alfa. Ceci peut être expliqué par la difficulté d'utilisation des données de télédétection pour l'évaluation de l'occupation du sol dans les zones où la végétation est très éparse, souvent assimilée à du sol nu, et aussi étant donné que le nombre de classes d'occupation du sol prédéfini pour une grande zone telle que le bassin méditerranéen ne permet pas une bonne évaluation de l'hétérogénéité à l'échelle régionale et locale (regroupements en grandes classes d'occupation du sol).

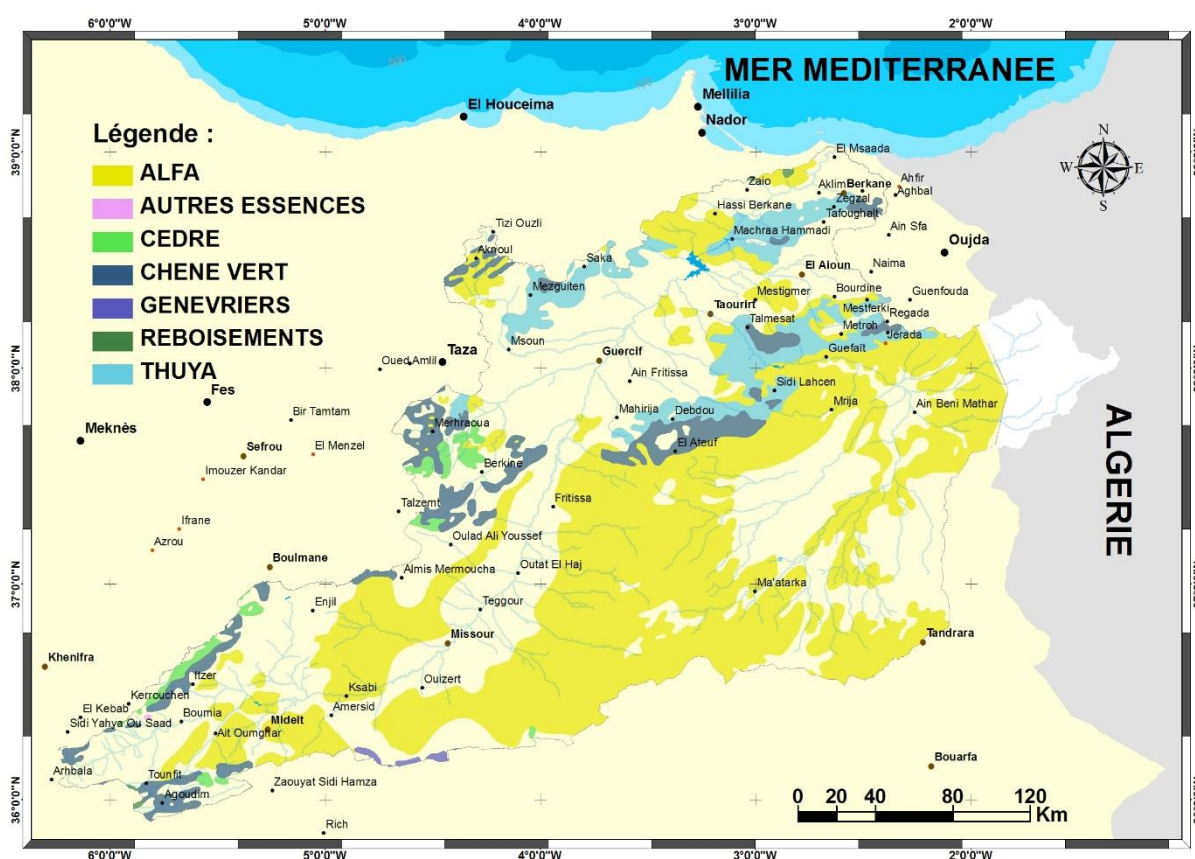


Figure 26 : Formations forestières du BV de la Moulouya

Source : Carte des formations forestières du Maroc, 1957

**Tableau 7 : Importance des formations du domaine forestier du BV de la Moulouya**

	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
L'Alfa ( <i>Stipa tenacissima</i> )	21.644,04	76,67
Cèdre	564,72	2,00
Chêne vert	2.772,13	9,82
Genévrier	84,38	0,30
Thuya	3.124,24	11,07
Reboisement	34,33	0,12
Autres Essences	6,13	0,02
<b>Total</b>	<b>28.229,96</b>	<b>100</b>

Source : Carte des formations forestières du Maroc, 1957 + nos calculs

### 8.3. Particularité de l'Alfa dans le bassin de la Moulouya

L'Alfa (*Stipa tenacissima*), graminée endémique et pérenne du Maroc oriental, est l'espèce dominante du cortège floristique du bassin de la Moulouya. Elle y couvre environ 2.060.400 ha (CCISO, 2009) au niveau de la région de l'Oriental et chevauche sur plusieurs provinces, allant de Nador jusqu'à Figuig et Er-Rachidia.

On distingue plusieurs faciès de nappes Alfatières à savoir :

- A1- Nappes forestières ;
- A2- Nappes post-forestières ;
- A3- Nappes des Hauts Plateaux bien drainés ;
- A4- Nappes des plateaux subhorizontaux à dayas ;
- A5- Nappes des zones à influence saharienne ;
- A6- Nappes dégradées.

C'est un domaine qui assure aux populations riveraines de nombreux usages. C'est un lieu de pâturage par excellence et de collecte de nombreuses plantes aromatiques et médicinales parmi la flore interstitielle et saisonnière.

La steppe Alfatière, malgré les dégradations subies, représente une véritable barrière biologique dans cette région menacée par les processus de désertification. Ce couvert végétal climacique bien adapté aux conditions climatiques et à la qualité médiocre du sol, protège les sols superficiels à squelettiques au niveau de la zone contre le ruissellement et favorise l'infiltration des eaux de pluie et constitue de ce fait un véritable rempart contre la perte de productivité de la flore interstitielle à intérêt économique pour l'élevage au niveau de l'ensemble du bassin.

### 8.4. Cadre légal et juridique

Les terrains de parcours sont partagés entre les fractions ethniques selon des conventions et accords anciens qui sont souvent respectés, mais la délimitation provoque des litiges entre elles en raison de l'absence de limites physiques d'utilisation. Chaque fraction ou tribu désigne, par élection, des « Nouabs » qui sont les interlocuteurs auprès des autorités locales et des services techniques (Agriculture et Eaux et Forêts).

De façon générale, en dépit des mesures juridiques précisant la réglementation de la gestion des parcours collectifs, les pratiques restent abusives. En l'absence de nouvelles lois plus adaptées, le déséquilibre entre les besoins des animaux et les disponibilités fourragères risque de compromettre la durabilité de cet écosystème déjà très fragilisé par des années successives de sécheresse.



## B. CARTE DE SENSIBILITE A LA DESERTIFICATION

Considérant l'approche retenue, la première phase de la recherche vise l'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification de l'ensemble du bassin versant en se basant sur le système de classification paramétrique de l'approche MEDALUS, dont la présentation détaillée est exposée au niveau du chapitre méthodologie.

En général, l'approche MEDALUS repose sur la superposition de quatre sous-indices qui sont l'indice de la qualité du climat (IQC), l'indice de la qualité de sol (IQS), l'indice de la qualité de la végétation (IQV) et l'indice de la qualité du système d'aménagement des terres (IQSA) pour le calcul de l'indice de sensibilité à la désertification (ISD) selon l'équation suivante :

$$ISD = (IQC \times IQS \times IQV \times IQSA)^{1/4}$$

### 1. Elaboration de la carte de l'indice de la qualité du climat (IQC)

Le climat est l'un des principaux facteurs influençant la dégradation des sols ; sa qualité est évaluée en employant les paramètres qui influencent la disponibilité de l'eau qui sont la quantité des précipitations, l'exposition et l'aridité.

La spatialisation des données climatiques est nécessaire pour dériver la carte relative à la qualité du climat. Pour cela et dans le but d'éviter l'utilisation des méthodes d'interpolation spatiale et de régression demandant beaucoup de données climatiques pour un maximum de stations météorologiques, nous avons opté pour l'utilisation des données spatialisées issues de la base de données climatiques mondiale (WorldClim version 1.4) moyennée sur la période 1950-2000, libre d'accès, disponible pour l'ensemble du globe et utilisée à très grande échelle par la communauté scientifique.

L'indice de qualité du climat, selon l'approche MEDALUS, est obtenu en croisant les trois couches d'information à savoir l'Exposition (OR), les précipitations totales (PP) et l'indice d'aridité de Bagnouls-Gaussen (IA) moyennant l'équation suivante :

$$IQC = (PP \times OR \times IA)^{1/3}$$

#### 1.1. Précipitations

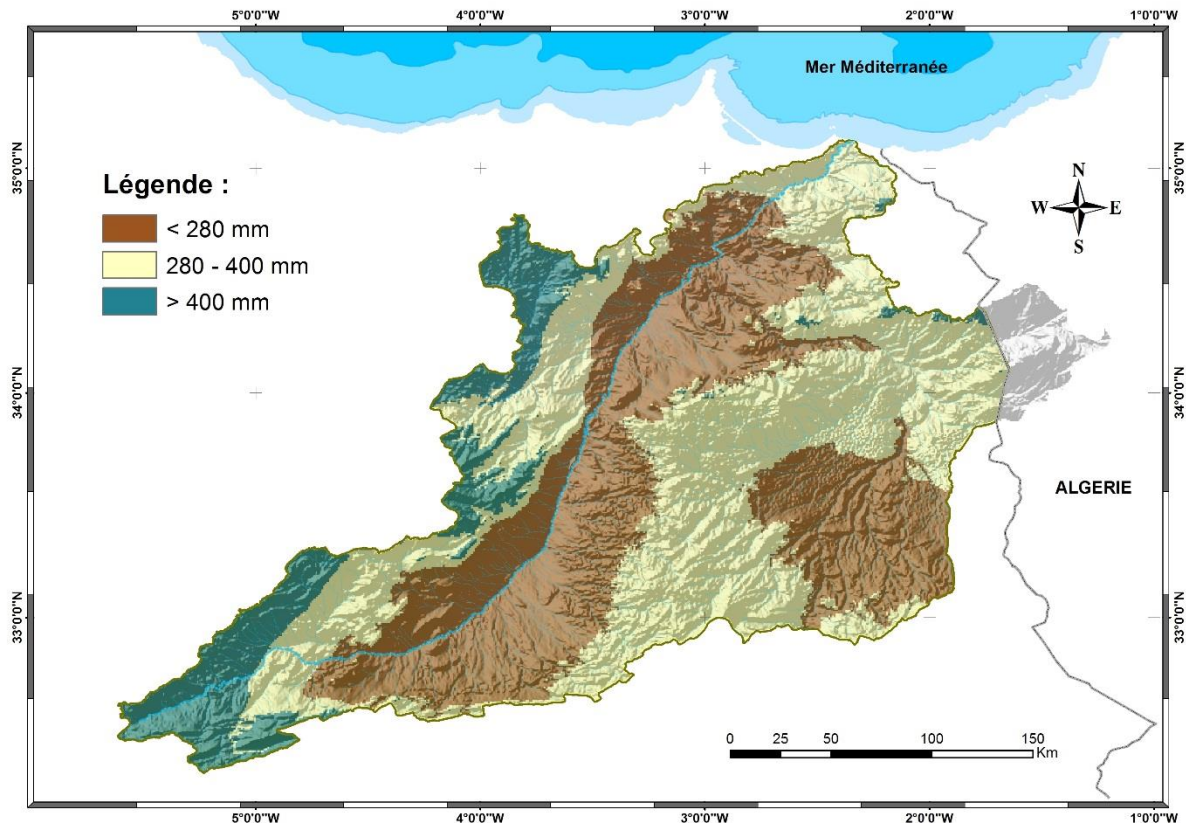
Les précipitations annuelles sont classifiées en trois classes en considérant la valeur de 280 mm de précipitations annuelles comme valeur cruciale pour l'érosion de sol et la croissance des plantes. Nous avons conservé la valeur limite proposée dans le cadre du projet MEDALUS et nous avons divisé la seconde classe 280 à 650 en deux sous-classes, puisque la classe relative aux précipitations supérieures à 650 mm est pratiquement nulle.

La couche d'information relative à la moyenne des précipitations annuelles sur la période 1961-2000 pour l'ensemble du bassin versant a été extraite à partir de la base de données WorldClim (~ 1 km de résolution). Les résultats obtenus montrent que la moyenne des précipitations au niveau du bassin versant de la Moulouya est de 308 mm. Elles varient globalement entre 164 mm et 851 mm. Les valeurs les plus basses sont enregistrées au niveau de la vallée de Missouri et les valeurs les plus élevées sont localisées au niveau des crêtes de la chaîne de Bouiblanc pour le Moyen Atlas et autour du Mont Ayachi dans le Haut Atlas.

**Tableau 8 : Normes de précipitations totales (PP)**

Classes	Description	Indice	Superficie (ha)	%
1	> 400 mm	1	675.706	13
2	280 à 400 mm	2	2.406.400	45
3	< 280 mm	4	2.221.499	42

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos calculs



**Figure 27 : Carte des précipitations annuelles totales**

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos traitements

## 1.2. Aridité

L'indice d'aridité bioclimatique de Bagnouls-Gausson (Bagnouls et Gausson, 1953) a été adopté par l'approche MEDALUS et est défini comme suit :

$$BGI = \sum_{i=1}^n (2T_i - P_i) \cdot K$$

Où :

- T<sub>i</sub>** : température moyenne du mois *i* en °C ;
- P<sub>i</sub>** : précipitations moyennes du mois *i* en mm ;
- K** : proportion du mois pendant laquelle  $2T_i > P_i$ .

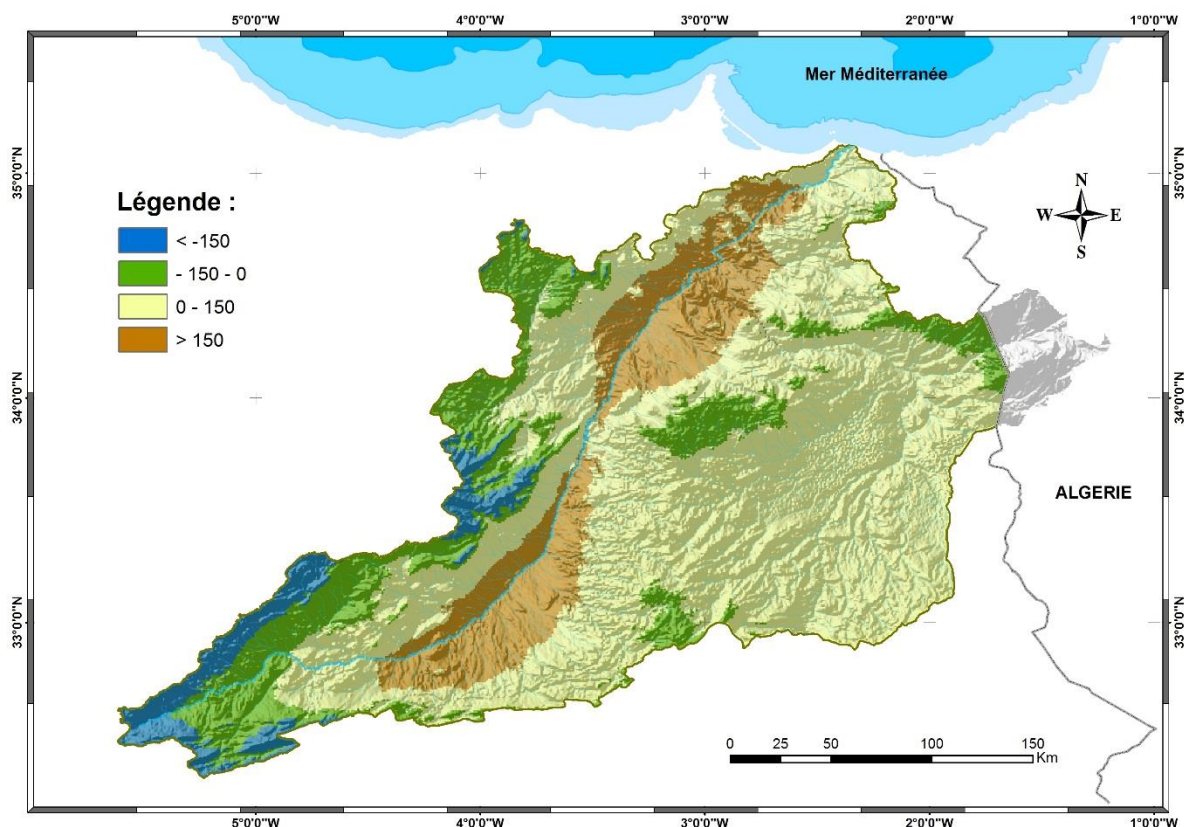
A défaut des données journalières nécessaires pour calculer le coefficient  $K_i$  de chaque mois, nous avons calculé un indice d'aridité de Bagnouls-Gausson modifié pour l'ensemble du Maroc en se basant sur les équations citées au niveau du chapitre précédent et avons procédé ensuite à l'extraction de la zone d'intérêt pour la recherche.

Considérant les classes retenues dans l'approche MEDALUS, nous avons opté pour l'utilisation de l'indice d'aridité bioclimatique de Bagnouls-Gausson modifié en prenant en compte les classes suivantes :

**Tableau 9 : Normes de l'indice d'aridité de Bagnouls-Gausson modifié**

Classes	Description	Indice	Superficie (ha)	%
1	< -150	1	297.245	5,6
2	-150 à 0	1,1	931.642	17,5
3	0 à 150	1,2	3.229.441	61,9
4	150 à 300	1,4	845.394	16,0

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos calculs



**Figure 28 : Carte de l'indice d'aridité Bagnouls Gausson modifié**

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos traitements

La carte de l'indice d'aridité de Bagnouls-Gausson modifié montre que les régions les moins arides sont localisées en zones montagneuses du Moyen et Haut Atlas avec des indices d'aridité inférieurs à -150 alors que les régions les plus arides sont situées le long de la rivière Moulouya et englobent la vallée de Missouri et la plaine de la région de Missouri à Taourirt au Nord.

### 1.3. Expositions

La couche d'information relative aux expositions a été préparée à partir du modèle numérique de terrain SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (Jarvis et al., 2008) selon l'algorithme présenté au niveau du chapitre précédent (figure 13).

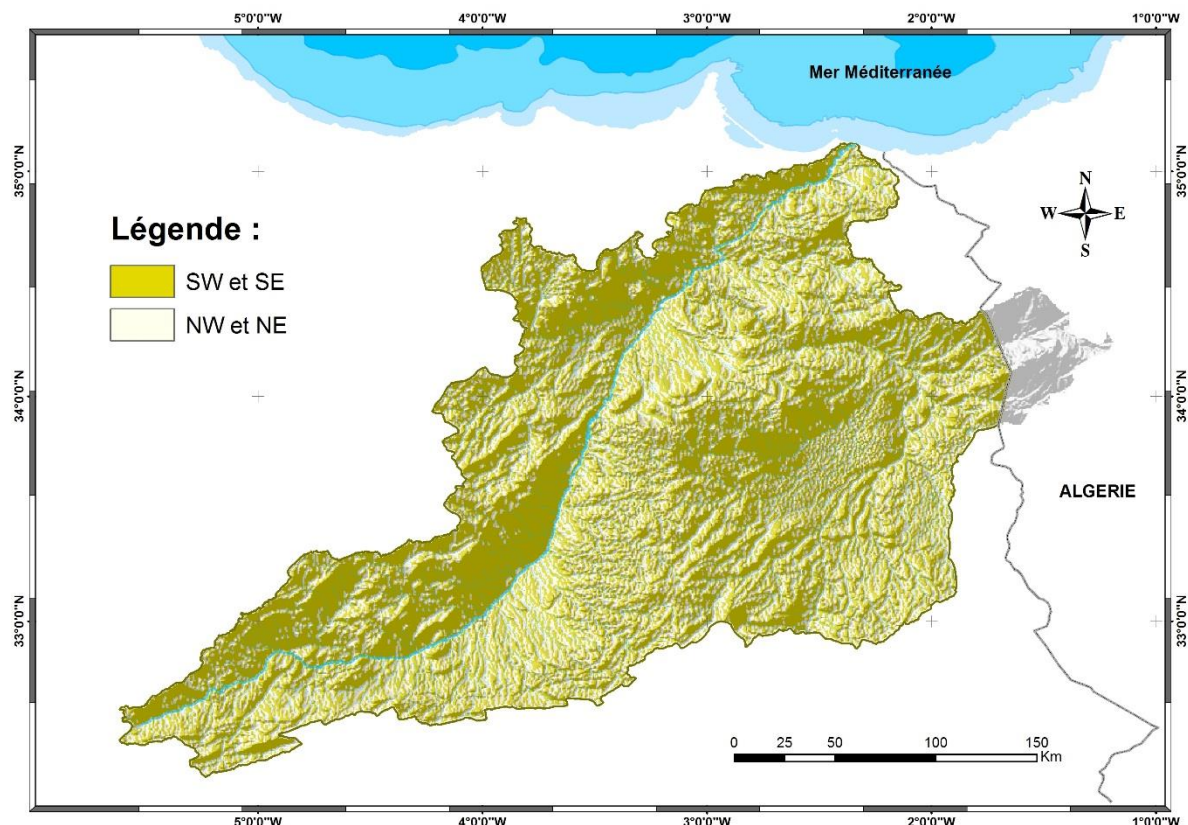
Le tableau ci-après, qui donne la répartition des expositions, montre que la classe relative à l'exposition Nord en termes de superficie présente environ 55%. Ceci peut être expliqué par

le fait que le bassin versant de la Moulouya présente une faible asymétrie par rapport au prolongement de la chaîne de montagne du Haut Atlas au Sud Est qui se matérialise par les Hauts Plateaux généralement plus exposés Nord.

**Tableau 10 : Normes d'orientation des versants (OR)**

Classes	Description	Indice	Superficie (ha)	%
1	Expositions NE et NW	1	2.896.654	55
2	Expositions SE et SW	2	2.405.261	45

Source : STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008 + nos calculs



**Figure 29 : Carte des expositions des versants**

Source : STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008 + nos traitements

#### 1.4. Carte de l'indice de qualité du climat

La dérivation de la carte de la qualité du climat se fait selon la formule citée plus haut en utilisant les trois couches d'information (précipitations, indice d'aridité et exposition) et en considérant les limites de classes proposées par l'approche MEDALUS. Les résultats obtenus sont regroupés sur le tableau ci-après :

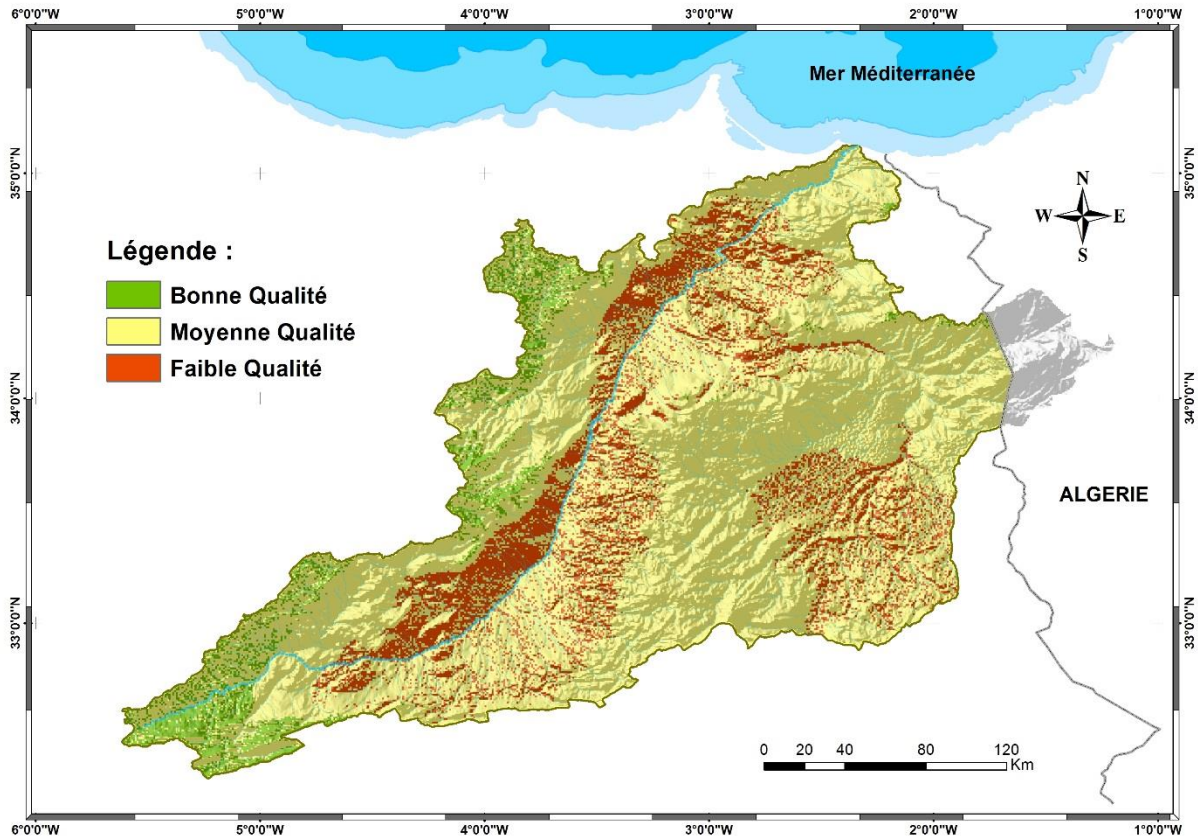
**Tableau 11 : Normes d'indice de qualité du climat (IQC)**

Classes	Qualité	Indice	Superficie (ha)	%
1	Bonne : < 1,15	1	306.256	5,78
2	Moyenne : 1,15 à 1,81	2	4.127.965	77,87
3	Faible : > 1,81	3	866.927	16,35

Source : Nos calculs



Compte tenu du poids de la couche des précipitations dans le calcul de l'indice IQC, on note que la couche des précipitations a été faiblement corrigée par l'aridité et l'exposition. Par ailleurs, on note que les zones à climat de « Moyenne Qualité » sont dominantes avec 78% suivies des zones de qualité faible (16%) surtout localisées le long de la rivière Moulouya, alors que les zones à climat de bonne qualité ne représentent que 6% localisées en zones montagneuses du Moyen et Haut Atlas, ce qui implique que le bassin du Moulouya présente un climat aride à semi-aride potentiellement sensible à la désertification sur 94% de sa superficie.



**Figure 30 : Carte de l'indice de qualité du climat**

Source : Nos traitements

## 2. Elaboration de la carte de l'indice de Qualité des Sols (IQS)

L'indice de qualité des sols (IQS) est obtenu par croisement des données de matériau parental (MP), de la profondeur du sol (P), de la texture du sol (T) et de la pente du terrain (PE). Ainsi, quatre couches d'informations sont nécessaires pour aboutir à l'IQS. L'indice de qualité des sols est calculé en se basant sur l'équation suivante :

$$IQS = (MP \times P \times T \times PE)^{1/4}$$

### 2.1. Carte des matériaux parentaux

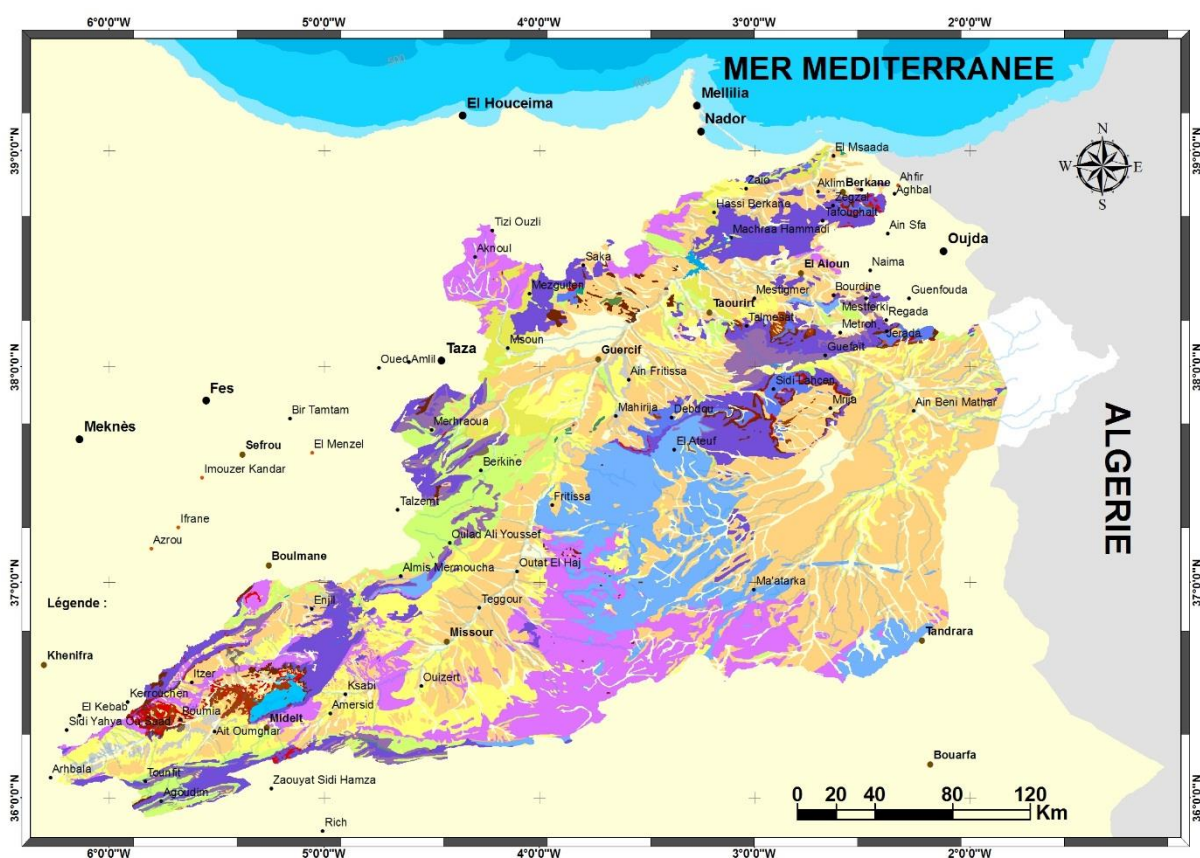
Le travail consiste à identifier tous les faciès géologiques dans le bassin de la Moulouya et de les reclasser spatialement en fonction de leur résistance à l'érosion. Pour cela les normes présentées sur le tableau ci-dessous ont été adoptées en se basant sur le degré de résistance des roches et ce conformément à l'approche MEDALUS.

**Tableau 12 : Normes de matériaux parentaux**

<b>Classes</b>	<b>Description</b>	<b>Indice</b>
Matériaux cohérents	Calcaire, dolomie, grès, dalle calcaire, granite, quartzite, basalte, conglomérat ...	1
Matériaux moyennement cohérents	Marno-calcaire, grès et basalte altérés, flyschs armés, croûte et encroûtement calcaires granulaires compacts...	1,5
Matériaux meubles	Argile, marne, sable, formations superficielles non ou peu encroûtées, gypse, schistes, flyschs, ...	2

Source : Cartes géologiques 1/500.000 de Rabat et de Oujda + nos calculs

Les cartes géologiques au 1/500.000 couvrant le bassin de la Moulouya (feuilles d'Oujda et de Rabat) ont été utilisées à cet effet. Ainsi, la carte des formations géologiques obtenue est présentée au niveau du chapitre précédent (figure 15).



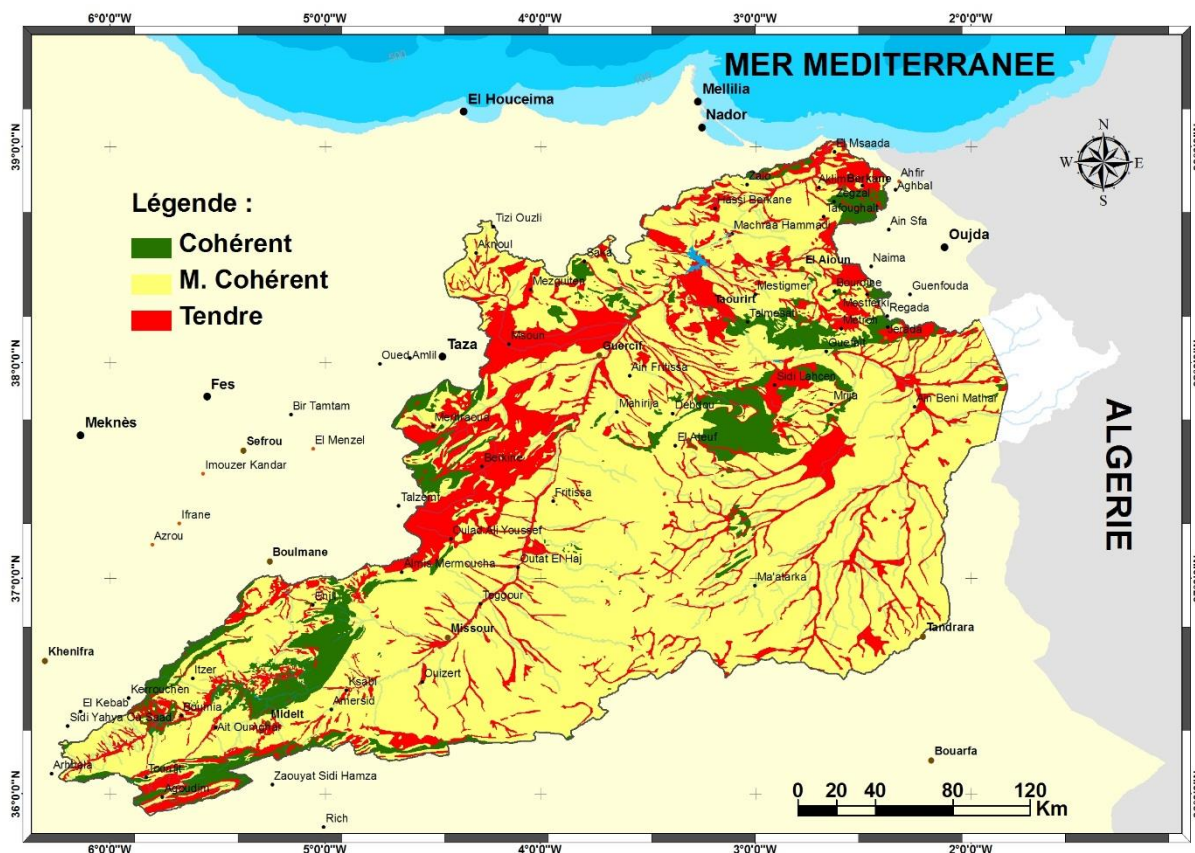
**Figure 31 : Carte des matériaux parentaux du BV de la Moulouya**

Source : Cartes géologiques 1/500.000 de Rabat et de Oujda + nos traitements

La figure ci-dessus donne la carte des matériaux parentaux dérivée à partir de la carte géologique en considérant la description détaillée de la légende présentée en annexe 1 et mentionnant par ailleurs, en couleur rouge, les valeurs de sensibilité attribuées à chaque unité géologique selon l'approche MEDALUS.

La dérivation de la carte d'érodibilité des matériaux parentaux en considérant les trois classes retenues par l'approche MEDALUS montre une dominance des matériaux moyennement tendres avec plus de 70% de la superficie du bassin. Les matériaux tendres représentent plus de 20% et sont surtout localisés au niveau des régions de Msoun, Berkine et Taourirt mais aussi au niveau des Hauts Plateaux. Cette classe comporte des formations d'argilites, de marnes et d'alluvio-colluvions qui sont vulnérables à l'érosion hydrique quand

elles sont localisées sur les pentes et vulnérables à la dégradation de leur structure superficielle quand elles sont localisées dans les plaines. Le tableau suivant donne l'importance des différentes classes de matériaux parentaux.



**Figure 32 : Carte d'érodibilité des matériaux parentaux**  
Source : Nos traitements

**Tableau 13 : Superficie des trois classes de matériaux parentaux**

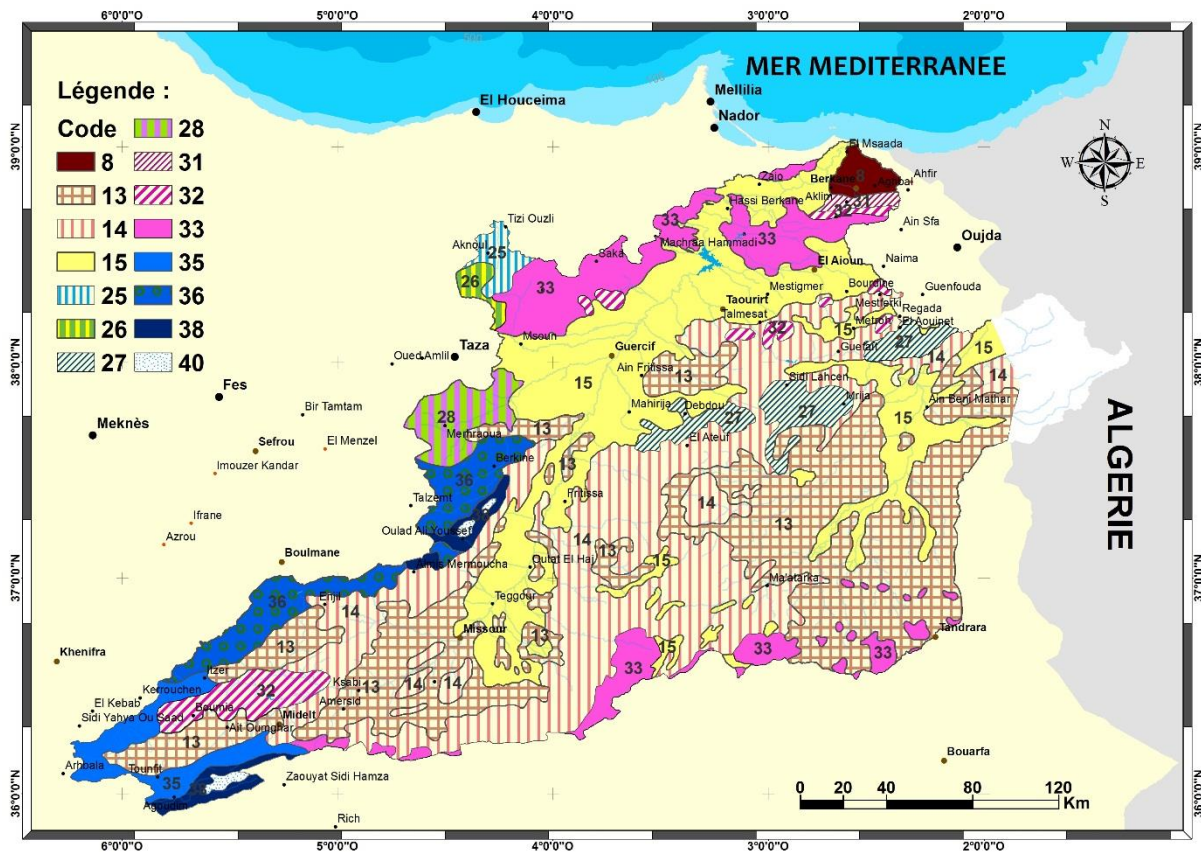
Classes	Qualité	Indice	Superficie (ha)	%
1	Cohérent	1	488.188	9,21
2	Moyennement cohérent	1,5	3.749.202	70,72
3	Tendre	2	1.063.961	20,07

Source : Nos calculs

## 2.2. Carte des textures

La texture est une des propriétés fondamentales des sols et permet d'évaluer leur comportement vis-à-vis de l'eau et des contraintes biophysiques. L'élaboration de la carte des textures nécessite la numérisation des cartes pédologiques existantes. Dans ce sens et compte tenu de l'indisponibilité de cartes des sols à une échelle plus grande, nous avons utilisé la carte des sols de l'ensemble du Maroc au 1/1.500.000 élaborée par Cavallar en 1950 (Cavallar, 1950) dont la description détaillée de la légende est consignée en annexe 2.





**Figure 33 : Carte des sols du BV de la Moulouya**

Source : Cavallar, 1950.

Ainsi, les sols les moins sensibles à la dégradation sont ceux ayant des textures équilibrées (LS, L, SLA). Par contre, ceux les plus sensibles à l'érosion hydrique et éolienne sont les sols de textures grossière (SL) ou très grossière (S).

Les sols franchement limoneux (Lf, Ltf) sont plus battants, présentent une faible stabilité structurale et sont par conséquent plus sensibles à la dégradation. Les sols de texture très fine sont affectés à la même classe de sensibilité que les sols très limoneux en raison de leur vulnérabilité à l'hydromorphie, à la compaction et à la salinisation/sodification secondaire.

En seconde classe sont regroupées les sols de texture fine (LA, AL, AS, SA), soit en position intermédiaire entre les sols équilibrés et les sols lourds. Le tableau suivant regroupe les classes adoptées par l'approche MEDALUS.

**Tableau 14 : Normes de texture du sol**

Classes	Description	Indice
Équilibrée	Limon-sableux, Sable-limono-argileux, limon	1
Fine	Limon-argileux, argile-limoneuse, argile sableuse,	1,33
Très fine (>60% d'argile) ou très limoneuse (> 50% Limon)	Très argileuse, très limoneuse	1,66
Grossière à très grossière	Sable-limoneux, sable	2

Source : Cavallar, 1950 + nos calculs

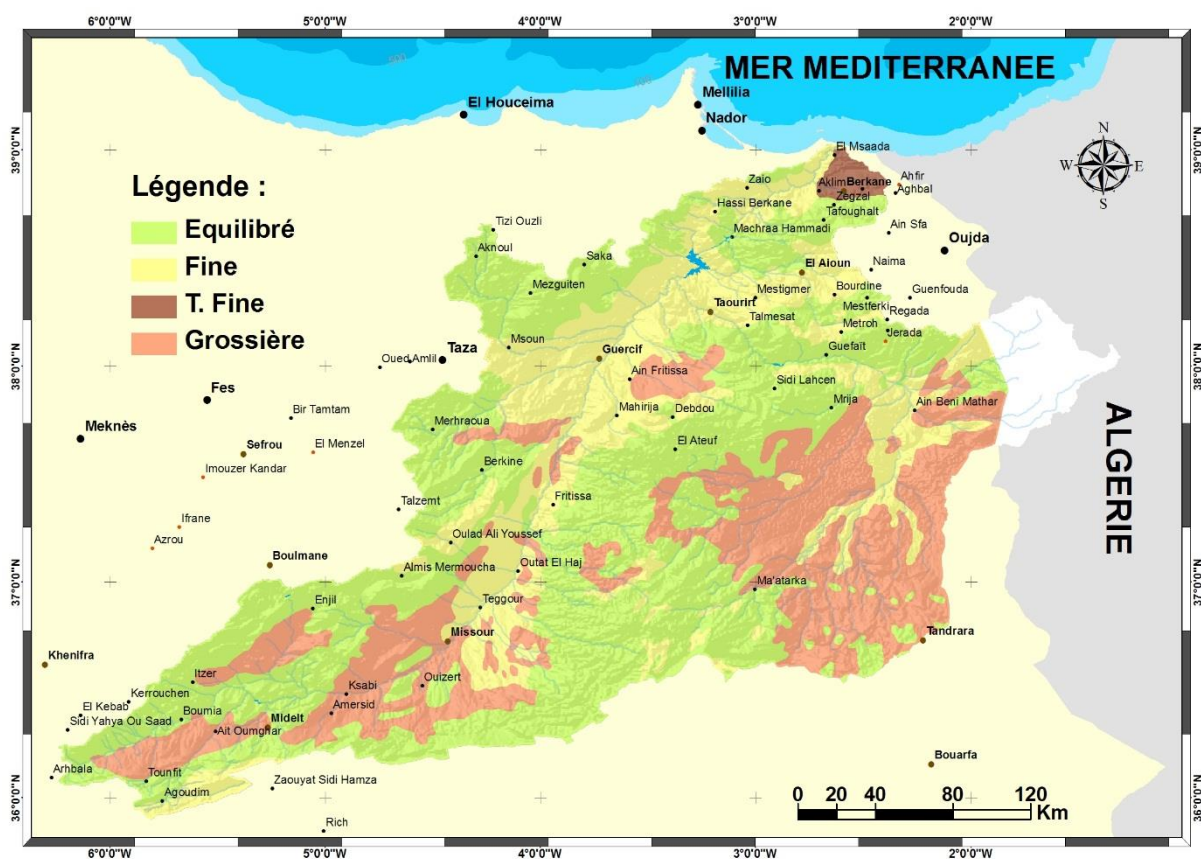
La dérivation de la carte des textures de sols en considérant les classes ci-dessus retenues par l'approche MEDALUS montre une dominance des textures avec plus de 70% de la superficie du bassin.

Les textures fines et très fines représentent plus de 23% et sont surtout localisées au niveau de la vallée de la Moulouya et l'axe de Msoun, Guercif et Taourirt mais aussi au niveau des Hauts Plateaux dans la vallée d'Oued Za. Le bassin versant de la Moulouya est surtout dominé par des textures équilibrées pour plus de 50% de superficie et localisées au niveau des zones de montagne. Les textures grossières sont situées en zones de pente au niveau des Hauts Plateaux et sur les versants Est et Ouest des montagnes de l'Atlas. Le tableau suivant donne l'importance des différentes classes de textures pour l'ensemble du bassin versant.

**Tableau 15 : Superficie des quatre classes de texture**

Classes	Qualité	Indice	Superficie (ha)	%
1	Équilibrée	1	2.652.952	50,04
2	Fine	1,33	1.186.480	22,38
3	Très fine	1,66	40.239	0,76
4	Grossière à Très grossière	2	1.421.680	26,82

Source : Cavallar, 1950 + nos calculs



**Figure 34 : Carte des textures de sol du BV de la Moulouya**

Source : Cavallar, 1950 + nos traitements

### 2.3. Carte des profondeurs

La carte d'esquisse des profondeurs des sols a été élaborée à partir du croisement des données des pentes, de la qualité du couvert végétal (NDVI) et du matériau parental. Les données sur la qualité de la végétation sur une période de 10 ans ont été calculées sur la base des images SPOT végétation et croisées avec les deux cartes de pentes et la carte lithologique.

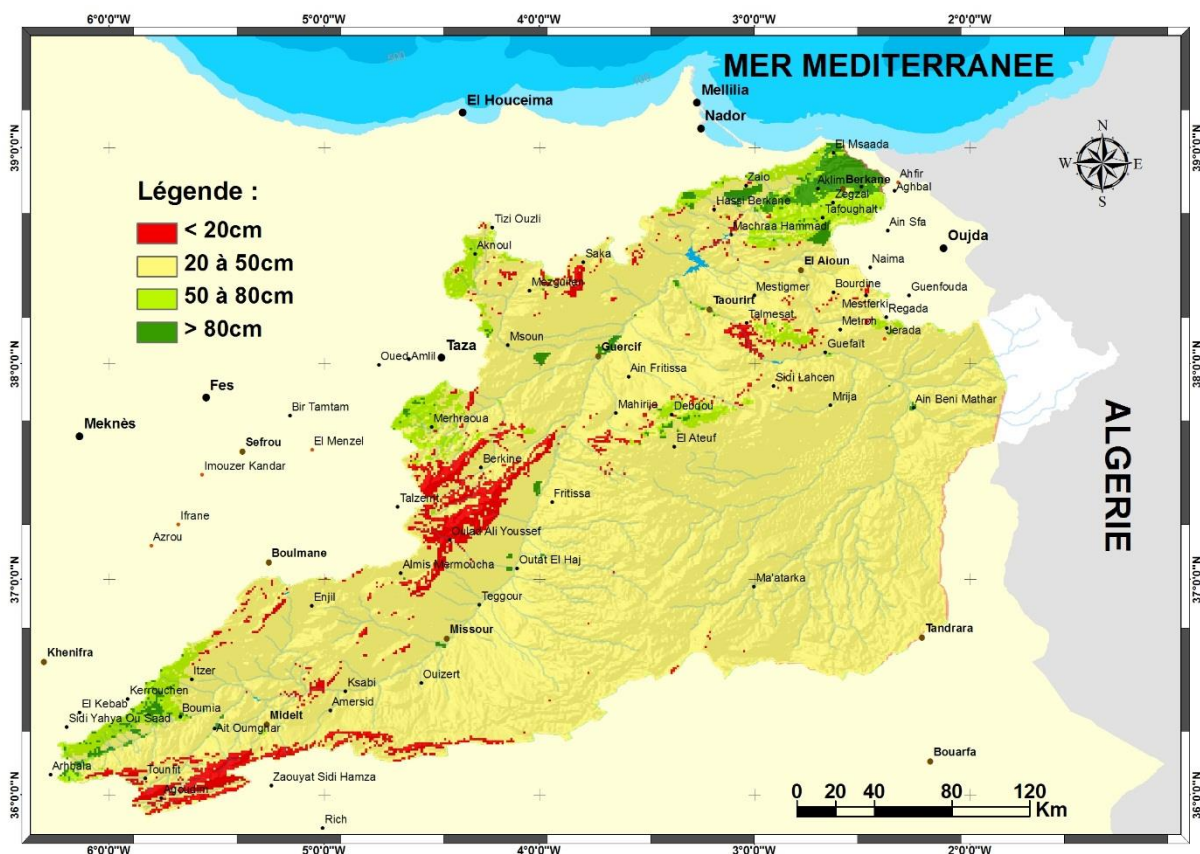
Les données NDVI utilisées sont celles relatives à la dernière décade du mois d'avril (21-30) pour la période entre 1998 et 2007. Il s'agit de scènes NDVI extraites à partir de la base de données VITO ([www.vgt4africa.org](http://www.vgt4africa.org)).

Le tableau suivant donne les valeurs affectées à la profondeur des sols en fonction du NDVI et de la pente. En effet, pour un même niveau de pente, plusieurs auteurs ont souligné la relation linéaire qui existe entre la quantité de biomasse produite (kg/m<sup>2</sup>) et la profondeur du sol (cm) (Kosmas et al., 2001).

**Tableau 16 : Valeurs affectées aux unités de profondeur selon l'approche MEDALUS**

NDVI (*1000)	Pentes			
	< 5%	5 à 15%	15 à 30%	> 30%
> 125	1	1	1,33	1,66
125 à 100	1,33	1,33	1,66	1,66
100 à 75	1,33	1,33	1,66	2
< 75	1,33	1,33	2	2

Les valeurs moyennes du NDVI (\*1000) relatives à la dernière décade du mois d'avril (1998-2007) pour le bassin versant varient de 25 à 185, ce qui signifie que la densité de la végétation est très faible même en zones irriguées (NDVI < 0,2).



**Figure 35 : Carte des profondeurs de sol du BV de la Moulouya**  
Source : Nos traitements

Le tableau suivant donne les normes des profondeurs des sols de la zone. Ainsi, on note que presque 88% du bassin de la Moulouya porterait des sols peu profonds entre 20 cm à 50 cm, localisés surtout au niveau des Hauts Plateaux et de la vallée de la Moulouya. Les zones de pente forte non couvertes par la végétation au niveau des versants escarpés du

Haut et Moyen Atlas portent des sols très érodés et squelettiques sur une superficie de l'ordre de 5%.

**Tableau 17 : Superficie des quatre classes de profondeur**

<i>Classes</i>	<i>Qualité</i>	<i>Indice</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>%</i>
> 80 cm	Très profonds	1	102.550	1,94
50 à 80 cm	Profonds	1,33	267.006	5,03
20 à 50 cm	Peu profonds	1,66	4.676.953	88,22
< 20 cm	Squelettiques	2	254.842	4,81

Source : Nos calculs

#### 2.4. Carte des pentes

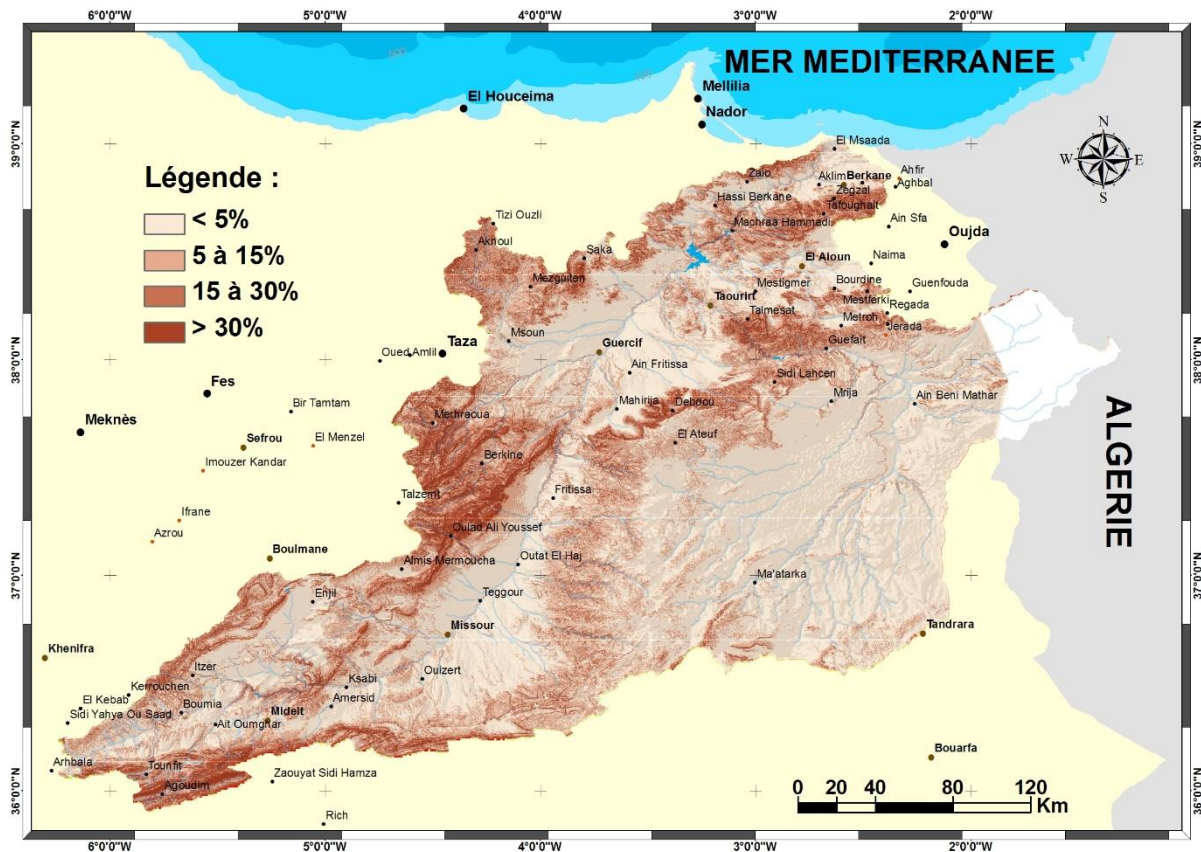
Les normes de pente adoptées par l'approche MEDALUS et les superficies en hectares correspondant à chaque classe montrent, comme indiqué sur le tableau ci-après, que les zones de pentes faible et moyenne (<15%) sont dominantes, notamment dans les plaines et les Hauts Plateaux avec plus de 84% de superficie. Les pentes fortes à très fortes présentent des superficies de l'ordre de 820.000 ha et sont surtout localisées du Moyen Atlas oriental avec son prolongement avec la chaîne de Béni Snassen et dans la Haute Moulouya.

**Tableau 18 : Superficie des quatre classes de pente**

<i>Classes</i>	<i>Qualité</i>	<i>Indice</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>%</i>
< 5%	Faible	1	3.163.796	59,68
5 à 15%	Moyenne	1,33	1.324.727	24,99
15 à 30%	Forte	1,66	537.146	10,13
< 30%	Très forte	2	275.628	5,20

Source : STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008 + nos calculs





**Figure 36 : Carte des normes de pente du BV de la Moulouya**  
 Source : STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008 + nos traitements

## 2.5. Carte de l'indice de la qualité des Sols

Le croisement des quatre couches a permis la dérivation de la carte de la qualité des sols (IQS). Le tableau suivant expose les normes et les superficies correspondant à chaque classe de cet indice. Par ailleurs, il faudra noter que cet indice exprime la qualité du sol du point de vue vulnérabilité à la désertification (évaluée uniquement sur la base de la profondeur, de la texture et pente) et non sa qualité intrinsèque du point de vue aptitude agronomique du sol.

Les résultats de l'IQS montrent que la plus grande partie des terres du bassin de la Moulouya (~ 60%) présente une qualité moyenne, c'est-à-dire, un ensemble de caractéristiques de profondeur, de texture, de matériau parental et pente qui exposent le sol à une moyenne dégradation. Ces sols sont localisés au niveau de la vallée, des plaines et des basses altitudes en général. Cette sensibilité est aussi attribuée à la fine texture des sols situés au niveau des plaines méditerranéennes susceptibles à la battance.

Les sols de bonne qualité par rapport à leur vulnérabilité à la dégradation représentent 37% de la surface totale du bassin et sont localisés en zone de faible pente autour de la vallée, généralement constitués de matériaux à textures équilibrées.

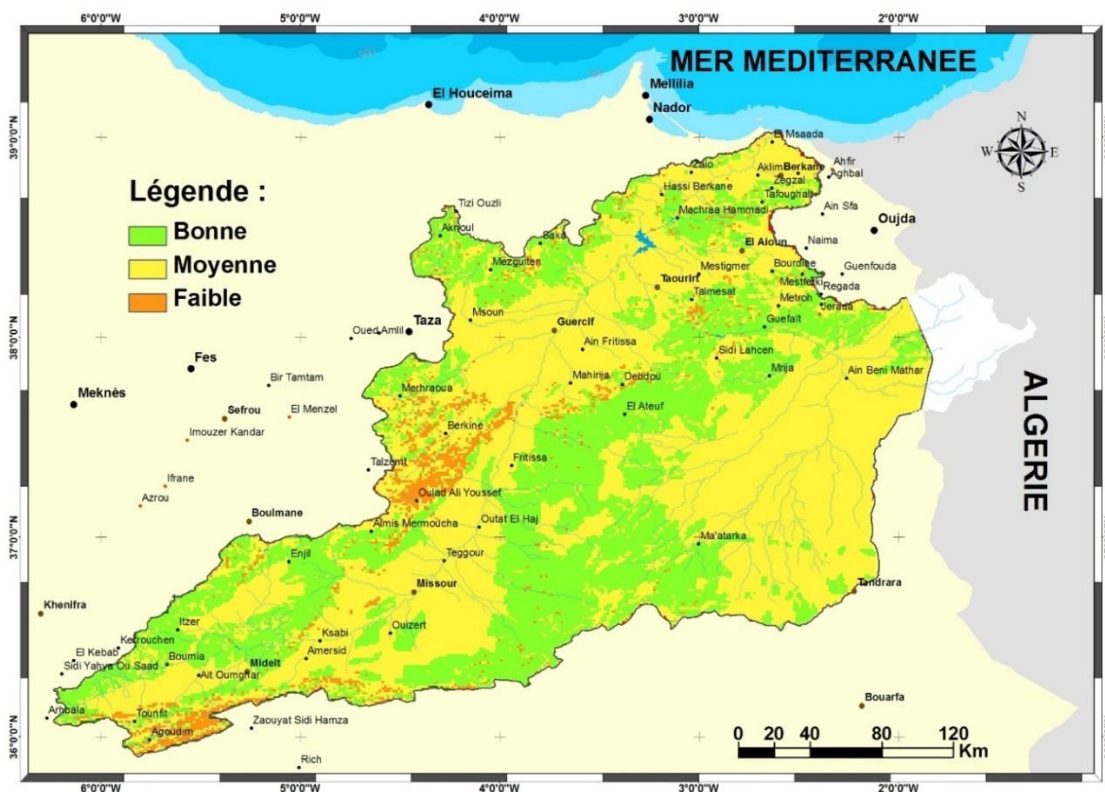
Les sols de faible qualité, très vulnérables à la dégradation, représentent un faible pourcentage de 4%. Ils sont situés notamment sur les terrains à fortes pentes, à formations géologiques tendres et à texture fine (marnes).



**Tableau 19 : Superficie des trois classes de qualité des sols (IQS)**

Classes	Qualité	Valeur	Superficie (ha)	%
1	Bonne	< 1,13	1.927.895	36,37
2	Moyenne	1,13 à 1,45	3.161.460	59,63
3	Faible	> 1,45	211.996	4,00

Source : Nos calculs



**Figure 37 : Carte de l'indice de Qualité des Sols du BV de la Moulouya**

Source : Nos traitements

### 3. Elaboration de la carte de l'indice de qualité de la végétation (IQV)

Cet indice est dérivé comme étant la moyenne géométrique des caractéristiques de la végétation, à savoir les couches relatives au risque d'incendie (RI), à la résistance à la sécheresse (RS), à la protection contre l'érosion par la végétation (PE) et à la couverture végétale (CV) selon la formule suivante :

$$IQV = (RI \times PE \times RS \times CV)^{1/4}$$

#### 3.1. Carte de couverture végétale (CV)

Pour élaborer la carte de la qualité de la végétation pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya on a fait appel à la télédétection en utilisant les images satellites LANDSAT ETM+ acquises entre 2000 et 2001 ayant une résolution spatiale de 30 mètres (15 mètres pour la bande panchromatique) en projection UTM et orthorectifiées.

**Tableau 20 : LANDSAT 7 ETM+ Résolution spectrale et spatiale**

N° Bande	Bande spectrale (microns)	Résolution (m)
1	0.45 to 0.52	30
2	0.53 to 0.61	30
3	0.63 to 0.69	30
4	0.78 to 0.90	30
5	1.55 to 1.75	30
6	10.4 to 12.5	60
7	2.09 to 2.35	30
Panchromatic	0.52 to 0.90	15

Six scènes LANDSAT couvrent la zone d'intérêt, elles sont identifiées par les numéros d'orbites (Path) et de lignes (Raw) : Path : 199 à 201 et Raw : 36 à 38.

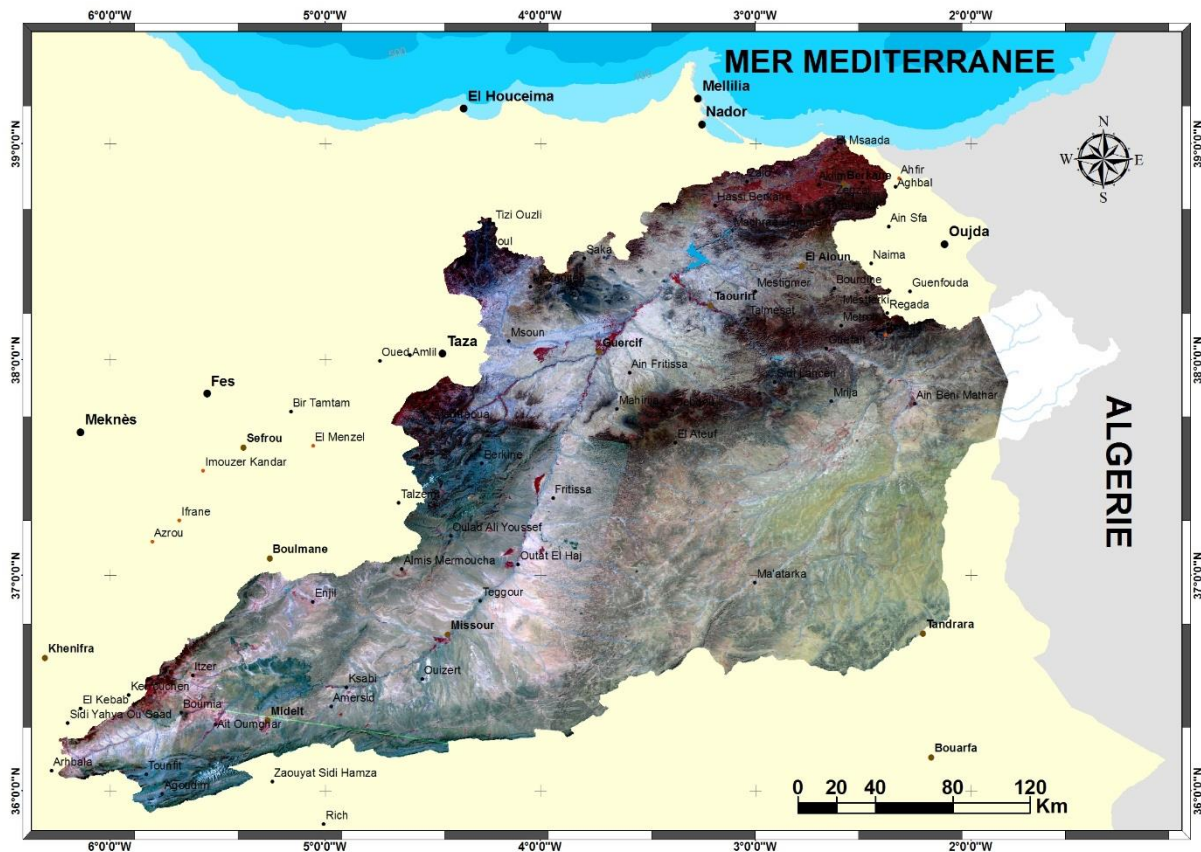
Les cartes topographiques d'échelle 1/100.000 et 1/250.000 et la couche de délimitation du bassin versant ont été utilisées à la fois pour vérifier l'orthorectification des scènes et extraire la zone d'intérêt. Les scènes LANDSAT utilisées sont les suivantes :

**Tableau 21 : Caractéristiques des scènes LANDSAT utilisées**

N° Scène	Date d'acquisition
P199r036_7x20000301	01/03/2000
P199r037_7x20010304	04/03/2001
P200r036_7x20000425	25/04/2000
P200r037_7x20010412	12/04/2001
P200r038_7x20010311	11/03/2001
P201r038_7x20000502	02/05/2000

La date d'acquisition choisie est comprise essentiellement entre les mois de mars et avril pour permettre une meilleure différenciation des différents types d'occupation de sol en fonction de leur réaction vis-à-vis des pluies de saison sachant que la pluviométrie dans la région est relativement faible.

La scène LANDSAT obtenue, rectifiée et mosaïquée, a été utilisée pour déduire l'occupation du sol en adoptant une classification supervisée. Cette classification se base sur la connaissance d'un ensemble de points de terrain pour lesquels l'occupation du sol est connue (vérité de terrain) et à l'aide de l'algorithme statistique de maximum de vraisemblance elle permet d'identifier les groupes de signatures spectrales pour obtenir un nombre de classes d'occupation de sol avec la meilleure séparabilité statistique possible.

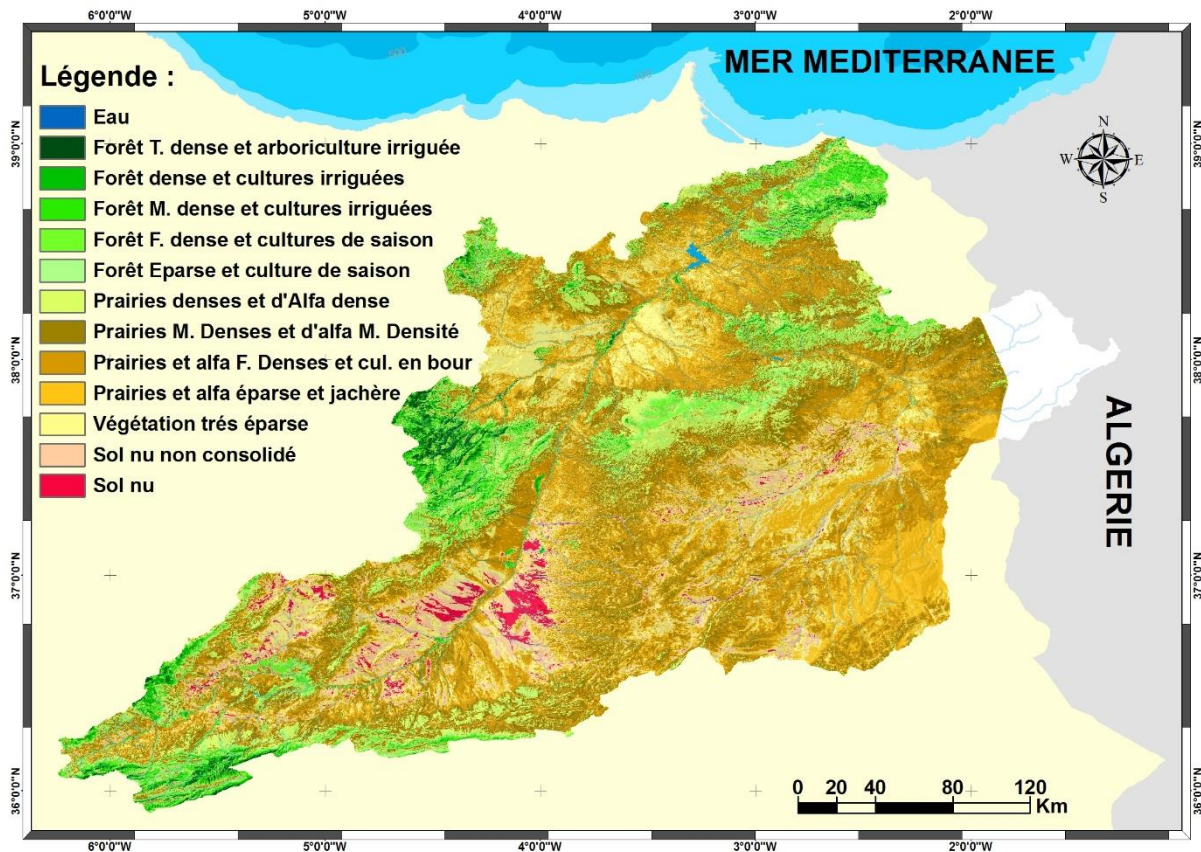


**Figure 38 : Carte de combinaison en fausses couleurs (4-3-2) BV de la Moulouya**  
 Source : Données LANDSAT + nos traitements

Le travail de classification a été réalisé en plusieurs étapes à savoir :

- Regroupement et mosaïquage des bandes spectrales dans une image composite de 9 bandes spectrales (ensemble des bandes spectrales LANDSAT) ;
- Extraction de la région d'intérêt (ROI : Region of interest) ;
- Analyse des variances et corrélations entre les différentes bandes spectrales et choix des bandes spectrales les plus discriminantes (contribution à la variance totale de chaque bande spectrale) ;
- Réalisation de la classification supervisée pour les bandes spectrales discriminantes (algorithme de maximum de vraisemblance) ;
- Mesure des séparabilités (matrice des confusions) et évaluation globale de la classification ;
- Mesure des surfaces des classes et édition de la carte finale d'occupation.

Ainsi, 117 points d'occupation du sol ont été collectés sur le terrain pour permettre de réaliser la classification supervisée. Ces points sont identifiés par leurs coordonnées GPS moyennant des fiches de collecte des données. Ainsi, les résultats de classification (annexe 8) ont permis d'éditionner la carte d'occupation de sol ci-après.



**Figure 39 : Carte d'occupation des sols du BV de la Moulouya**

Source : Données LANDSAT + nos traitements

On note, à travers les résultats d'occupation du sol, que les zones de parcours constituées des prairies essentiellement d'Alfa et de la végétation annuelle constituent plus de 65% de la surface totale du bassin de la Moulouya. La forêt et les surfaces occupées par l'agriculture irriguée ne dépassent pas les 10%.

Les sols à faible recouvrement végétal constitués par de la végétation éparses et le sol nu représentent environ 20% de la surface totale du bassin versant de la Moulouya.

Concernant la précision de la classification, la matrice de confusion indique une précision globale de l'ordre de 71,79% avec un coefficient Kappa de l'ordre de 0,70 pouvant être considéré comme très satisfaisant (entre 0,61 et 0,80).

L'ensemble des classes d'occupation du sol a un coefficient Kappa supérieur à 0,70 (annexe 8).



**Tableau 22 : Superficie des classes d'occupation des sols**

<b>Classes</b>	<b>Occupation</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
1	Eau	4057	0,07
2	Forêt très dense et arboriculture en irriguée	126.566	2,39
3	Forêt dense et cultures irriguées	108.259	2,04
4	Forêt moyennement dense et cultures irriguées	189.671	3,58
5	Forêt faiblement dense et cultures de saison	184.295	3,48
6	Forêt éparses et culture de saison	78.982	1,49
7	Prairies et alpha dense	853.358	16,10
8	Prairies et Alfa de moyenne densité	858.907	16,20
9	Prairies et Alfa F. denses et cultures en Bour	1.266.430	23,89
10	Prairies, alpha éparses et terrains en jachère	535.993	10,11
11	Végétation éparses	709.625	13,39
12	Sol nu non consolidé	296.510	5,59
13	Sol nu	88.697	1,67

Source : Données LANDSAT + nos calculs

La carte de couverture végétale est obtenue par reclassification des différents types d'occupation des sols selon les classes de densité adoptées par l'approche MEDALUS. Le tableau suivant donne les regroupements des occupations proposées et l'importance des classes obtenues.

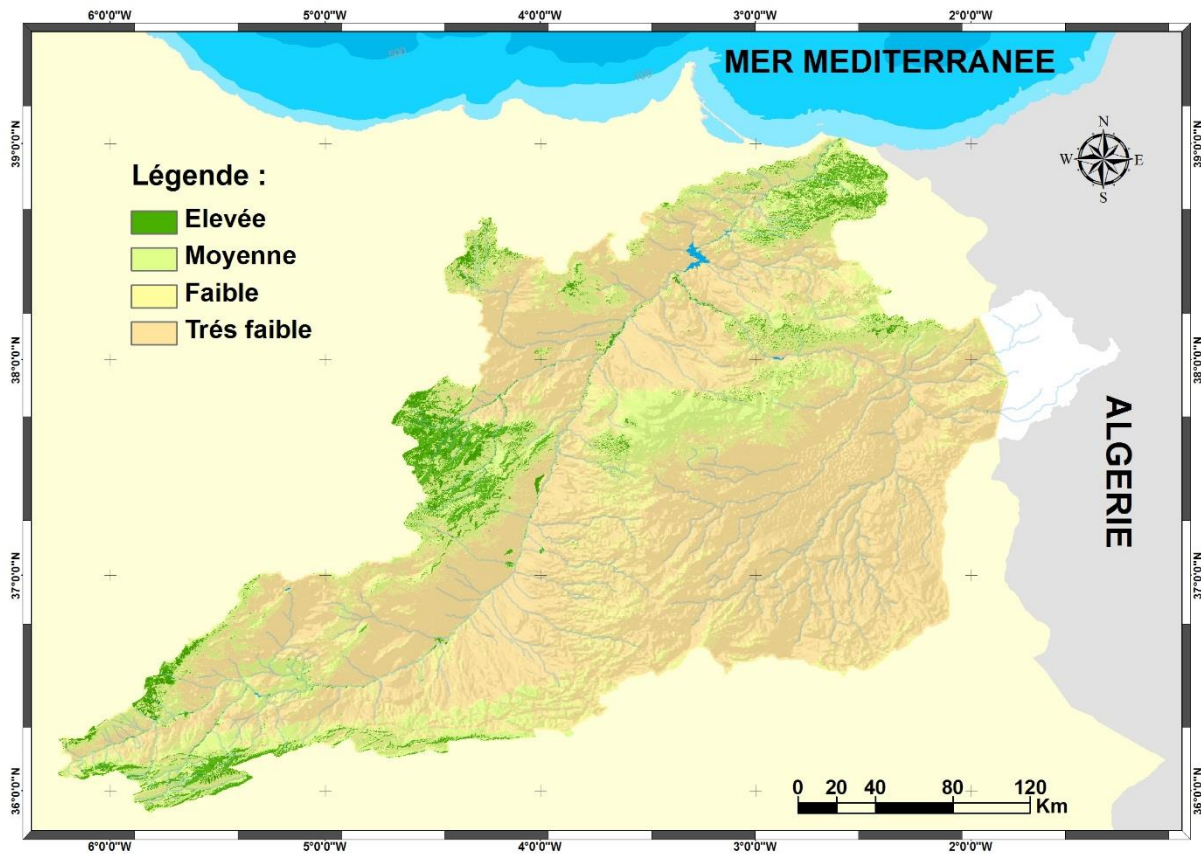
**Tableau 23 : Superficie des quatre classes de couverture des sols (CV)**

<b>Classes</b>	<b>Classes</b>	<b>Qualité</b>	<b>Occupation</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
1	1	Elevée	2, 3, 4	424.496	8,01
2	1,33	Moyenne	5, 6, 7	1.116.635	21,06
3	1,66	Faible	8	858.907	16,20
4	2	Très faible	9 à 13 et 1	2.901.313	54,72

Source : Données LANDSAT + nos calculs

On note que la couverture végétale est faible à très faible pour plus de 70% de la superficie du bassin, soit presque 3 millions d'hectares, la végétation de bon recouvrement ne représente que 8% de l'ensemble du bassin ; elle est localisée surtout en zone forestière de montagne du Moyen Atlas.





**Figure 40 : Carte de couverture végétale du BV de la Moulouya**

Source : Nos traitements

### 3.2. Carte du risque d'incendie (RI)

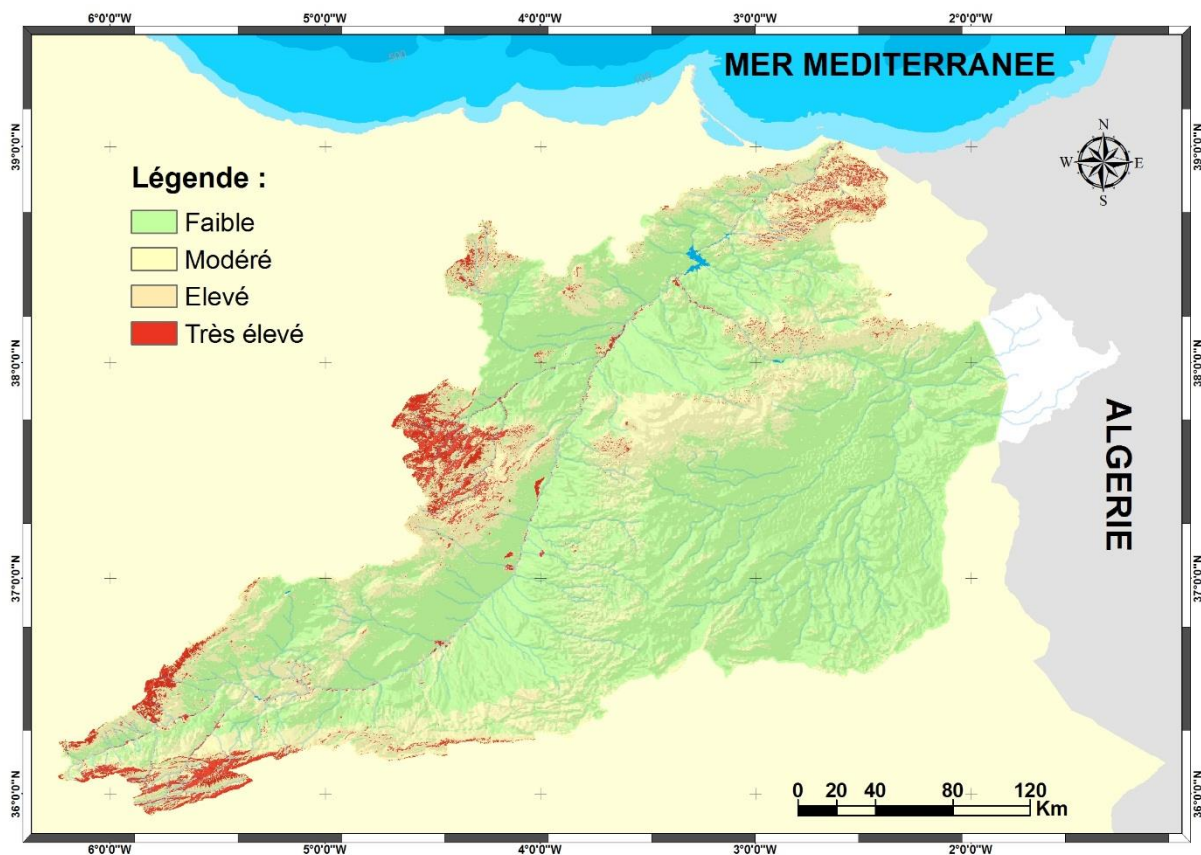
La carte du risque d'incendie pour la végétation est calculée sur la base des données relatives à l'occupation du sol en se basant sur la densité et la sensibilité des différents types de végétation à l'incendie (caractéristiques propres des différentes espèces végétales).

Le tableau 24 montre que la végétation de faible densité et le sol nu présentent un risque faible d'incendie avec 71% de la surface totale. Les zones présentant un risque élevé d'incendie sont les zones forestières de forte et moyenne densité, mais ne dépassent pas 9% de la superficie totale du bassin.

**Tableau 24 : Superficie des quatre classes de risque d'incendie (RI)**

Classes	Classes	Qualité	Occupation	Superficie (ha)	%
1	1	Faible	8 à 13 et 1	3.760.220	70,93
2	1,33	Modérée	7, 6, 5	1.116.635	21,06
3	1,66	Elevée	4	189.671	3,58
4	2	Très élevée	2, 3	234.825	4,43

Source : Nos calculs



**Figure 41 : Carte du risque d'incendie du BV de la Moulouya**

Source : Nos traitements

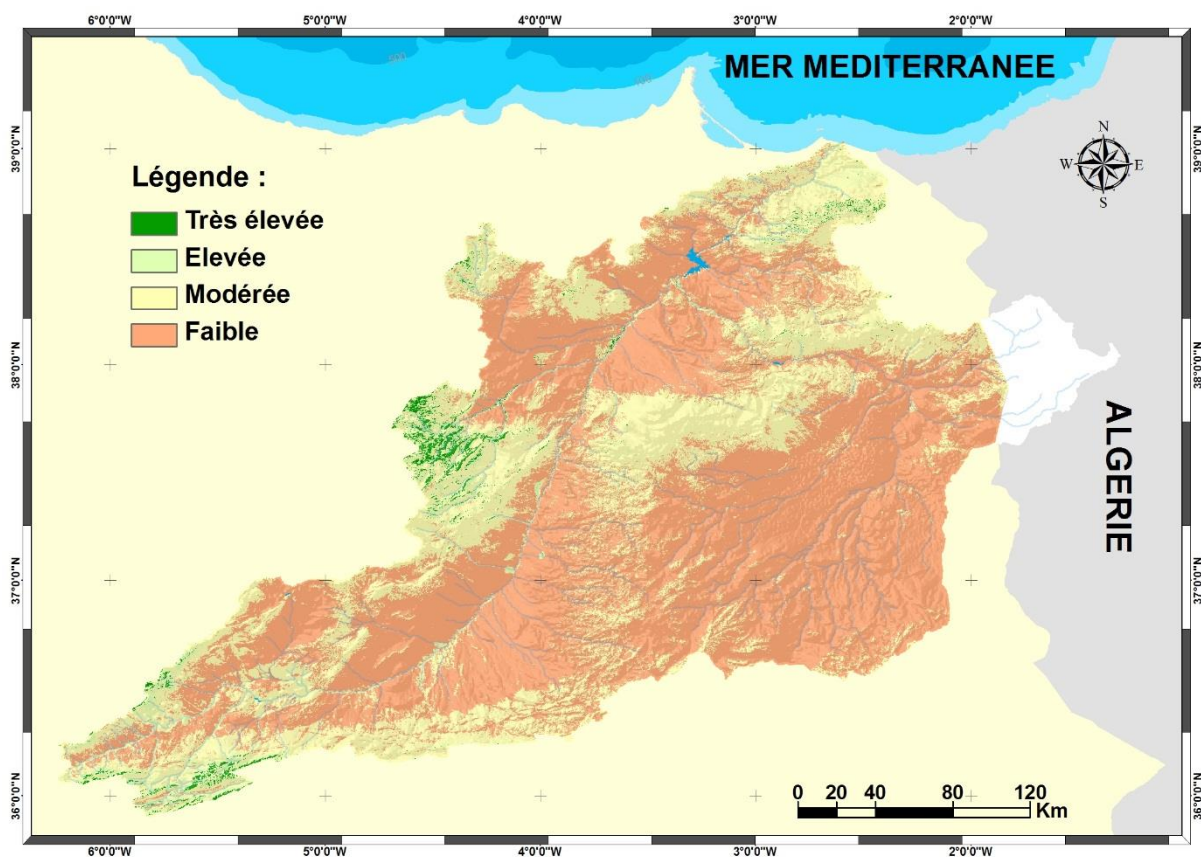
### 3.3. Carte de protection contre l'érosion par la végétation (PE)

La carte de protection contre l'érosion par la végétation a été dérivée à partir de la carte d'occupation du sol. Les résultats obtenus montrent que la végétation de faible à très faible densité et le sol nu présentent une faible protection contre l'érosion avec 54% de la surface totale. Les zones présentant une bonne et très bonne protection contre l'érosion sont les régions forestières de bonne densité ; elles ne dépassent pas 5% de la superficie totale du bassin.

**Tableau 25 : Superficie des quatre classes de protection contre l'érosion (PE)**

Classes	Classes	Qualité	Occupation	Superficie (ha)	%
1	2	Faible	9 à 13 et 1	2.901.313	54,72
2	1,66	Modérée	8, 7, 6, 5, 4	2.165.212	40,84
3	1,33	Élevée	3	108.258	2,04
4	1	Très élevée	2	126.566	2,38

Source : Nos calculs



**Figure 42 : Carte de protection contre l'érosion de la Moulouya**

Source : Nos traitements

### 3.4. Carte de résistance à la sécheresse (RS)

La dérivation de la couche relative à la résistance à la sécheresse par la végétation a été extraite en utilisant les classes consignées dans le tableau ci-après. Cette reclassification pixel par pixel de la carte d'occupation des sols de la zone permet de remarquer que l'ensemble de la végétation naturelle est globalement bien adapté aux conditions du milieu et présente donc une bonne résistance à la sécheresse. Alors que les zones de cultures en irrigué et en Bour sont plus sensibles.

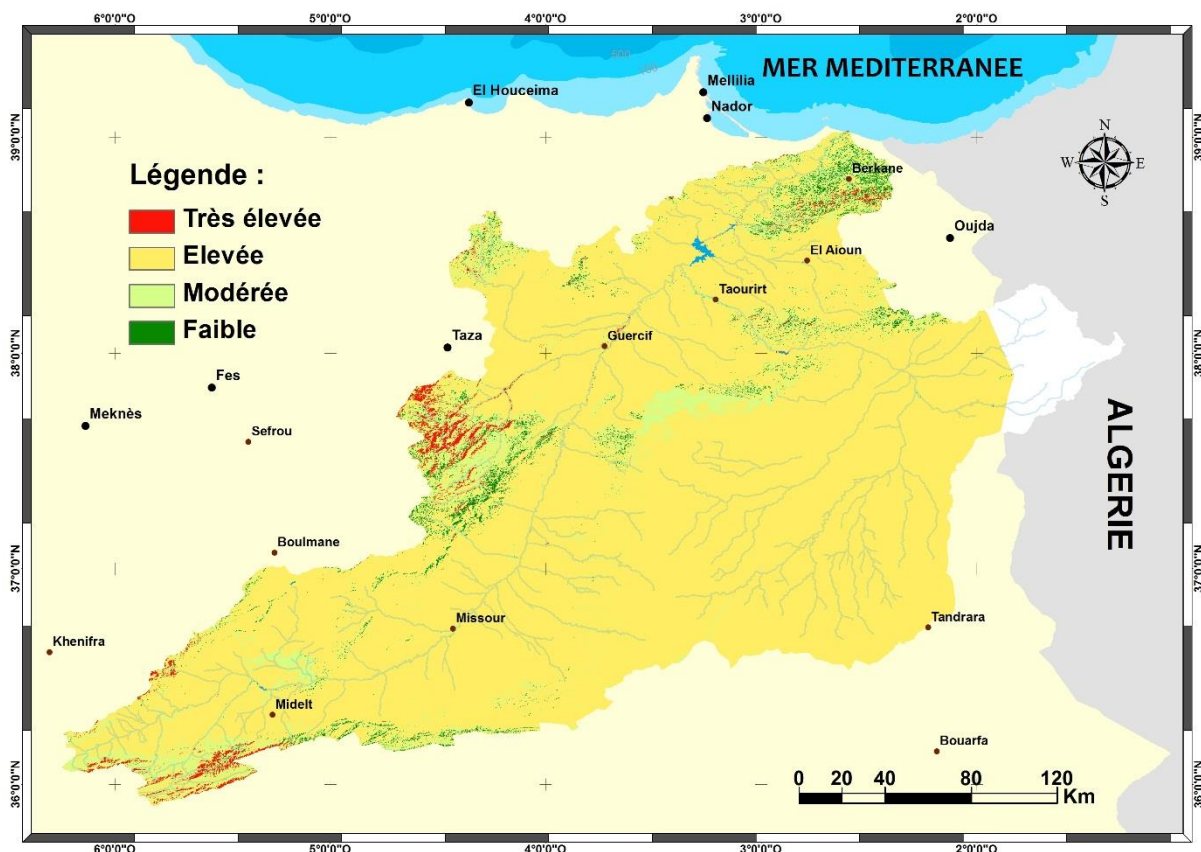
**Tableau 26 : Superficie des quatre classes de résistance à la sécheresse (RS)**

Classes	Classes	Qualité	Occupation	Superficie (ha)	%
1	1	Très élevée	2, 1	130.624	2,46
2	1,33	Elevée	3, 6 à 13	4.796.762	90,48
3	1,66	Modérée	5	189.671	3,58
4	2	Faible	4	184.294	3,48

Source : Nos calculs

Ainsi, on note que les zones qui présentent une bonne résistance à la sécheresse représentent plus de 90% du territoire du bassin versant. Ces zones sont occupées par la végétation naturelle sous forme de forêts et des parcours d'Alfa (*Stipa tenacissima*) qui sont bien adaptés aux conditions du milieu en plus de la végétation xérophile épars et du sol nu.





**Figure 43 : Carte de résistance à la sécheresse de la Moulouya**

Source : Nos traitements

### 3.5. Carte de l'indice de la qualité de la végétation

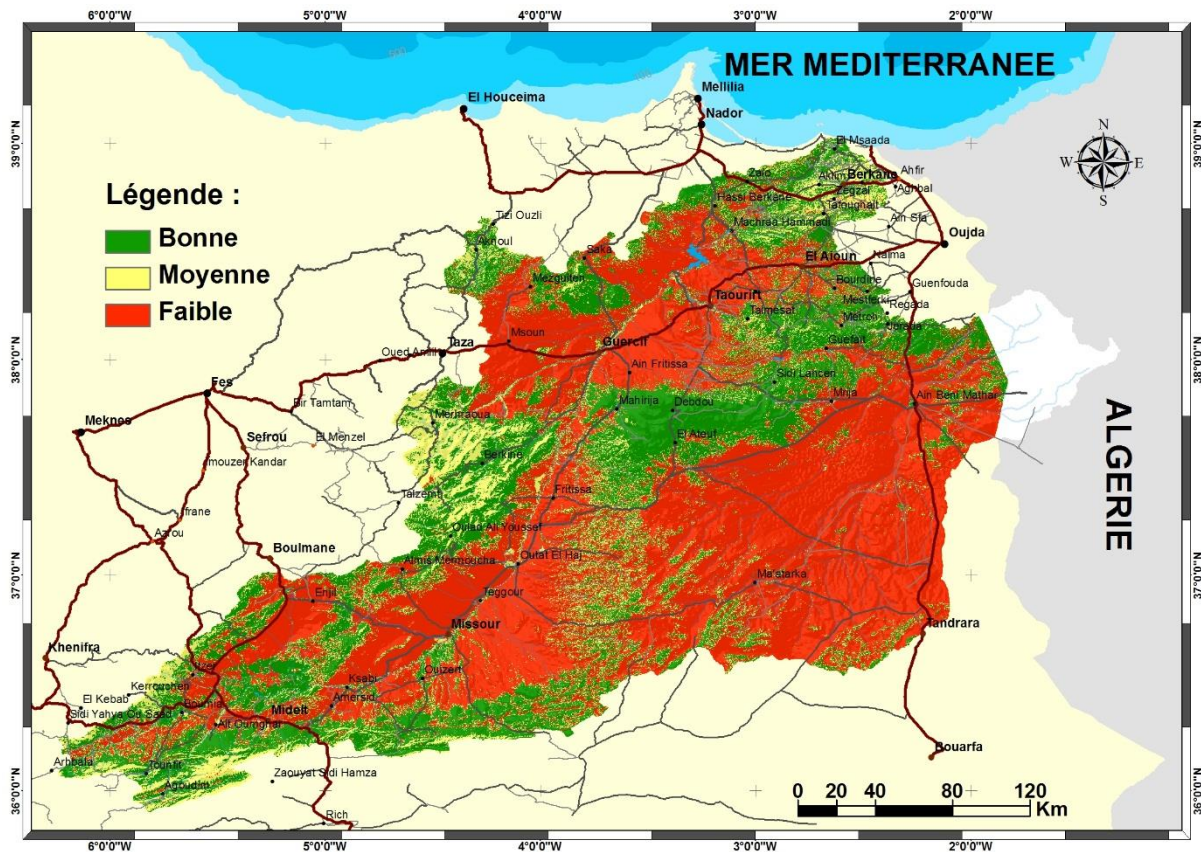
La couverture végétale est faible à très faible sur 55% de la superficie du bassin. La végétation présentant les bonnes caractéristiques pour la protection contre la dégradation ne constitue que 37% de la superficie totale du bassin.

La carte de l'indice de qualité de la végétation établie par croisement des quatre indices RI, RS, PE et CV montre que les zones ayant une bonne qualité de la végétation sont surtout situées en régions forestières de montagne. Les régions dont la végétation est de moindre qualité sont situées au niveau de la vallée de Missouri, le long de l'axe Ouest Est de Guercif à Taourirt et sur des Hauts Plateaux.

**Tableau 27 : Superficie des trois classes de qualité de la végétation (IQV)**

Classes	Qualité	Valeur	Superficie (ha)	%
1	Bonne	< 1,10	1.975.542	37,26
2	Moyenne	1,10 à 1,20	424.496	8,01
3	Faible	> 1,20	2.901.313	54,73

Source : Nos calculs



**Figure 44 : Carte de la qualité de la végétation du BV de la Moulouya**

Source : Nos traitements

#### 4. Elaboration de la carte de l'indice de qualité des systèmes d'aménagement

L'indice de qualité du système d'aménagement des terres a été calculé sur la base de trois paramètres à savoir l'intensité d'utilisation des terres agricoles (IUTA), l'intensité d'utilisation des terres de parcours (IUTP) et la pression de la population (DP).

$$IQSA = (DP \times IUTA \times IUTP)^{1/3}$$

Les cartes de l'IUTP et du DP ont été préparées à partir des données statistiques communales relatives au recensement de la Population et de l'Habitat de 2004 (RGPH) et du Recensement Général de l'Agriculture de 1996 (RGA). La carte de l'IUTA, elle, a été obtenue en se basant sur la carte de l'occupation du sol éditée précédemment.

##### 4.1. Carte de l'intensité d'utilisation des terres de parcours (IUTP)

L'intensité d'utilisation des terres de parcours au niveau du bassin versant de la Moulouya a été calculée par commune en se basant sur la densité moyenne des petits ruminants (ovins et caprins) à partir des données du recensement général agricole de 1996. Les résultats obtenus permettent de s'apercevoir que les régions où la densité des animaux est la plus élevée correspondent aux zones de parcours collectifs surtout localisées en montagne et aussi aux régions de plaine d'agriculture irriguée et intensive avec 12% de la superficie. Les Hauts Plateaux, la haute et la moyenne Moulouya sont des zones moins favorables à cause de la faible productivité des parcours et présentent donc des densités d'animaux moins élevées.

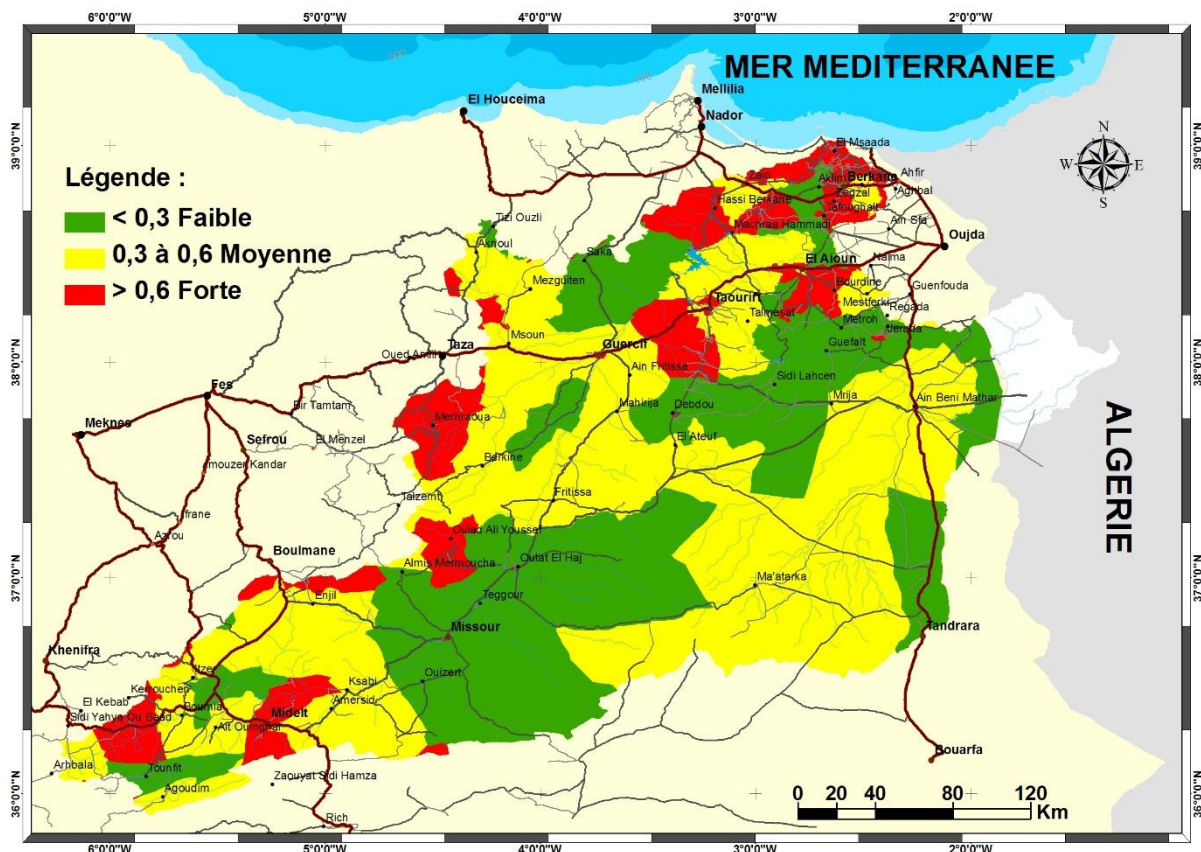


**Tableau 28 : Superficie et normes d'intensité d'utilisation des parcours (IUTP)**

Classes	Qualité	Valeur	Superficie (ha)	%
1	Faible (< 0,3T*/ha)	1	1.932.542	36,45
2	Moyenne (0,3 à 0,6T/ha)	1,5	2.721.088	51,33
3	Forte (> 0,6T/ha)	2	647.721	12,22

T : Têtes de petits ruminants (Ovins + Caprins)

Source : RGA, 1996 + nos calculs



**Figure 45 : Carte d'intensité d'utilisation des terres de parcours**

Source : RGA, 1996 + nos traitements

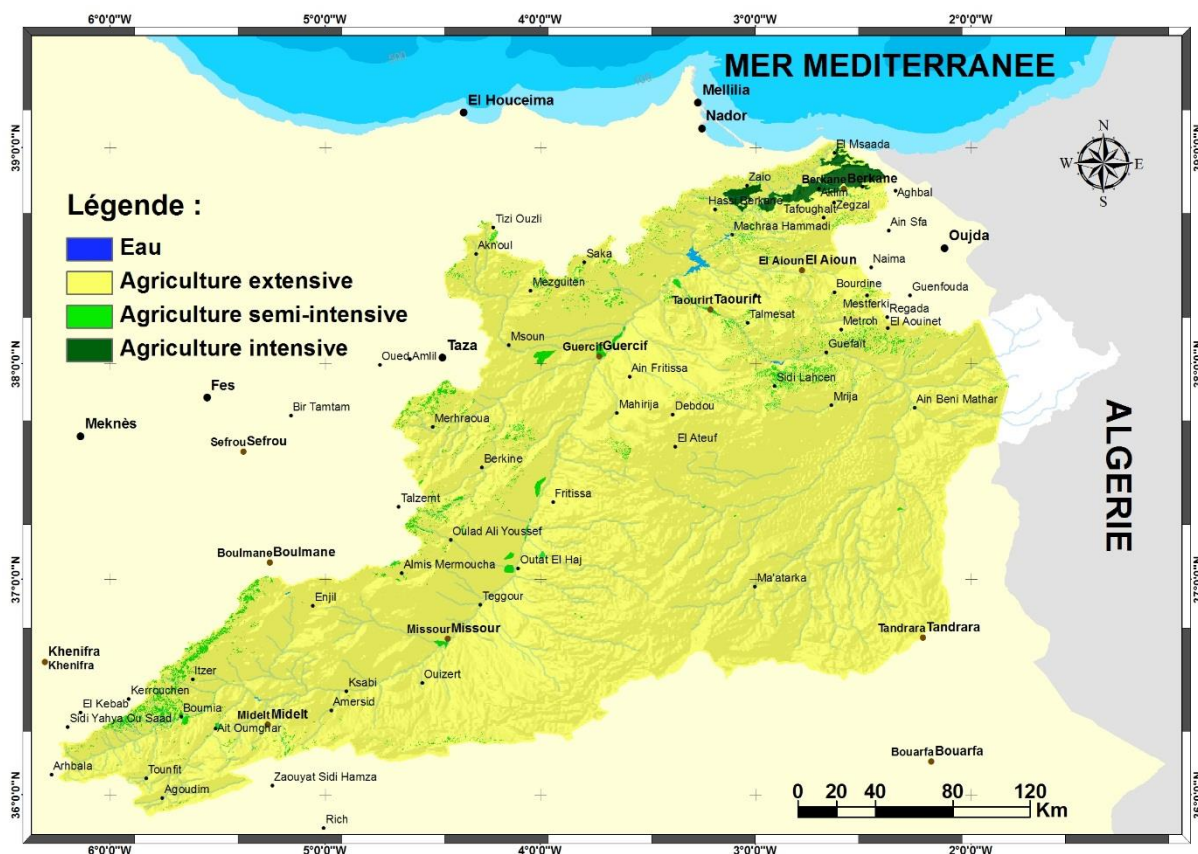
#### 4.2. Intensité d'utilisation des terres agricoles (IUTA)

L'indice de qualité du système d'aménagement des terres a été calculé sur la base de la carte d'occupation des sols et a permis de dégager les différents niveaux d'intensité d'utilisation des terres au niveau du bassin versant de la Moulouya. On note ainsi que plus de 97% de la zone est occupée par de l'agriculture extensive. L'agriculture semi-intensive est située au niveau des zones d'irrigation (petite et moyenne hydraulique ou pompage) autour de la vallée et des plaines de la Moyenne et de la Haute Moulouya. L'agriculture intensive est localisée au niveau de la Basse Moulouya, ce sont les périmètres équipés par la grande hydraulique et irriguées essentiellement par les eaux du barrage Mohamed V.

**Tableau 29 : Superficie et normes d'intensité d'utilisation des terres agricoles (IUTA)**

Classes	Qualité	Valeur	Superficie (ha)	%
1	Faible (non agricole ou extensif)	1	5.165.236	97,43
2	Moyenne (agriculture semi-intensive)	1,5	91.586	1,73
3	Forte (agriculture intensive)	2	44.528	0,84

Source : Nos calculs



**Figure 46 : Carte d'intensité d'utilisation des terres agricoles**

Source : Nos traitements

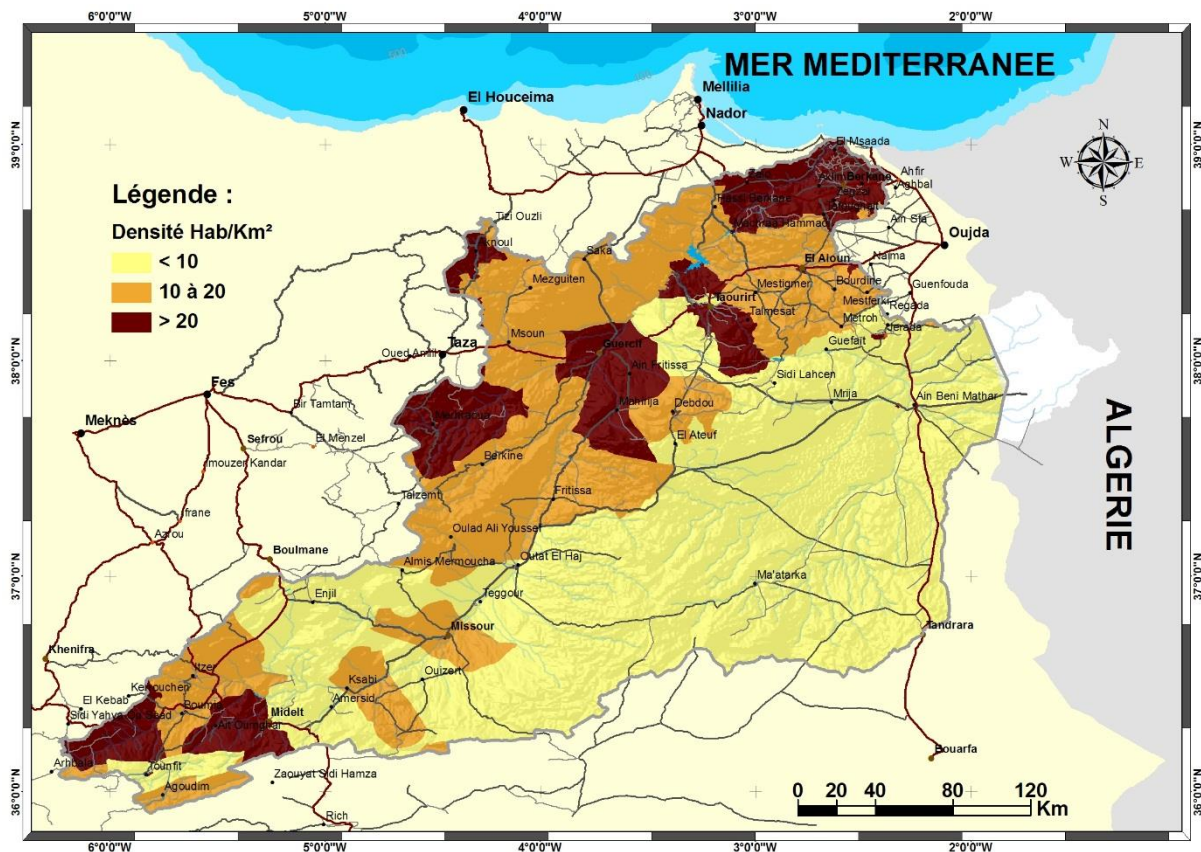
#### 4.3. Intensité de la pression de la population (DP)

L'indice de l'intensité de la pression humaine, évaluée par la densité moyenne de la population par commune, montre que la répartition de la population au niveau du BV de la Moulouya est très liée à la qualité du climat et à l'enclavement. Les zones du sud-est, plus enclavées et plus arides, sont les moins peuplées.

**Tableau 30 : Superficie et normes de la pression de la population (DP)**

Classes	Qualité	Valeur	Superficie (ha)	%
1	Faible (< 10 Habitants/km <sup>2</sup> )	1	2.891.763	54,55
2	Moyenne (10 à 20 Habitants/km <sup>2</sup> )	1,5	1.627.519	30,70
3	Forte (> 20 Habitants/km <sup>2</sup> )	2	782.069	14,75

Source : RGPH, 2004 + nos calculs



**Figure 47 : Carte de la pression de la population**

Source : RGPH, 2004 + nos traitements

#### 4.4. Carte de l'indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA)

La carte de l'indice de la qualité du système d'aménagement est obtenue par croisement multiplicatif des trois indices DP, IUTA, IUTP.

La carte de l'indice de la qualité du système d'aménagement obtenue montre que la plus grande partie du bassin versant (85%) présente une bonne qualité du système d'aménagement. Ceci est dû à la présence d'une agriculture basée sur l'élevage extensif et à la faiblesse de la pression démographique comparativement aux zones situées principalement dans la Basse Moulouya où l'agriculture est intensive et la pression humaine et animale est relativement plus élevée.



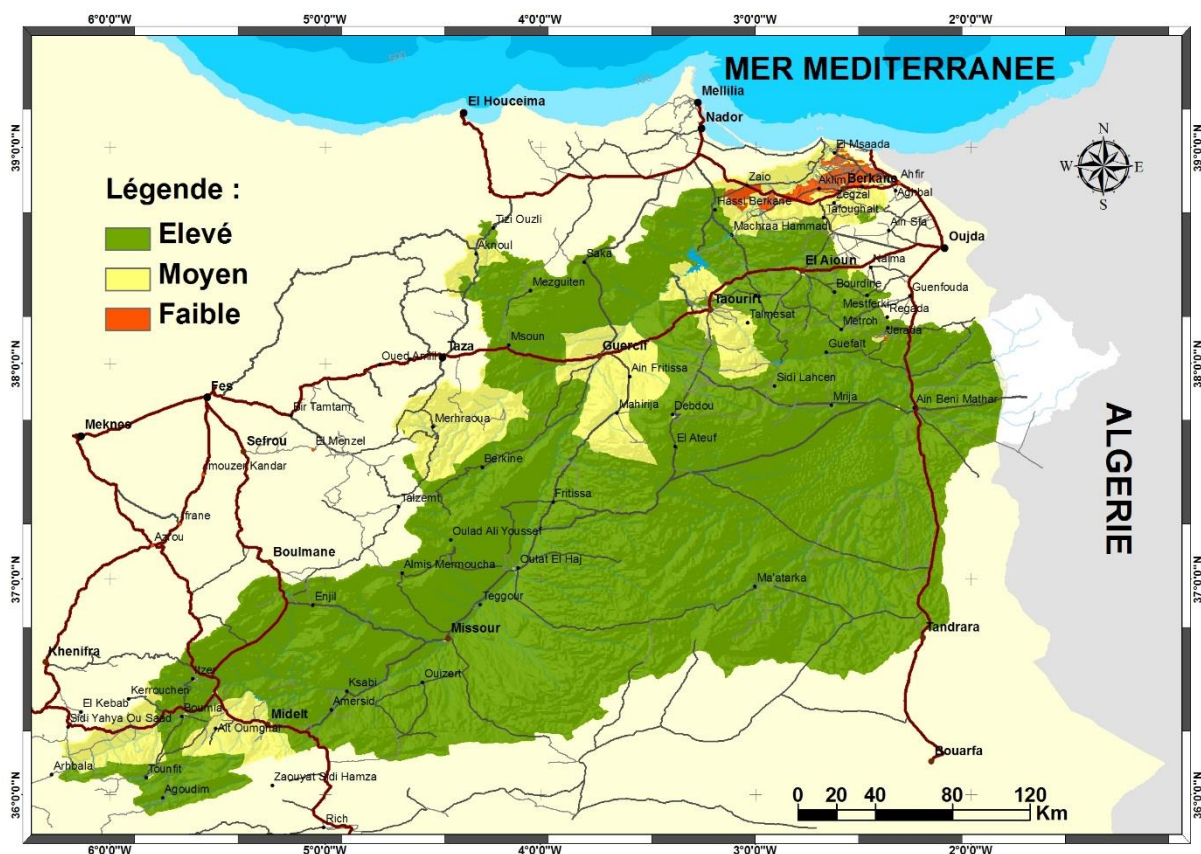


Figure 48 : Carte de la qualité du système d'aménagement

Source : Nos traitements

Tableau 31 : Superficie et normes de qualité du système d'aménagement (IQSA)

Classes	Qualité	Valeur	Superficie (ha)	%
1	Faible	1 à 1,30	4.520.173,88	85,27
2	Moyenne	1,3 à 1,60	736.585,13	13,89
3	Elevée	> 1,60	44.591,99	0,84

Source : Nos calculs

## 5. Elaboration de la carte de l'indice de sensibilité à la désertification

La carte de sensibilité à la désertification est dérivée par croisement des quatre indices relatifs au sol (IQS), à la végétation (IQV), au climat (IQC) et au système d'aménagement (IQSA), selon l'équation suivante :

$$ISD = (IQS \times IQV \times IQC \times IQSA)^{1/4}$$

Les normes de classification de la carte obtenue en 4 classes de sensibilité selon l'approche MEDALUS ont permis d'obtenir des informations pertinentes concernant les zones sensibles ou peu sensibles à la désertification.

**Tableau 32 : Types, sous-types et indice de sensibilité à la désertification (ISD)**

<i>Classes</i>	<i>Type</i>	<i>Sous type</i>	<i>ISD</i>
1	Zones critiques	C3	> 1,53
		C2	1,42 à 1,53
		C1	1,38 à 1,42
2	Zones fragiles	F3	1,33 à 1,37
		F2	1,27 à 1,32
		F1	1,23 à 1,26
3	Zones potentiellement sensibles	P	1,17 à 1,22
4	Zones peu sensibles	N	< 1,17

Le tableau 33 donne l'importance en termes de superficie des quatre classes de sensibilité à la désertification dans le bassin. Ces valeurs montrent que plus de la moitié du territoire du bassin de la Moulouya, soit 61%, est classée critique à fragile. Ces zones sont particulièrement situées dans la vallée et ses périphéries. Les zones de montagne sont plutôt classées potentiellement sensibles à peu sensibles.

Les terres de la Basse Moulouya sont plutôt vulnérables à la désertification, particulièrement à cause des effets combinés du climat, de la pression démographique et de l'intensification de l'agriculture. En montagne, l'érosion reste quand même un facteur important de dégradation, notamment dans les zones où le couvert végétal a subi une dégradation importante.

La carte de l'ISD montre en outre qu'une grande partie des Hauts Plateaux est plus soumise à la désertification. Cette nuance est surtout liée à la combinaison de l'influence du climat qui est plus agressif (aride à désertique vers l'Est) et de la topographie de la zone.

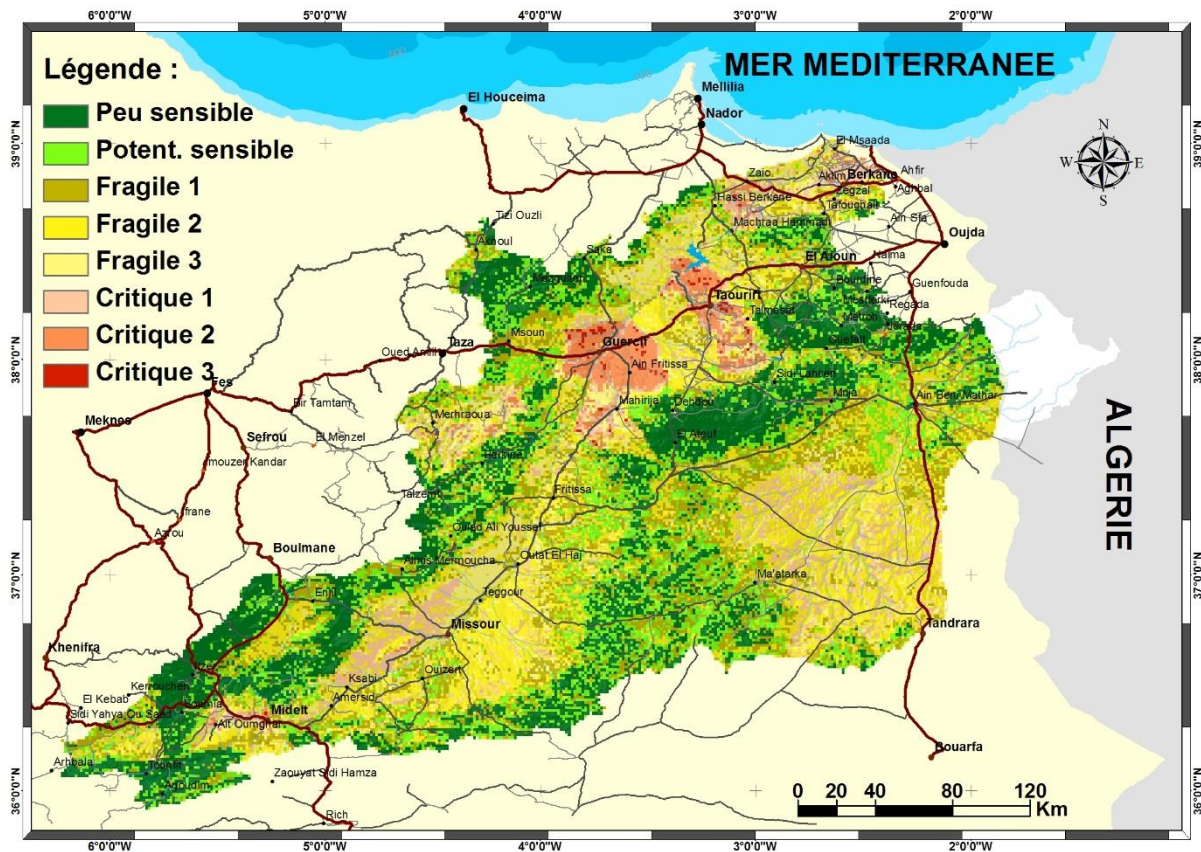
Les régions de Guercif et de Taourirt sont classées en zone critique surtout à cause de la pression démographique par rapport à leur faible potentiel biophysique.

**Tableau 33 : Superficie des quatre classes de sensibilité à la désertification (ISD)**

<i>Classes</i>	<i>Type</i>	<i>ISD</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>%</i>
1	Zones critiques	> 1,38	555.753	10,48
2	Zones fragiles	1,23 à 1,37	2.693.827	50,82
3	Zones potentiellement sensibles	1,17 à 1,22	923.657	17,42
4	Zones peu sensibles	< 1,17	1.128.114	21,28

Source : Nos calculs





**Figure 49 : Carte de sensibilité à la désertification du BV de la Moulouya**

Source : Nos traitements

### C. CONCLUSION

Les systèmes d'information géographique représentent un outil pertinent pour l'évaluation de la sensibilité à la désertification et la modélisation spatiale de la dynamique des phénomènes naturels et ont permis de manipuler et traiter une grande masse de données.

L'évaluation de la sensibilité à la désertification du bassin versant de la Moulouya a été réalisée moyennant l'utilisation de l'approche MEDALUS. Ainsi, à travers ce chapitre, il a été montré l'intérêt de l'usage combiné de l'approche MEDALUS et des SIG pour identifier et spatialiser les zones de sensibilité à la désertification en vue de proposer des scénarios pour une meilleure gestion des risques de dégradation du milieu en relation avec leurs potentiels naturels et les pressions anthropiques.

Les cartes thématiques élaborées et la carte globale de sensibilité à la désertification de la zone, peuvent être utilisées comme des supports numériques d'analyse de risques et des outils d'aide à la décision.

La répartition spatiale permet de distinguer quatre grandes zones de sensibilité à la désertification, à savoir :

- Les Hauts Plateaux et la vallée de Missouri du bassin sont des zones fragiles ;
- Le tronçon Guercif Taourirt correspondant à des zones critiques essentiellement à cause de la pression démographique ;
- Les régions de montagne potentiellement sensibles à peu sensibles ;
- La Basse Moulouya sensible à critique à cause de l'intensification agricole et de la pression démographique.

Globalement, le bassin de la Moulouya peut être subdivisé en deux grandes zones de sensibilité différente, les zones de montagne qui sont peu à potentiellement sensibles sur 39% de la superficie du bassin et les zones situées dans la vallée, sur les Hauts Plateaux et dans la Basse Moulouya qui sont plutôt fragiles à critiques.

Cependant, il a été noté, à cause du manque de données plus fines, surtout lors du calcul de la densité de la population, que l'indice de sensibilité à la désertification pour les communes où le secteur tertiaire est plus développé (situées sur le grand axe routier) a été surévalué en raison de la prise en compte d'une partie de la population non concernée par l'activité agricole.

Concernant les insuffisances de l'approche MEDALUS, il est utile de signaler que la méthode de calcul de l'indice de sensibilité à la désertification repose sur des hypothèses qui ne sont pas toujours faciles à vérifier sur le terrain.

Ainsi, le calcul de l'indice de sensibilité à la désertification par simple superposition des différents indices de qualité et sans aucune pondération pose un problème lié à l'importance de chaque facteur dans le calcul de l'indice de sensibilité à la désertification en relation avec les conditions du milieu. En plus, le choix des normes de classification des couches de base ne sont pas toujours défendables en relation avec les caractéristiques du milieu et de son hétérogénéité intrinsèque.

Par ailleurs, l'intégration dans le modèle de calcul de plusieurs couches de données de différentes sources et de différentes formes influence énormément la précision du résultat.

D'un autre côté, les mécanismes du marché, les niveaux de subventions agricoles et les changements des technologies qui pourraient avoir un lien direct avec les changements environnementaux ne sont pris en compte que d'une manière implicite à travers l'occupation du sol et la densité du cheptel.

Dans ce sens et pour mieux exploiter les résultats obtenus, des études ciblées sur les zones les plus sensibles doivent être menées en vue de spécifier, identifier et analyser les causes de la dégradation là où il y a lieu, y compris les études socio-économiques à caractère local ou régional.

Le présent chapitre présente les résultats de l'utilisation des données de NOAA AVHRR, SPOT VEGETATION et MEDOKADS pour le suivi spatio-temporel de la dynamique de la végétation au niveau régional. Il est basé sur le traitement de l'ensemble de ces données en les combinant avec les séries de données relatives au climat.

### A. APERÇU SUR LA TELEDETECTION

La télédétection est l'art d'obtenir des informations sans contact physique entre le dispositif de collecte des données et l'objet étudié (Campbell, 1996 ; Jensen, 2000). La Société Américaine de Photogrammétrie et de Télédétection (ASPRS) a formellement défini la télédétection comme « l'art, la science et la technologie d'obtention d'informations fiables sur les objets physiques et de l'environnement à travers le processus d'enregistrement, de mesure, d'imagerie et d'interprétation des représentations numériques de l'énergie des motifs dérivés de systèmes de capteurs sans contact » (Colwell, 1997).

La télédétection spatiale constitue un outil idéal de collecte, de suivi de l'information spatiale reliée aux sciences de la terre et à son environnement. Basée sur l'observation de la terre par satellites, elle intègre facilement les diverses disciplines scientifiques (géostatistique, Informatique, SIG) en vue de combler les lacunes relatives à la spatialisation et au suivi temporel des changements. Les intérêts qu'elle présente sont :

- Caractère homogène, synoptique et répétitif des observations sur des superficies importantes ;
- Données numériques normalisées exploitables directement pour l'identification des occupations du sol et la détection et l'évaluation des changements ;
- Sa complémentarité avec des bases de données et des modèles numériques en vue d'une synthèse et de l'analyse de l'information.

Ainsi, l'un des grands avantages de la télédétection satellitaire est sa capacité à amasser périodiquement de l'information d'une même région de la Terre. Puisque les caractéristiques spectrales de la région observée peuvent changer avec le temps, la comparaison d'images multi-temporelles favorise la détection des changements et l'élimination des effets atmosphériques comme les couvertures nuageuses et la brume (Turner et al., 2003). Selon Lu et al. (2003), l'acquisition des données de télédétection par date anniversaire permet d'éliminer toutes les influences saisonnières et constitue un outil important dans les études de détection du changement.

### B. DIFFICULTES DE LA TELEDETECTION DES CHANGEMENTS EN MILIEUX ARIDES

Une revue rapide de la littérature scientifique disponible concernant la détection des changements de la végétation révèle que, par rapport aux études de détection des changements en milieux tempérés et forestiers, les études de détection des changements dans les milieux arides restent plutôt faibles et ponctuelles.

En milieux arides et semi-arides, les véritables effets de la dégradation de la végétation apparaissent après 18 à 30 ans (De Haan et al., 1997 ; Jürgens et al., 1999). Ceci se traduit par un cumul des aléas liés aux effets anthropiques et climatiques sur la végétation (West, 1993 ; Doughill et Cox, 1995 ; Adams, 1996 ; Friedel et al., 2000).

Les parcours en zones arides et semi-arides sont souvent caractérisés par des climats très variables qui peuvent causer des réactions de la végétation sous forme de vastes cycles

temporels, ce qui masque, au moins sur une courte période, les effets liés au pâturage (Blench et Sommer, 1999).

La télédétection des changements en zones arides est beaucoup plus difficile que dans les zones tempérées à couvert végétal permanent. La différence entre images et plus spécifiquement la différence d'indice de végétation, est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour la détection des changements de couvert végétal, surtout en raison de sa simplicité (Singh, 1988 ; Lu et al., 2003). Lyon et al. (1998) ont conclu que la différence de l'indice NDVI permet d'obtenir de meilleurs résultats, comparativement avec d'autres indices, en vue de la détection des changements du couvert végétal. Cependant, Chavez et Mackinnon (1994) ont montré que la différence de la bande rouge fournit une meilleure information sur les changements du couvert végétal que le NDVI pourrait fournir dans les milieux arides.

L'utilisation de l'imagerie à basse résolution comme NOAA/AVHRR et SPOT Végétation, offre de grands avantages pour la détection des changements de la végétation, car elle couvre de grandes régions avec une fréquence presque quotidienne et coûte beaucoup moins cher que les images à haute résolution. Tucker et al. (1986, 1991, 1994) ont montré l'utilité de l'imagerie à basse résolution dans la détection des variations interannuelles de la végétation sur de longues périodes dans les régions arides de l'Afrique. En outre, la phénologie de la végétation du désert et sa réponse à l'humidité disponible ont été analysées avec succès, en utilisant les données de basse résolution (Peters et Eve, 1995).

Les études de détection des changements de la végétation menées dans les milieux arides devraient, en plus des considérations mentionnées ci-dessus, prendre en compte une série d'autres éléments, non moins importants, qui compliquent davantage la détection des variations du REM réfléchi en relation avec les changements réels d'occupation du sol, à savoir :

1) L'irrégularité et la faiblesse des précipitations et le fort potentiel d'évapotranspiration caractérisant les régions arides et semi-arides réduisent le couvert végétal dans ces zones à cause du manque d'humidité disponible. Cette rareté de la végétation en zones arides signifie que la majorité de la réflectance enregistrée par le capteur du satellite provient du substrat sol (Smith et al., 1990). Les sols de ces régions sont également pauvres en matière organique, et par conséquent ont tendance à être plus clairs. L'ensemble de ces facteurs se combinent pour annuler ou du moins minimiser le signal relatif à la végétation pour un pixel donné (Huete et al., 1985 ; Huete et Jackson, 1987 ; Qi et al., 1994).

2) L'hétérogénéité des sols et la variation de leurs caractéristiques spectrales posent des problèmes spécifiques de détection de la végétation. Huete et Jackson (1987) ont constaté que les valeurs de NDVI sont sous-estimées dans les zones à sols clairs et surestimées pour les zones dont les sols sont bruns. Cette asymétrie de l'indice NDVI, due à sa sensibilité aux variations de réflectance du sol, a suscité un énorme intérêt scientifique visant la recherche de nouveaux indices de végétation qui corrigeraient au mieux le bruit du sol (Bannari et al., 1995 ; Baret et Guyot, 1991). Généralement, ces recherches visent deux catégories d'indices de végétation, à savoir ceux qui font usage de la droite de régression entre le rouge et les bandes NIR (pente), et ceux qui font usage de la distance perpendiculaire entre le pixel à la droite du sol (distance) (Schmidt et Karnieli, 2000).

3) Beaucoup de techniques de télédétection, y compris celles utilisant des indices de végétation, sont insensibles à la végétation non photosynthétique (NPV), ce qui peut correspondre à une partie significative et biologiquement importante de la couverture du sol dans les régions arides (Okin et Roberts, 2004). Par conséquent, les indices de végétation, ou tous les autres indices insensibles à la végétation non photosynthétique, ne peuvent pas



être utilisés pour évaluer la couverture végétale du sol si la zone en question est caractérisée par une présence importante de ce type de végétation (Okin et Roberts, 2004).

4) La réflectance des plantes, en particulier dans le proche infrarouge, est affectée par la structure de la canopée (Roberts et al., 1990). Dans les zones arides à végétation éparse où la canopée ouverte chevauche avec les sols clairs, il y'a forte probabilité pour que le REM soit constitué d'une diffusion multiple et d'un mélange non linéaire du rayonnement réfléchi (Okin et Roberts, 2004).

5) La végétation dans les régions arides s'est adaptée à son environnement hostile en limitant l'utilisation du rayonnement photo-synthétiquement actif (RPA). Comme le RPA excessif conduit à une perte de chaleur et de l'humidité de la plante (Okin et Roberts, 2004), limiter l'utilisation du RPA signifie une réduction par les plantes des surfaces de contact avec le rayonnement solaire à travers lesquelles elles perdraient plus d'humidité, d'où une taille des feuilles sensiblement réduite, davantage même remplacées par des épines ou des poils fins. Les plantes dans ces zones se sont également adaptées en réduisant la quantité de chlorophylle, afin de réduire davantage les effets des chaleurs excessives. L'ensemble combiné de ces facteurs réduisant la photosynthèse et les surfaces foliaires rendent cette végétation spectralement plus difficile à détecter moyennant l'utilisation des techniques de télédétection (Okin et Roberts, 2004).

6) La végétation des terres arides a adapté ses cycles phénologiques pour coïncider avec la variation de l'humidité disponible, pouvant avoir d'énormes variabilités spatiales et temporelles dans les zones arides (Okin et Roberts, 2004). Dans ce sens, un certain nombre d'études ont montré que, dans les zones arides naturelles, la dégradation se révèle souvent et surtout être liée aux variations des précipitations (Tucker et al., 1991 ; Anyamba et Tucker, 2005 ; Nicholson, 2005). Les résultats des changements phénologiques des diverses espèces et les caractéristiques spectrales intra et inter-espèces rendent extrêmement difficile l'identification précise des différents types de végétation dans les zones arides (Okin et Roberts, 2004). Selon Franklin et al. (1993) la variabilité spectrale intra-espèces peut souvent être plus grande que la variabilité inter-espèces.

## **C. TECHNIQUES DE DETECTION DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL**

Les données de télédétection se sont avérées être un outil puissant permettant de fournir des informations sur les ressources naturelles à différentes échelles spatiales et temporelles, en grande partie en raison de leur caractère répétitif et leur format numérique (Brogaard et Ólafsdóttir, 1997). Pour être utiles, ces données doivent être analysées à différentes échelles spatiales ou spectrales concernant l'état des objets ou des phénomènes au cours du temps (Lu et al., 2003).

Le suivi du changement, en utilisant la télédétection, est fondé sur le principe que le changement d'occupation du sol se traduit par un changement assez important et suffisant dans le REM pour que le capteur puisse le détecter en dehors des variations aléatoires et spontanées du signal du capteur lui-même (Nordberg et Evertson, 2003). Il existe une variété de techniques de détection des changements en télédétection, ces techniques utilisent l'imagerie multi-date à partir des capteurs multi-et hyper-spectraux, afin que les différences de réflectance des objets ou du phénomène au cours du temps soient correctement identifiées, quantifiées et si nécessaire suivies (Jensen, 1996 ; Civico et al., 2002 ; Coppin et al., 2004).

Il existe une multitude de techniques de détection des changements, dont chacune présente des contraintes spatiales, temporelles et spectrales spécifiques (Lu et al., 2003) ; ceci rend le choix d'une méthode particulière de détection des changements plus difficile. Les techniques de détection des changements utilisées sont (1) l'analyse visuelle et (2) le calcul algébrique.



## 1. ANALYSE VISUELLE

C'est la plus simple et sans doute la plus ancienne technique de détection des changements. L'analyse visuelle a souvent été utilisée pour interpréter la photographie aérienne avant l'apparition de l'imagerie numérique par satellite (Lu et al., 2003).

L'analyse visuelle permet l'utilisation des connaissances d'un analyste et ses capacités à interpréter les changements dans la texture, la forme et la taille dans la photo aérienne d'une région donnée (Lillisand et Kiefer, 1994) et comprend également l'analyse des images composites multi-date.

## 2. CALCUL ALGEBRIQUE

Cette catégorie comprend les méthodes populaires telles que la différenciation des images, la régression d'images, les ratios d'images et la spécification d'indices de végétation (Singh, 1988). Le principe de base derrière ces méthodes consiste à utiliser l'algèbre de base tel que la soustraction ou la division, pour en extraire le changement entre deux images de dates différentes.

Le changement est alors identifié et quantifié en fixant des seuils significatifs choisis en fonction du phénomène étudié en relation avec les caractéristiques biophysiques du milieu. Le procédé le plus fréquemment utilisé est le seuillage à l'écart-type qui identifie uniquement le changement qui se produit dans un certain nombre d'écart-types par rapport à la moyenne. Les seules considérations majeures qui doivent être prises en compte lors de l'utilisation de cette catégorie de méthodes est le choix des bandes spectrales, des indices de végétation et les techniques de seuillage qui doivent être utilisées. L'inconvénient reconnu pour cette catégorie est le manque de toute matrice qui indiquerait les directions de changement.

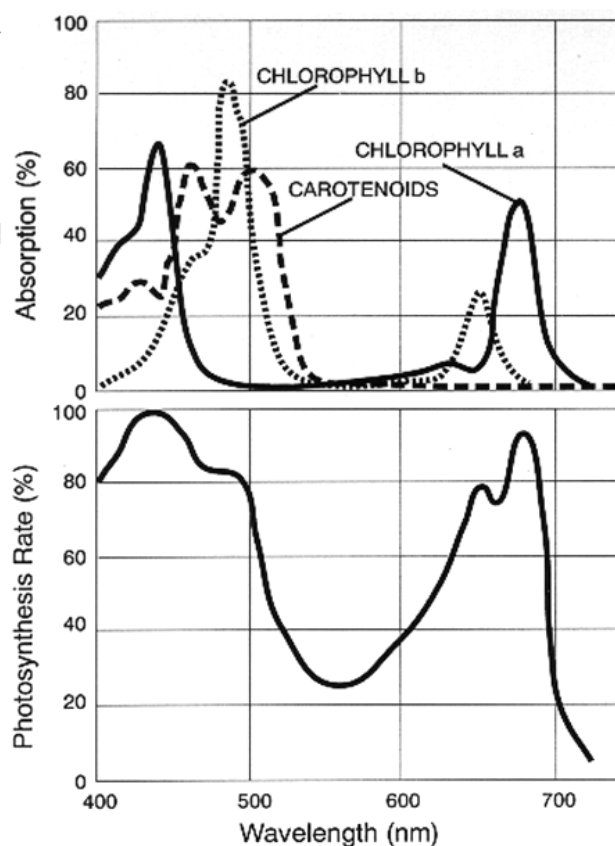
Les indices de végétation sont une forme de calcul algébrique sur les bandes spectrales des images satellites, car ils utilisent les informations des bandes du rouge (R) et de proche infrarouge (IR) afin de produire une image qui représente au mieux la couverture végétale dans un espace étudié. Ainsi, en utilisant des différences ou des ratios entre les bandes rouges R et IR, l'analyste est en mesure d'exploiter ces propriétés spectrales distinctives de la végétation verte pour créer des images d'indice de végétation (Nordberg et Evertson, 2003). Ces images d'indices de végétation sont couramment utilisées dans les techniques de différenciation, afin d'analyser les tendances spatio-temporelles de la végétation (Schmidt et Karnieli, 2000).

L'état du couvert végétal peut être considéré comme l'indicateur biophysique le plus important en relation avec la dégradation des terres et la désertification. Les études des occupations des sols et des dynamiques de la végétation sont souvent réalisées en se basant sur les indices de télédétection combinant les bandes spectrales du rouge et de l'infrarouge car la végétation absorbe fortement le rayonnement incident dans le spectre rouge (jusqu'à 90%, causé par le pigment des feuilles) et réfléchit fortement dans l'infrarouge. Ce contraste de forte réflectance dans l'infrarouge est uniquement observé pour la végétation car en général les sols nus et les surfaces d'eau sont moins sensibles aux variations de longueurs d'ondes entre le rouge et l'infrarouge. Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), proposé par ROUSE et al. en 1974, est un indice qui offre une méthode normalisée de comparaison de verdoyance de la végétation entre les images satellitaires.

La formule de calcul du NDVI est la suivante :

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

IR : Réflectance dans la bande proche infrarouge, R : Réflectance dans la bande Rouge.



**Figure 50 : Caractéristiques spectrales de la végétation**

Source : Rouse et al., 1974

Le NDVI varie en général de -0,2 à 0,9. Pour des faibles recouvrements végétaux ou sol nu, il est inférieur à 0,2 et pour la végétation dense et en bonne santé il est supérieur à 0,7. C'est un indicateur de densité de la végétation (photosynthèse).

#### **D. OBJECTIFS DE L'ANALYSE**

L'évaluation de la dégradation des terres au niveau du bassin versant de la Moulouya vise l'évaluation de l'état actuel et la tendance de la dégradation des terres au niveau régional. Cette partie, combinée avec les résultats du chapitre précédent, a pour objectif de délimiter et localiser les zones de dégradation en vue d'orienter l'analyse à l'échelle locale avec des données de résolution spatiale plus fine.

L'analyse des changements d'occupation du sol au niveau régional a pour but de :

- Cartographier la dégradation des terres par l'analyse globale de l'ensemble des données NDVI GIMMS à 8 km de résolution et des données SPOT VEGETATION à 1 km de résolution ;
- Analyser et interpréter les relations entre le NDVI et les paramètres du climat (précipitations) ;

- Comparer les résultats d'occupation du sol obtenus précédemment moyennant l'approche MEDALUS (indice de qualité de la végétation) avec les résultats de l'analyse des données NDVI et son évolution.

L'approche implique une série d'analyses visant l'identification des zones de dégradation des terres en utilisant les données de télédétection et des données climatiques, d'abord moyennant l'analyse de l'évolution du NDVI et de sa valeur moyenne annuelle et d'autre part, par l'intégration des données climatiques pour expliquer les tendances.

Les objectifs de ce chapitre concernent l'analyse des changements de la qualité de la biomasse moyennant l'utilisation des séries NDVI et leur mise en relation avec les précipitations à l'échelle de l'ensemble du bassin versant en vue de :

1. Evaluer l'état et les tendances de la dégradation des terres ;
2. Identifier les zones souffrant de dégradation significative justifiant l'analyse au niveau local ;
3. Comparer l'indice de sensibilité à la désertification calculé moyennant l'approche MEDALUS aux tendances moyennes de la qualité de la biomasse (NDVI et RUE) au niveau régional.

## **E. METHODOLOGIE**

L'approche implique une série d'analyses visant à identifier les zones de dégradation des terres par la télédétection et l'étude des séries de données climatiques disponibles.

1. Simples indicateurs NDVI (NDVI périodique et annuelle) ;
2. Intégration du NDVI (indicateur de la biomasse) et les données climatiques moyennant le calcul du RUE (efficacité d'utilisation des pluies) ;
3. L'analyse des séries chronologiques du NDVI SPOT végétation pour la période 1998-2010, en vue de dégager la tendance globale au niveau de la région et sa relation avec les précipitations.

### **1. DONNEES UTILISEES**

#### **1.1. Données NDVI**

Le NDVI et sa relation avec la biomasse verte ont été proposés et démontrés la première fois par Rouse et al. (1974) et Tucker (1979). La mesure du NDVI annuel peut être employée comme outil d'approche et d'analyse de la distribution de la production primaire annuelle nette de biomasse et de la couverture de végétation (Hielkema et al., 1987 ; Diallo et al., 1991 ; Rasmussen, 1998 ; Ricotta et al., 1999 ; Maselli et Rembold, 2001). L'indice NDVI a été largement utilisé pour la surveillance de la végétation, l'évaluation du rendement des cultures et le suivi des phénomènes de sécheresse (Benedetti et Rossini, 1993 ; Moulin et al., 1998). Il a été démontré que les données multi-temporelles du NDVI dérivées du capteur AVHRR sont utiles pour le suivi dynamique de la végétation à l'échelle régionale et continentale (Goward et al., 1985 ; Justice et al., 1985 ; Tucker et al., 1985 ; Tucker et Choudhury, 1987 ; Eidenshink et Haas, 1992). Dans ce sens, les données fournies par satellite forment un panel de données spatialement continu et homogène (non échantillonnées) formant des séries chronologiques spatialisées à partir desquelles les trajectoires temporelles et les valeurs de changements peuvent être extraites (Nicholson et al., 1998).

Pour la détection des changements à l'échelle régionale, les données satellitaires présentant une faible résolution spatiale mais avec une résolution temporelle plus élevée sont le meilleur moyen du suivi des changements d'occupation du sol. Etant donné que les

fluctuations du signal optique du capteur sont dues principalement aux variations des réactions phénologiques de la végétation au cours de l'année en relation avec les conditions météorologiques, la discrimination entre les variations de courte durée dans la réflectance et les tendances à long terme dues à la pression exercée sur l'environnement ne peut être détectée que moyennant l'utilisation de longues séries de données temporelles. Les données AVHRR fournissent la plus longue et complète série de données pouvant ainsi être utilisée pour le suivi de la biosphère terrestre (Gutman et Ignatov, 1995 ; Tucker et al., 2005). Par conséquent, il constitue la meilleure source de données permettant de distinguer les changements à long terme de l'occupation du sol et les variations à court terme essentiellement dues aux fluctuations du climat.

**a). Données NDVI GIMMS/AVHRR : (Pinzon, 2002 ; Pinzon et al., 2004 ; Tucker et al., 2005) Données de Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) AVHRR à 8 km de résolution et disponibles depuis Juillet 1981 au 31 Décembre 2006, en Maximum Value Composite (Kaufmann et al., 2000) par période de 15 jours, soit 612 couches d'information :**

Ces données sont corrigées de l'étalonnage du capteur, la géométrie de visée, les aérosols volcaniques, et d'autres effets non liés aux changements de la biomasse. La précision de GIMMS est avérée appropriée pour une évaluation globale et il est compatible avec les données NDVI d'autres systèmes de détection tels que MODIS, SPOT Végétation (Tucker et al., 2005). Les données AVHRR ont servi à l'analyse spatio-temporelle des dynamiques d'occupation du sol dans beaucoup d'études globales et régionales moyennant l'analyse des séries temporelles du NDVI (Hielkema et al., 1987 ; Helldén et Eklundh, 1988 ; Helldén, 1991 ; Tucker et al., 1991 ; Tappan et al., 1992 ; Nicholson et al., 1998 ; Eklundh, 1998 ; Runnström, 2000 ; Eklundh et Olsson, 2003).

**b). Données NDVI SPOT Végétation (~ 1 km<sup>2</sup>) disponibles de 1998 à 2010 par période de 10 jours (décadaires) :**

Les données NDVI du capteur VEGETATION de SPOT sont fournies par le Centre de Traitement des Images VEGETATION (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) ou VITO en Belgique et sont disponibles pour téléchargement sur le géoportail dudit centre à l'adresse <http://free.vgt.vito.be>. Les données décadaires sont disponibles en deux versions S10 et D10. Nous avons utilisé pour nos besoins d'analyse les données S10 ou de synthèse obtenues par réduction temporelle de la série des données journalières. Cette synthèse est basée sur la comparaison pixel par pixel des valeurs de réflectance durant 10 jours pour en extraire les valeurs dans les canaux Rouge et Proche Infrarouge permettant d'avoir la valeur Maximale du NDVI. La valeur du NDVI obtenue par décade est appelé MVC (Maximum Value Composite).

Ces données sont disponibles à partir de la première décade du mois d'avril 1998 jusqu'à nos jours avec une résolution spatiale de l'ordre de 1 km dans le système de projection Universal Transverse Mercator (UTM). Chaque image compressée composite contient 2 fichiers codés sur 8 bits : un indice relatif à la qualité (SM ou Status Map) décrivant la présence des nuages et des problèmes éventuels survenus durant la période de composition, et un contenant les données NDVI proprement dites.

**c). Données MEDOKADS (AVHRR) à 1 km<sup>2</sup> de résolution disponibles de 1989 à 2005 par période de 10 jours.**

Les données MEDOKADS (Mediterranean Daily One Km AVHRR Data Set) sont compilées à partir des données des capteurs NOAA 11, 14 et 16 et sont distribuées gratuitement, sur demande, par l'Institut de Météorologie de l'Université libre de Berlin. Ces données sont corrigées de la dégradation du signal du capteur et des effets liés à la dérive orbitale qui

provoquent des changements non linéaires dans le signal mesuré (Koslowsky, 1998). La série chronologique de 1989 à 2005 des scènes NDVI avec une résolution de 1 km de la zone d'intérêt a été obtenue par extraction à partir de l'ensemble de la zone méditerranéenne. Cette base de données contient, en plus des données NDVI, un ensemble de données brutes et dérivées (Koslowsky, 2005). Pour notre analyse nous avons utilisé seulement les données NDVI de la zone couvrant le bassin versant de la Moulouya.

## 1.2. Données climatiques

a). La base de données CRU TS 2.1, créée par l'Unité de Recherche sur le Climat (Climate Research Unit) de l'Université d'East Anglia au Royaume-Uni (Mitchell et Jones, 2005), comprend 1.224 grilles mensuelles de données interpolées à partir des observations issues des stations météorologiques pour la période 1901-2006 couvrant la surface terrestre à 0,5 degré de résolution. Cet ensemble de données a été calibré à l'aide des données d'élévation par interpolation. Il contient, à titre d'exemple, la moyenne journalière, min, max de la température, des précipitations, de la pression de vapeur et de la couverture nuageuse. Pour nos besoins d'analyse pour ce chapitre, les données des précipitations par quinzaine et par décennie depuis Janvier 1980 à Septembre 2010 ont été utilisées.

b). Compte tenu de la faible résolution spatiale des données CRU TS 2.1, nous avons été amenés à nous procurer auprès de JRC (Centre de la recherche pluridisciplinaire de la commission européenne) à Ispra en Italie, les données météorologiques journalières interpolées (températures minimales et maximales, les précipitations, le rayonnement solaire global et l'évapotranspiration potentielle) avec une résolution de 25\*25 km après enregistrement à l'adresse <http://www.marsop.info/ExtractGrid/>. Ces données contenant les séries historiques à partir de 1975 ont été téléchargées pour l'ensemble du Maroc et organisées en base de données séparée sous Microsoft Access pour faciliter l'accès, la manipulation et le transfert des couches Raster vers le SIG.

## 2. METHODES D'ANALYSE

Les indicateurs de la biomasse (NDVI min, max, moyenne, et l'écart-type) ont été calculés dans le SIG. Les données géo-référencées du NDVI pour chaque quinzaine et ses valeurs moyennes annuelles ont été calculées pour chaque pixel. Leurs tendances temporelles ont été déterminées par régression linéaire et cartographiées pour décrire les changements spatiaux. Une pente négative de la régression linéaire indique une baisse de la biomasse verte et une pente positive indique une augmentation.

## F. RESULTATS

### 1. VEGETATION

#### 1.1. Analyse de tendance des séries NDVI

L'extraction de la valeur moyenne du NDVI pour le Maroc et du BV de la Moulouya pour l'ensemble des scènes NDVI de 15 jours (Maximum Value Composite) (série chronologique NDVI de 15 jours entre Juillet 1981 et Décembre 2006), montre, qu'en général, (année normale du point de vue précipitations pour l'ensemble du Maroc), la valeur du NDVI (\*1000) de la Moulouya est inférieure à l'ensemble du Maroc pendant la saison pluvieuse (janvier à mai) et supérieure pendant le reste de l'année, ce qui implique que l'amplitude de variation annuelle du NDVI est toujours supérieure pour le Maroc par rapport au BV de la Moulouya en termes de tendance moyenne (à l'exception de l'année 1994 où le NDVI de quelques mois pour la Moulouya est supérieur à celui du Maroc). Ceci peut s'expliquer par la plus



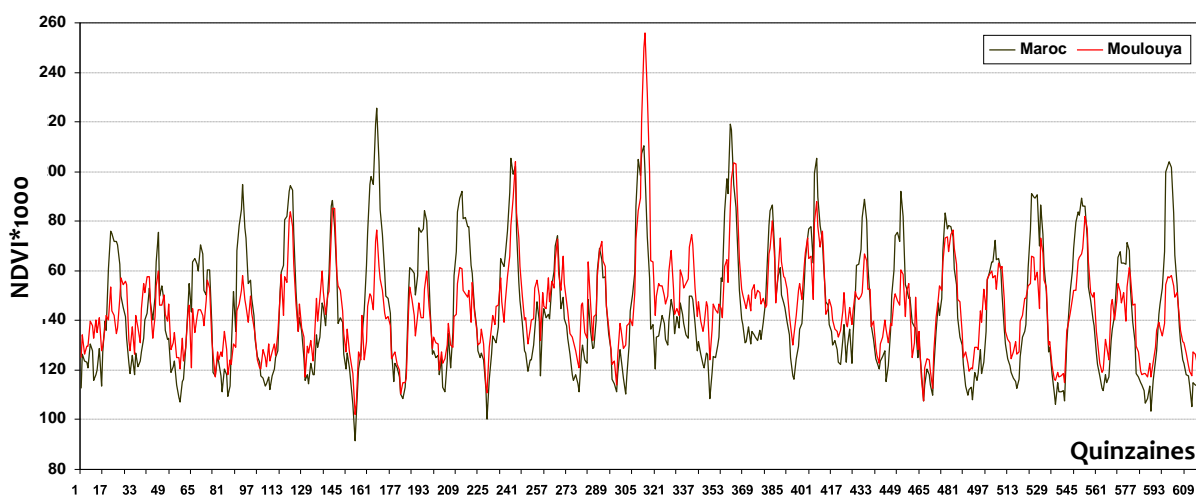
grande hétérogénéité du climat pour l'ensemble du Maroc par rapport à celui du BV de la Moulouya et sa relation avec la variation temporelle du NDVI.

La valeur moyenne du NDVI de la zone pour les 26 années d'étude, 1981 à 2006, oscille entre 102 et 256 (valeur\*1000) ce qui implique que le sol nu est dominant au niveau de la zone et que la végétation est plutôt éparsée.

**Tableau 34 : Statistiques du NDVI moyen sur 26 ans (valeur\*1000)**

Paramètre	Maroc	Moulouya	Différence
<b>Moyenne</b>	143,72	144,58	0,86
<b>Maximum</b>	225,35	255,84	30,49
<b>Minimum</b>	91,38	102,05	10,67
<b>Ecart-type</b>	25,42	18,38	-7,04

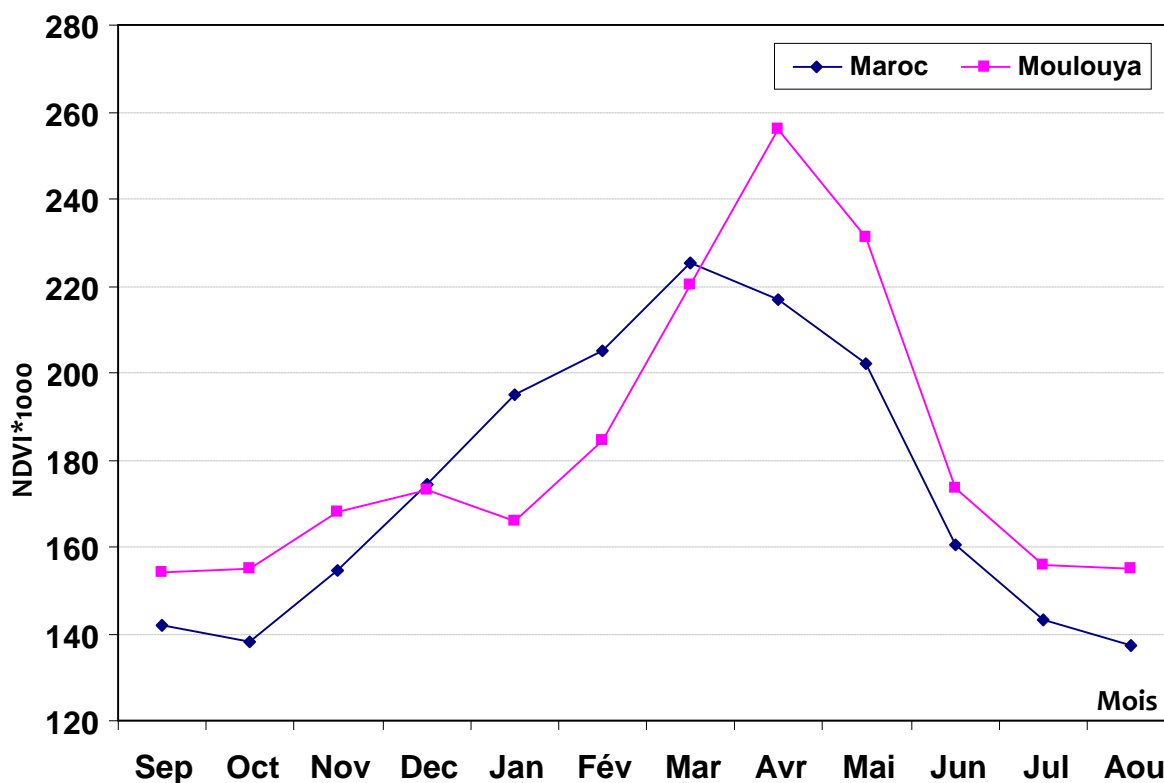
Source : Données GIMMS + nos calculs



**Figure 51 : Comparaison de l'évolution du NDVI 15 jours entre le Maroc et le BV de la Moulouya**

Source : Données GIMMS + nos traitements

L'extraction des valeurs maximales de l'indice de végétation NDVI par quinzaine en vue de détecter le début et la fin de la saison de la végétation, son pic de développement maximal, a permis de tracer sur un même graphique la cinétique du maximum de NDVI de la campagne agricole (Sep-Aout) pour les données NOAA-AVHRR pour le Maroc et le bassin versant de la Moulouya.



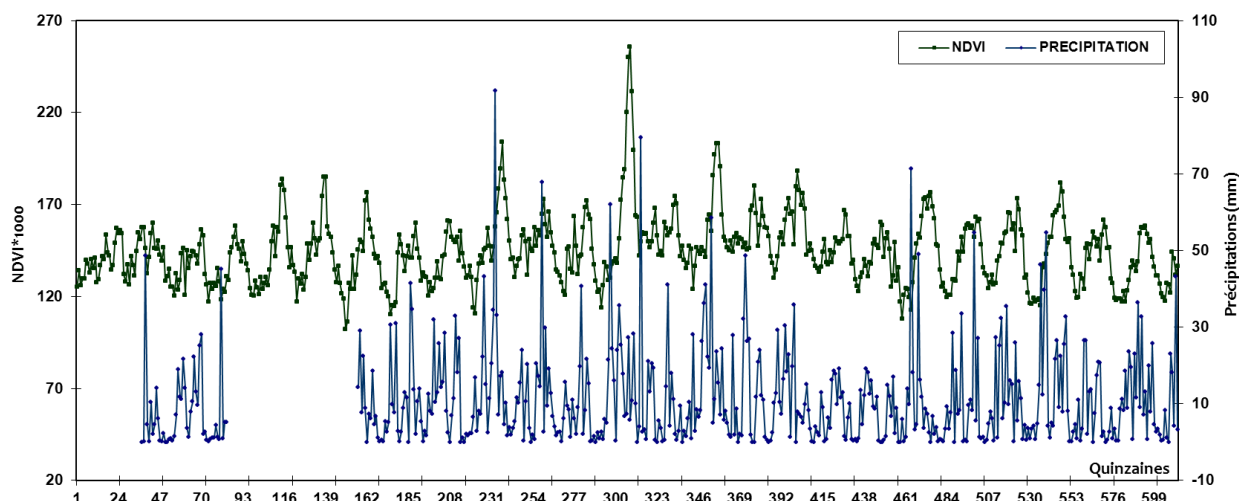
**Figure 52 : Comparaison de la cinétique annuelle du NDVI entre le Maroc et le BV de la Moulouya**

Source : Données GIMMS + nos traitements

On note ainsi, qu'au niveau du BV de la Moulouya la végétation présente un développement maximal au cours du mois d'Avril alors que, pour le Maroc, ce pic se situe au niveau du mois de Mars. Ceci peut s'expliquer par la dominance d'une végétation naturelle au niveau du bassin de la Moulouya, dont le pic de développement coïncide avec les premières pluies de printemps, contrairement au Maroc occidental, dominé par les cultures céréalières dont le développement maximal est en relation avec les pluies de Février et Mars.

## 1.2. Analyse des relations entre le NDVI et les précipitations

Les études de corrélations entre le NDVI et les précipitations montrent, qu'en général, le NDVI mensuel est mieux corrélé avec les précipitations des deux mois précédents (Nicholson et al., 1990). Dans notre cas, la relation entre l'humidité et la réponse de la végétation a été étudiée moyennant l'utilisation des données GIMMS et les données climatiques JRC relatives aux précipitations moyennes pour la période 1981-2006, recalculées par période de 15 jours pour l'ensemble du BV. Une série de tests de corrélation et de relations linéaires a été recherchée et correspond aux liaisons entre le NDVI et les précipitations des périodes (quinzaines) antérieures de rang  $n$ , ceci en vue d'évaluer le temps de latence entre les précipitations reçues et la réaction de la végétation approchée par le biais du NDVI (vegetation green up).



**Figure 53 : Comparaison entre l'évolution du NDVI et celle des précipitations du BV de la Moulouya**

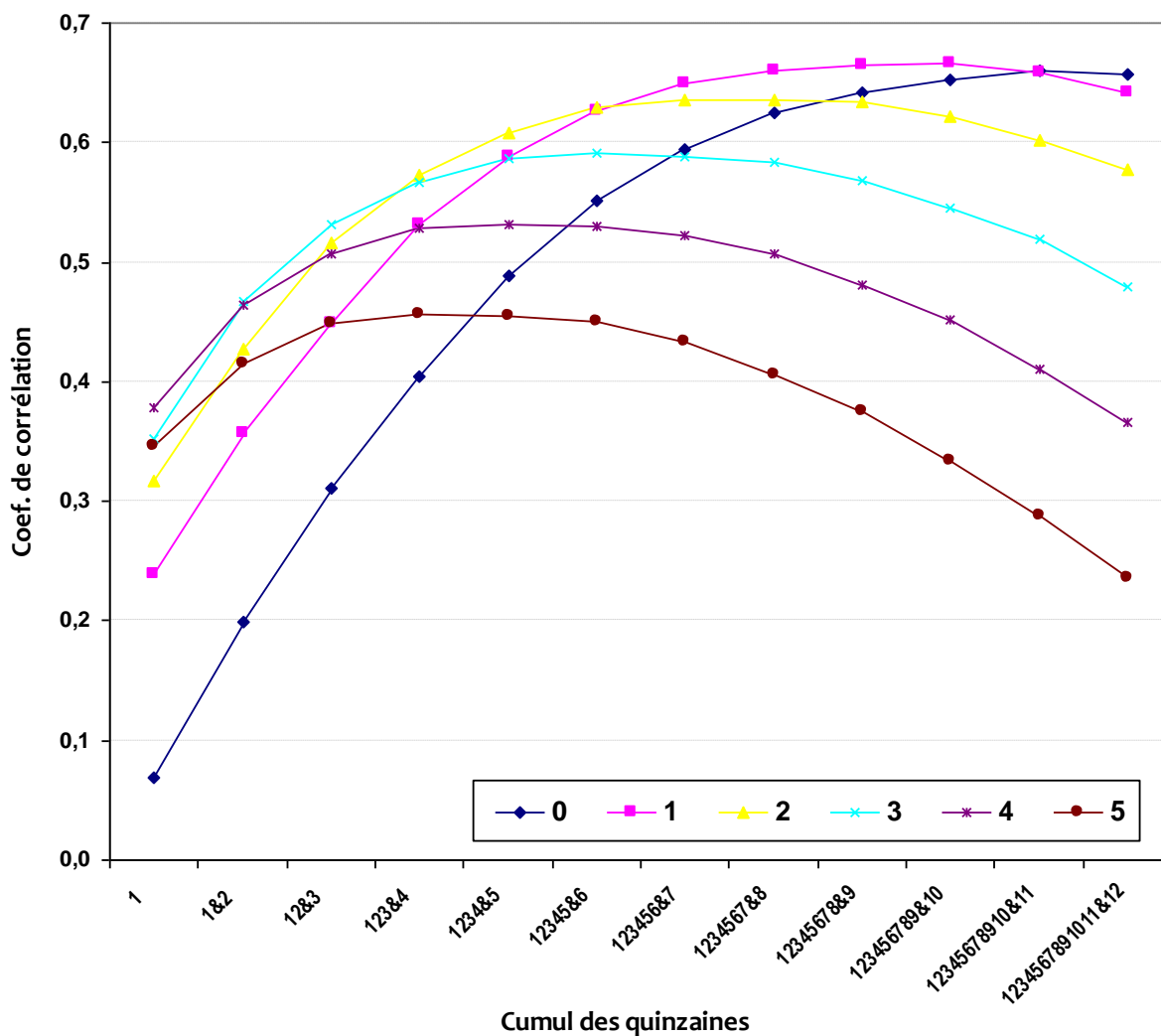
Source : Données GIMMS et JRC + nos calculs

Les résultats de l'analyse de corrélation de Précipitation/NDVI semblent être conformes à la littérature. Le signal du NDVI a une relation non significative ( $p < 0,005$ ), avec les précipitations cumulatives des  $n$  périodes quand  $n$  est compris entre 1 et 2 (tableau 35, les figures 54 et 55). Les corrélations obtenues expliquent la réponse habituellement rapide de végétation aux précipitations dans des régions arides. En effet, on note que le NDVI est plutôt mieux corrélé avec les précipitations cumulées en 5 mois (moyenne mobile de rang 10) de la quinzaine précédente ( $n = 1$ ), soit un coefficient de corrélation linéaire de l'ordre de 0,66. On peut noter aussi que la courbe des corrélations linéaires mettant en relation le NDVI et les cumuls des précipitations enregistrées le mois précédent ( $n = 2$ ) domine nettement les autres courbes de corrélation pour des  $n$  supérieurs à 2. Ceci implique que la végétation réagit au cumul des précipitations reçues pendant 3 à 5 mois avec une période de latence entre 15 jours et un mois au maximum.

**Tableau 35 : Matrice de corrélation entre les séries NDVI et les précipitations par quinzaine et par cumuls mensuels**

Cumul/ Latence	0	1	2	3	4	5
½ Mois	0,0695	0,2387	0,3176	0,3518	0,3790	0,3461
1 Mois	0,1984	0,3569	0,4280	0,4664	0,4634	0,4147
Mois et ½	0,3112	0,4493	0,5168	0,5309	0,5077	0,4485
2 Mois	0,4038	0,5311	0,5736	0,5665	0,5283	<b>0,4557</b>
2 Mois et ½	0,4887	0,5879	0,6084	0,5860	<b>0,5321</b>	0,4547
3 Mois	0,5513	0,6262	0,6300	<b>0,5909</b>	0,5297	0,4500
3 Mois et ½	0,5945	0,6498	0,6358	0,5884	0,5231	0,4333
4 Mois	0,6251	0,6600	<b>0,6360</b>	0,5833	0,5067	0,4062
4 Mois et ½	0,6417	0,6644	0,6335	0,5689	0,4807	0,3758
5 Mois	0,6525	<b>0,6664</b>	0,6225	0,5457	0,4518	0,3332
5 Mois et ½	<b>0,6598</b>	0,6593	0,6024	0,5191	0,4107	0,2878
6 Mois	0,6566	0,6419	0,5779	0,4794	0,3660	0,2365
<b>Moyenne</b>	<b>0,4878</b>	<b>0,5610</b>	<b>0,5652</b>	<b>0,5314</b>	<b>0,4733</b>	<b>0,3869</b>
<b>Ecart-type</b>	<b>0,2000</b>	<b>0,1413</b>	<b>0,0991</b>	<b>0,0705</b>	<b>0,0598</b>	<b>0,0723</b>
<b>C.V.</b>	<b>41,011</b>	<b>25,184</b>	<b>17,542</b>	<b>13,263</b>	<b>12,643</b>	<b>18,691</b>

Source : Données GIMMS et JRC + nos calculs



**Figure 54 : Diagramme des corrélations entre le NDVI et les précipitations par quinzaines cumulées**

Source : Données GIMMS et JRC + nos calculs

Cependant, ces coefficients de corrélation moyens pourraient être indicateurs du fait que les précipitations ne sont pas le seul facteur qui détermine la réponse de la végétation dans cette région et que d'autres sources d'humidité telles que l'apport d'irrigation, le brouillard et la rosée agissent sur le développement de la végétation surtout dans la vallée et sur la côte méditerranéenne. En plus, l'humidité du sol et la qualité de la semence au sol de la végétation naturelle en relation avec les conditions climatiques de l'année précédente semblent avoir un effet significatif sur la réponse de la végétation.

Les coefficients de corrélation du NDVI périodique par rapport aux valeurs antérieures de rang n permettent de conclure que le NDVI est mieux corrélé avec le NDVI de la quinzaine précédente (n=1) et que cette corrélation a une tendance linéaire négative lorsque le cumul NDVI augmente. Ceci peut s'expliquer par le fait que la végétation a un cycle de croissance très influencé par la qualité récente de sa biomasse. En effet, la végétation ne réagit que relativement à sa qualité récente de biomasse en relation avec l'évolution des conditions climatiques ; cette réponse est proportionnelle à l'évolution de sa qualité antérieure au cours du temps. Le tableau suivant donne les coefficients de corrélation obtenus par autocorrélation de la série NDVI du BV de la Moulouya avec les séries antérieures de rang n et les cumuls du NDVI de 1 à 12 quinzaines.

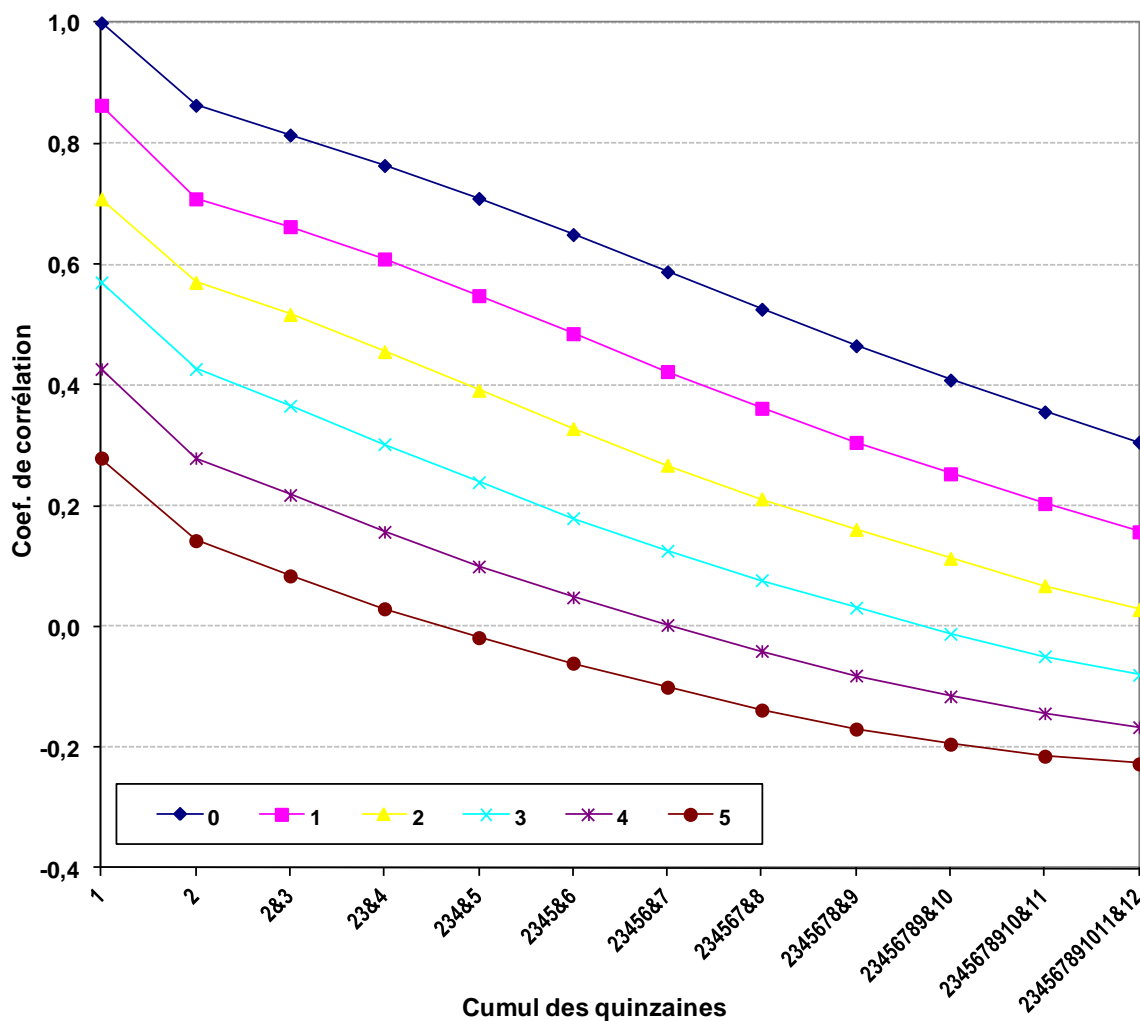


Figure 55 : Diagramme des autocorrélations du NDVI par quinzaine pour 6 temps de latence

Source : Données GIMMS + nos calculs

Tableau 36 : Matrice d'autocorrélation linéaire des séries NDVI par quinzaine

Cumul/ Latence	0	1	2	3	4	5
Sans	1,0000	<b>0,8635</b>	0,7086	0,5703	0,4268	0,2793
½ Mois	<b>0,8635</b>	0,7086	0,5703	0,4268	0,2793	0,1426
1 Mois	0,8143	0,6625	0,5172	0,3659	0,2183	0,0842
1 Mois et ½	0,7638	0,6090	0,4557	0,3024	0,1571	0,0297
2 Mois	0,7093	0,5483	0,3917	0,2393	0,0998	-0,0181
2 Mois et ½	0,6495	0,4853	0,3283	0,1798	0,0486	-0,0603
3 Mois	0,5877	0,4226	0,2676	0,1259	0,0029	-0,1002
3 Mois et ½	0,5258	0,3617	0,2119	0,0773	-0,0401	-0,1380
4 Mois	0,4653	0,3053	0,1612	0,0316	-0,0808	-0,1694
4 Mois et ½	0,4085	0,2532	0,1134	-0,0117	-0,1154	-0,1945
5 Mois	0,3558	0,2040	0,0680	-0,0490	-0,1435	-0,2144
5 Mois et ½	0,3056	0,1572	0,0285	-0,0797	-0,1663	-0,2272
<b>Moyenne</b>	<b>0,6208</b>	<b>0,4651</b>	<b>0,3185</b>	<b>0,1816</b>	<b>0,0572</b>	<b>-0,0489</b>
<b>Ecart-type</b>	<b>0,2170</b>	<b>0,2197</b>	<b>0,2147</b>	<b>0,2041</b>	<b>0,1847</b>	<b>0,1581</b>
<b>C.V.</b>	<b>34,964</b>	<b>47,233</b>	<b>67,393</b>	<b>112,435</b>	<b>322,762</b>	<b>-323,495</b>

Source : Données GIMMS + nos calculs



La régression des séries chronologiques du NDVI (auto-régression) a été employée pour estimer les tendances en utilisant le NDVI seulement et en lui intégrant les précipitations. Ce type d'analyse a été choisi pour permettre d'évaluer l'effet de la qualité de la biomasse d'une période donnée sur l'évolution du NDVI et sa relation avec les précipitations.

Sur la base des résultats obtenus précédemment nous avons cherché à spécifier les modèles statistiques simples (sans tenir compte de l'effet cyclique) qui permettent d'expliquer le NDVI de chaque quinzaine sur la base des valeurs NDVI antérieures (modèle autorégressif) et par la suite en lui intégrant les données relatives aux précipitations antérieures. Le modèle autorégressif simple peut s'écrire comme suit :

$$NDVI_t = a \cdot NDVI_{t-1} + b$$

Les résultats des modèles autorégressifs obtenus (avec et sans la constante) montrent que la pente de la droite de régression est très légèrement inférieure à 1, ceci peut être expliqué par une très bonne stabilité relative du NDVI au cours des 26 années d'observation. Les résultats obtenus pour les deux modèles sont les suivants :

**Tableau 37 : Résultats du modèle d'auto-régression du NDVI**

Modèle	Constante	Pente	R <sup>2</sup>
<b>Sans Constante</b>	<b>0,000</b>	<b>0,998</b> t = 330,105, P = 0,0000	<b>0,996</b>
<b>Avec Constante</b>	<b>19,543</b> t = 5,890, P = 0,0000	<b>0,865</b> t = 38,267, P = 0,0000	<b>0,748</b>

Source : Données GIMMS + nos calculs

En intégrant les données relatives aux précipitations et en utilisant un modèle de régression linéaire pas à pas, les variables qui paraissent mieux expliquer le NDVI de la période t sont, en plus du NDVI de la période t-1, le cumul des précipitations enregistrées pendant le mois précédent et la somme des précipitations enregistrées pendant les 5 mois précédents. Ces résultats sont en concordance avec les corrélations obtenues précédemment et concernant les autocorrélations de la série NDVI et les relations du NDVI avec les cumuls des précipitations reçues au cours des mois précédents.

**Tableau 38 : Résultats du modèle de régression des séries chronologiques NDVI et précipitations**

Modèle	Coefficients	Test t	Significativité	R <sup>2</sup>	
<b>1</b>	Constante	19,543	5,890	0,000	<b>0,748</b>
	NDVI <sub>t-1</sub>	0,865	38,267	0,000	
<b>2</b>	Constante	21,308	6,920	0,000	<b>0,784</b>
	NDVI <sub>t-1</sub>	0,825	38,554	0,000	
	Precip. Mois Pr.	0,194	9,074	0,000	
<b>3</b>	Constante	25,939	7,565	0,000	<b>0,788</b>
	NDVI <sub>t-1</sub>	0,773	27,982	0,000	
	Precip. Mois Pr.	0,166	7,141	0,000	
	Precip. 5 Mois Pr.	0,089	2,974	0,003	
<b>4</b>	Constante	24,606	7,152	0,000	<b>0,790</b>
	NDVI <sub>t-1</sub>	0,783	28,286	0,000	
	Precip. Mois Pr.	0,092	2,590	0,010	
	Precip. 5 Mois Pr.	0,087	2,925	0,004	
	Precip. ½ Mois Pr.	0,093	2,747	0,006	

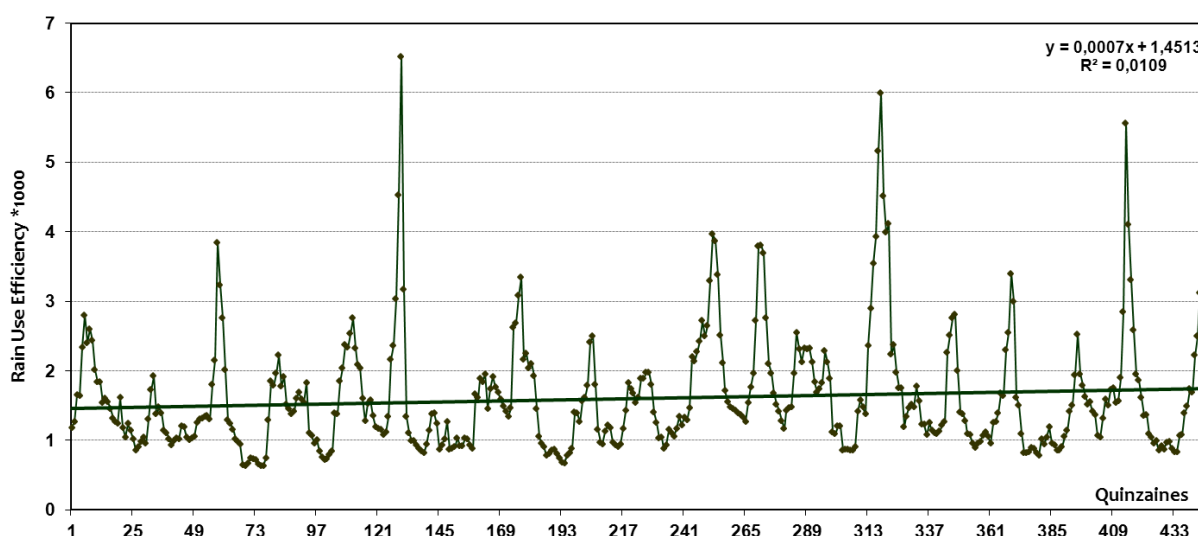
Source : Données GIMMS et JRC + nos calculs

### 1.3. Analyse de l'efficacité d'utilisation des pluies RUE

Le RUE (Rain Use Efficiency) correspond au rapport entre la valeur du NDVI et la quantité de pluie reçue pendant une période. Le RUE utilisé, suite aux résultats obtenus concernant les corrélations entre le NDVI et les précipitations des périodes précédentes, est le rapport entre le NDVI de la période et la quantité de pluie reçue pendant les cinq mois précédents (n=10).

$$\text{RUE} = \text{NDVI}_t / \text{Pluie}_{t-1, t-11}$$

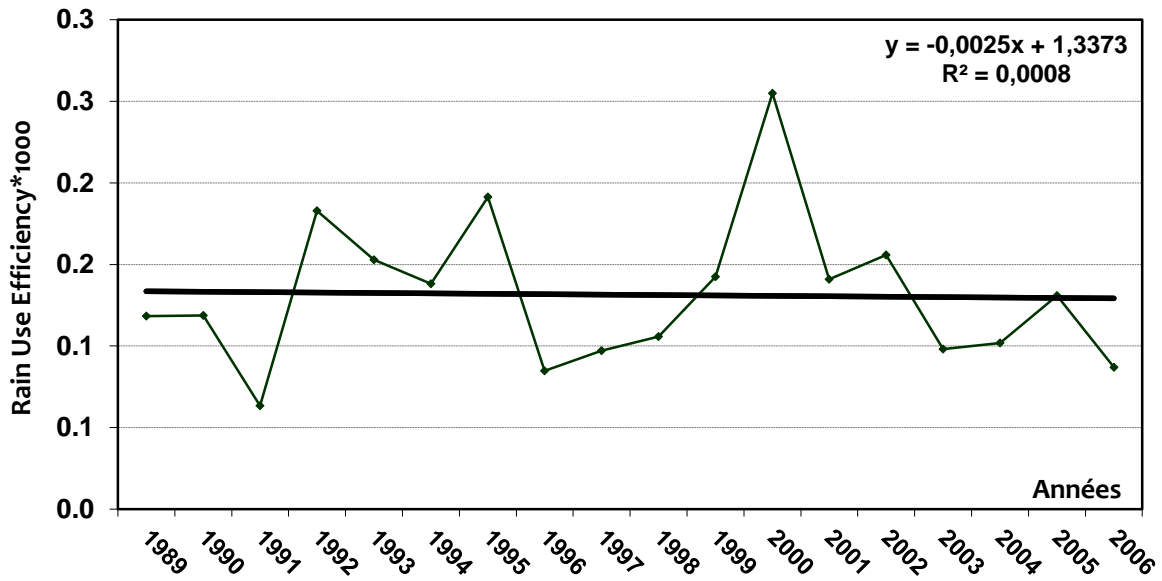
Ce quotient peut renseigner sur le degré de résilience de la végétation par rapport aux conditions climatiques et donne une indication sur la quantité de biomasse par unité de pluie. Les résultats obtenus montrent que la valeur moyenne du RUE pour le BV de la Moulouya est quasiment stable au cours du temps, malgré les différences entre les périodes sèches et celles humides. La courbe de tendance a une pente presque nulle (indicatrice de stabilité) avec un coefficient proche de 0 (0,0007) et un  $R^2$  non significatif.



**Figure 56 : Evolution et tendance mensuelle du RUE du BV de la Moulouya**

Source : Données GIMMS et JRC + nos calculs

L'analyse de l'évolution du RUE pour la première quinzaine du mois d'avril, période de développement maximal de la végétation au niveau de la zone, montre que celui-ci garde une tendance stable au cours du temps et que la végétation présente une bonne résilience vis-à-vis des variations des conditions climatiques.



**Figure 57 : Evolution et tendance du RUE de la 1<sup>ère</sup> quinzaine du mois d'Avril du BV de la Moulouya**

Source : Données GIMMS et JRC + nos calculs

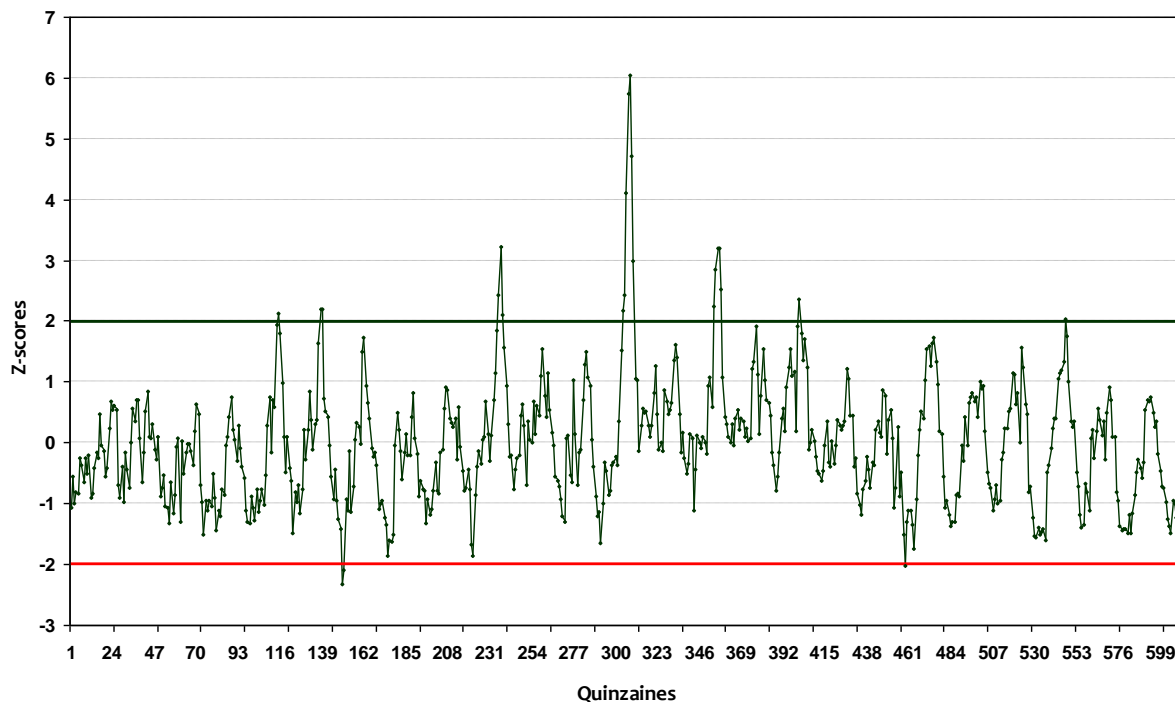
#### 1.4. Analyse des séries standardisées du NDVI

Le calcul des valeurs centrées réduites du NDVI (indice standardisé du NDVI) pendant la période de 26 ans (données par quinzaine) permet de dégager les périodes du changement significatif du NDVI au niveau de la zone. Le procédé utilisé est le seuillage à deux unités d'écart-type en vue d'identifier uniquement le changement significatif par rapport à la valeur moyenne pour les 26 années d'étude.

L'analyse des séries standardisées du NDVI permet de constater qu'au cours de la période 1981-2006, la biomasse verte n'a pas subi un changement significatif, l'indice NDVI standardisé est stable au cours du temps et ne présente aucune tendance particulière.

Les périodes remarquables par rapport aux valeurs moyennes annuelles coïncident avec des années très favorables en termes de pluviométrie et concernent les printemps des années 1986, 1987, 1991, 1994, 1996, 1998 et 2004.

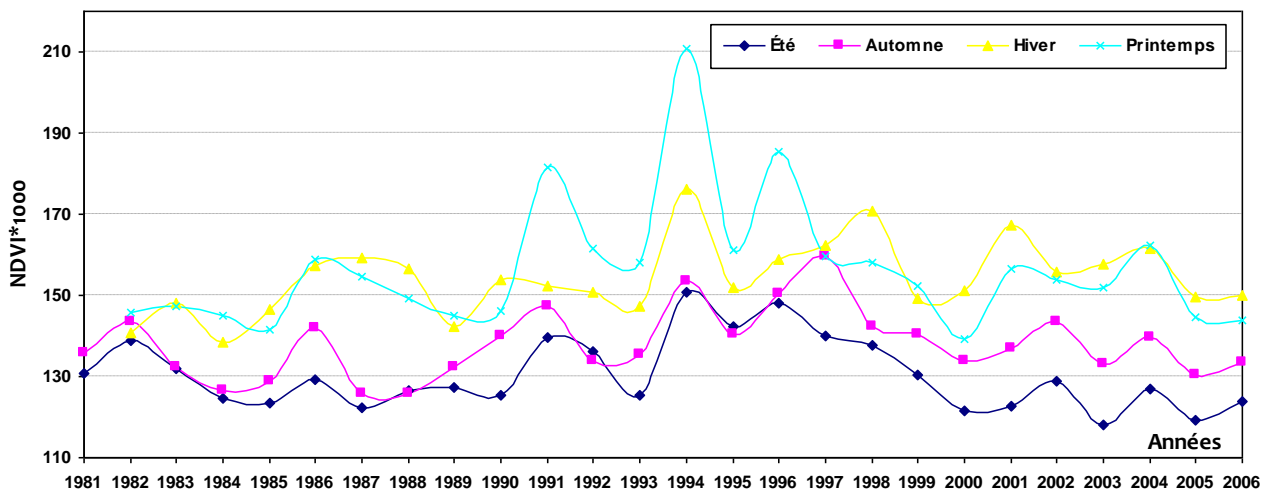
Les quinzaines caractérisées par des diminutions particulières du NDVI sont au nombre de deux seulement et sont en relation avec le retard des précipitations du début d'automne (fin septembre et début octobre de l'année 1987).



**Figure 58 : Evolution de la série standardisée du NDVI entre 1981 et 2006**  
 Source : Données GIMMS + nos calculs

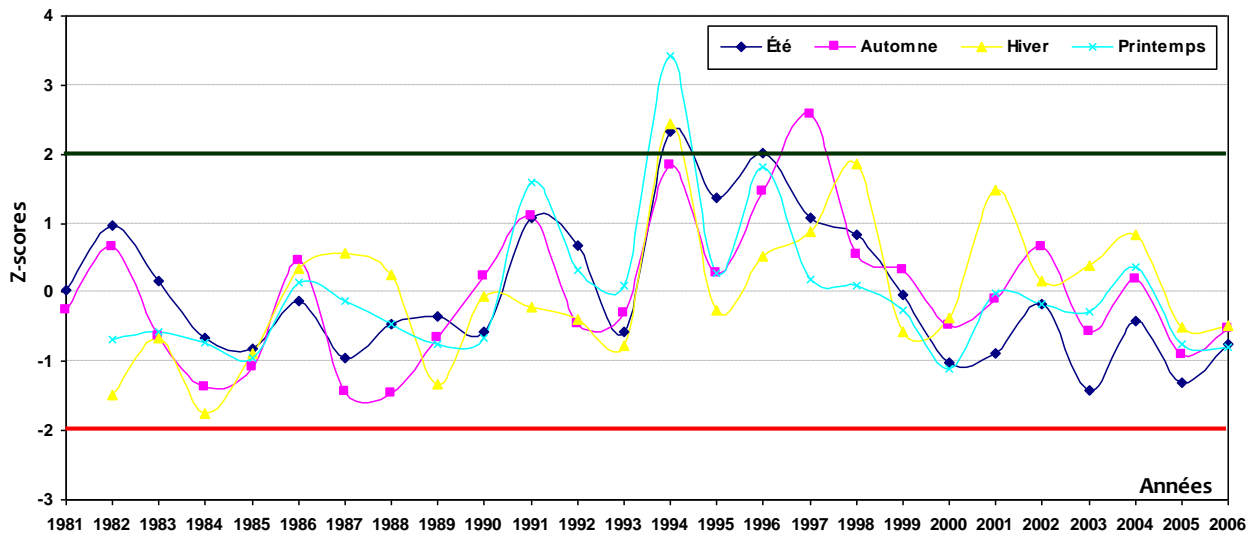
### 1.5. Analyse de l'évolution saisonnière du NDVI

Une analyse temporelle de la variation saisonnière du NDVI a été réalisée afin de détecter d'éventuels changements temporels dans la saisonnalité de la végétation au niveau de la région. Dans ce sens, les séries NDVI pour chaque saison ont été calculées puis standardisées en vue de dégager les tendances d'évolution temporelle.



**Figure 59 : Evolution saisonnière du NDVI entre 1981 et 2006**  
 Source : Données GIMMS + nos calculs

La comparaison des diagrammes d'évolution du NDVI au cours du temps entre 1981 et 2006, montre que les pics de développement de la végétation au niveau de la zone correspondent assez bien au NDVI du printemps et que lorsque les valeurs du NDVI du printemps sont plus élevées que celles de l'hiver, l'année peut être considérée comme très favorable en termes de production de biomasse (1986, 1991, 1994, 1996 et 2004).



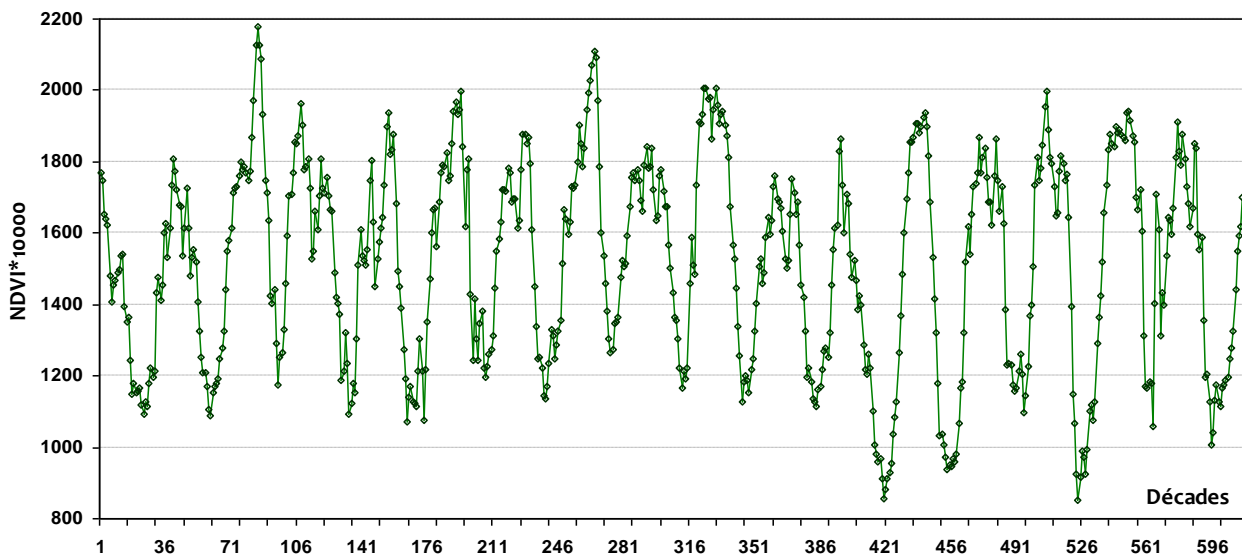
**Figure 60 : Evolution des séries saisonnières standardisées du NDVI entre 1981 et 2006**

Source : Données GIMMS + nos calculs

L'analyse de l'évolution des valeurs saisonnières standardisées du NDVI, montre que seules deux années présentent des écarts remarquables positifs par rapport à la moyenne (valeur > 2), soit l'année 1994 (hiver, printemps et l'été) et l'automne de l'année 1997.

### 1.6. Comparaison des séries GIMMS et MEDOKADS

L'analyse de la série NVDI pour les données décadales MEDOKADS entre 1989 et 2005 (figure 61) montre la même tendance que les données GIMMS avec des pics du NDVI pendant les mois de printemps et des valeurs très basses pendant l'été et le début d'automne.



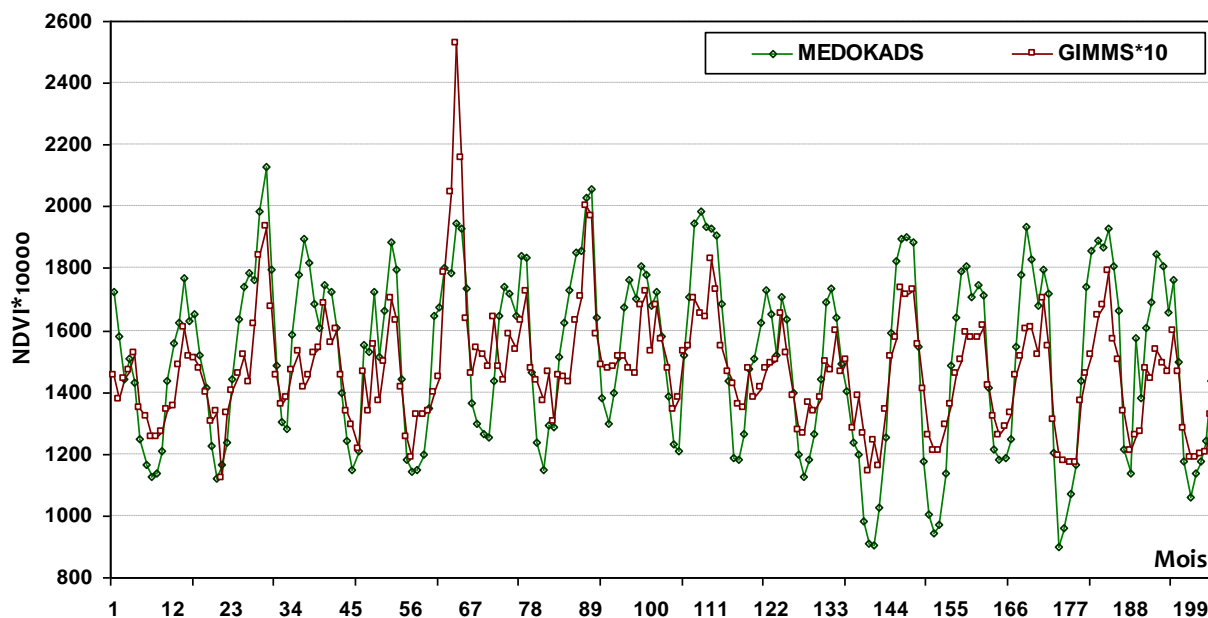
**Figure 61 : Evolution mensuelle des séries du NDVI entre 1989 et 2005**

Source : Données MEDOKADS + nos calculs

La comparaison des valeurs mensuelles du NDVI des deux séries de données entre 1989 et 2005 (série de chevauchement) relatives aux données du même capteur AVHRR/NOAA mais ayant subi deux chaînes de traitement différentes montre que les données des deux



séries GIMMS et MEDOKADS présentent la même tendance avec une amplitude de variation saisonnière plus faible pour les données GIMMS pouvant être expliquée par l'effet de la diminution de la résolution spatiale (taille de pixels) de 1 à 8 km (Modèle d'agrégation spatiale) pour les données GIMMS. Mais on note, par ailleurs, qu'exceptionnellement pour la campagne 1994-1995, quelques mois pour la série de données GIMMS présentent des valeurs plus élevées au cours de la saison de croissance que ceux de la série MEDOKADS (mois 3, 4 et 5 de 1994).



**Figure 62 : Evolution mensuelle de l'indice de végétation NDVI dans le BV de la Moulouya pour les données GIMMS et MEDOKADS entre 1989 et 2005**

Source : Données GIMMS et MEDOKADS + nos calculs

En général, on peut noter que les données GIMMS présentent la même tendance globale avec une variation saisonnière plus élevée pour les données MEDOKADS. La corrélation linéaire entre les deux séries de données est de l'ordre de 0,81.

### 1.7. Analyse spatio-temporelle des séries NDVI

Les produits NDVI GIMMS du capteur AVHRR, malgré leur faible résolution spatiale de l'ordre de 8 km, présentent, en plus de leur gratuité, la plus longue série de données NDVI spatialisée disponible pour le suivi de l'environnement à l'échelle du globe (juillet 1981 à décembre 2006). Ici, notre travail consistera à suivre et étudier les variations spatio-temporelles du NDVI dans le bassin versant de la Moulouya en analysant, d'une part, les variations du NDVI seulement, et d'autre part, en le reliant aux données climatiques spatialisées disponibles.

Par ailleurs et compte tenu de la plus grande résolution des données MEDOKADS et de leur meilleure variation saisonnière (voir graphique ci-dessus), ces données ont été utilisées pour la cartographie des paramètres relatifs aux valeurs annuelles pour la période 1989 à 2005.

#### 1.7.1. Etude de la structure spatiale du NDVI

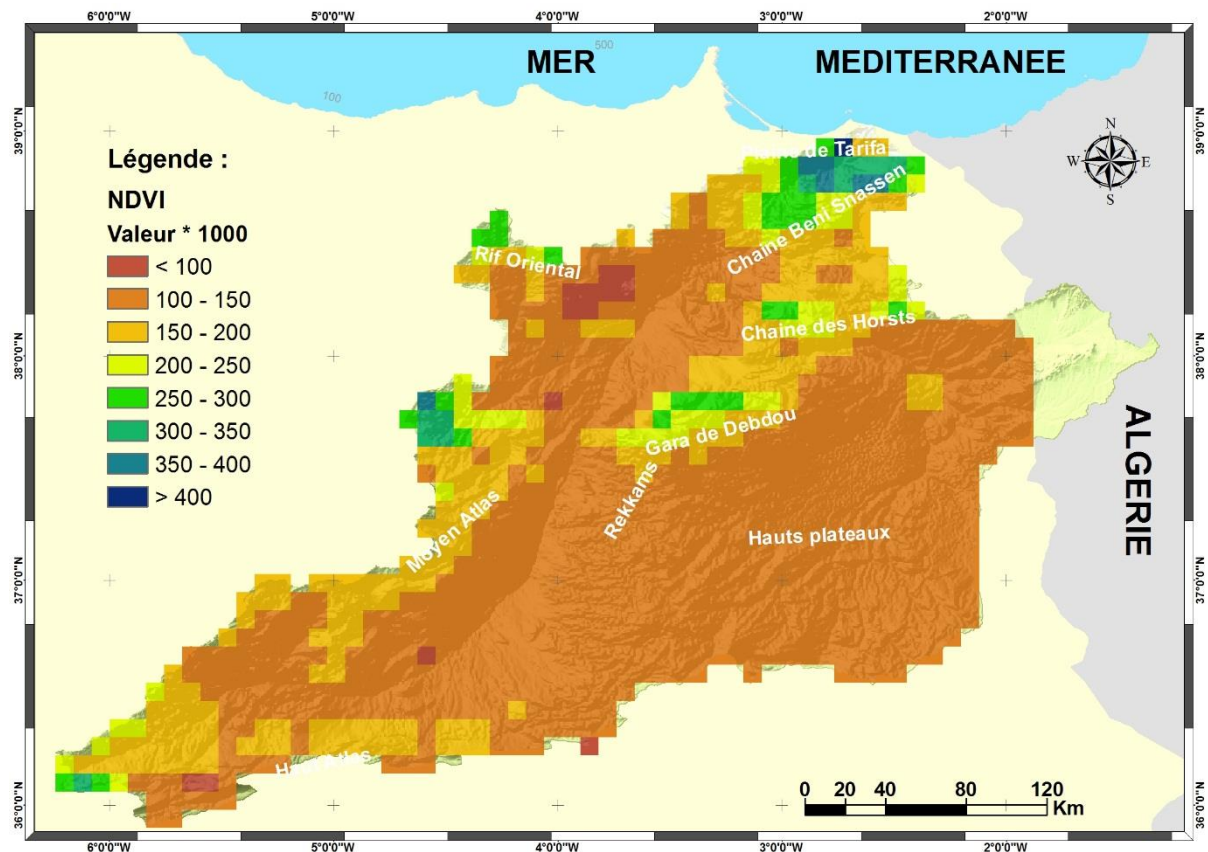
Les cartes relatives aux valeurs moyennes du NDVI par campagne agricole (septembre à août) ont été extraites à partir des données brutes de 15 jours (MVC GIMMS/AVHRR) pour obtenir finalement 25 couches de données annuelles du NDVI de 1981-82 à 2005-06. Ces 25 couches ont été utilisées pour le calcul des paramètres statistiques spatialisés à savoir la

moyenne, l'écart-type, le coefficient de variation et les valeurs minimales et maximales pour les 25 années.

La carte de la répartition de la valeur moyenne sur la durée de 25 années montre que les zones irriguées de la plaine de Triffa et les zones forestières du Moyen Atlas présentent les valeurs les plus élevées dues à la pérennité et la verdoyance du couvert végétal le long de l'année et à la qualité de sa biomasse. Les valeurs du NDVI sont toujours supérieures à 0,3.

Les zones de montagne (chaîne de Béni Snassen, Gara de Debdou, Chaîne des Horsts, Rif, Moyen et Haut Atlas oriental) sont caractérisées par des valeurs de NDVI situées entre 0,15 et 0,3 et constituent des zones intermédiaires du point de vue qualité de la végétation entre les zones irriguées et les zones à faible couvert végétal situées surtout sur les Hauts Plateaux, le Rekkam et la moyenne Moulouya.

En résumé, le NDVI moyen (valeur\*1000) de la zone est de l'ordre de 144,87 pour un écart-type de 46,14 (variabilité spatiale), ce qui donne un coefficient de variation moyen de l'ordre de 31,85%.

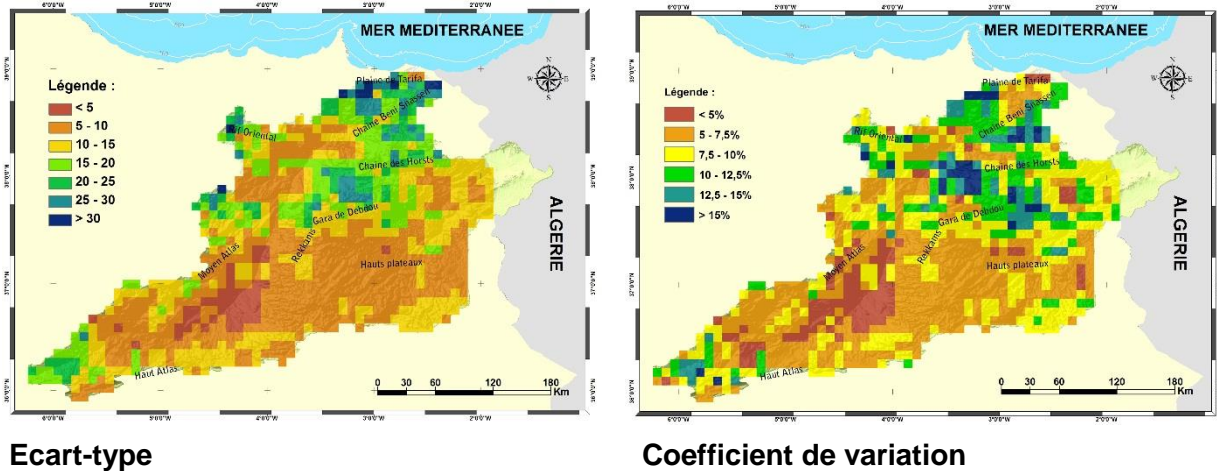


**Figure 63 : Carte du NDVI moyen du BV de la Moulouya**

Source : Données GIMMS + nos traitements

L'analyse de la variabilité annuelle du NDVI pour les 25 campagnes agricoles montre, à travers les cartes du coefficient de variation et de l'écart-type du BV de la Moulouya, que les zones caractérisées par des variations relatives très faibles du NDVI sont localisées surtout dans la vallée de Missouri et sur les Hauts Plateaux, mais aussi au niveau des zones côtières caractérisées par une agriculture irriguée intensive. Les régions de montagnes du centre du BV (chaîne de Béni Snassen, Gara de Debdou, Chaîne des Horsts) sont caractérisées par des coefficients de variation élevés et supérieurs à 10% ; ceci est dû essentiellement à la

dominance d'une végétation naturelle et saisonnière herbacée de bonne vigueur constituée essentiellement d'annuelles à forte dépendance vis-à-vis des pluies.



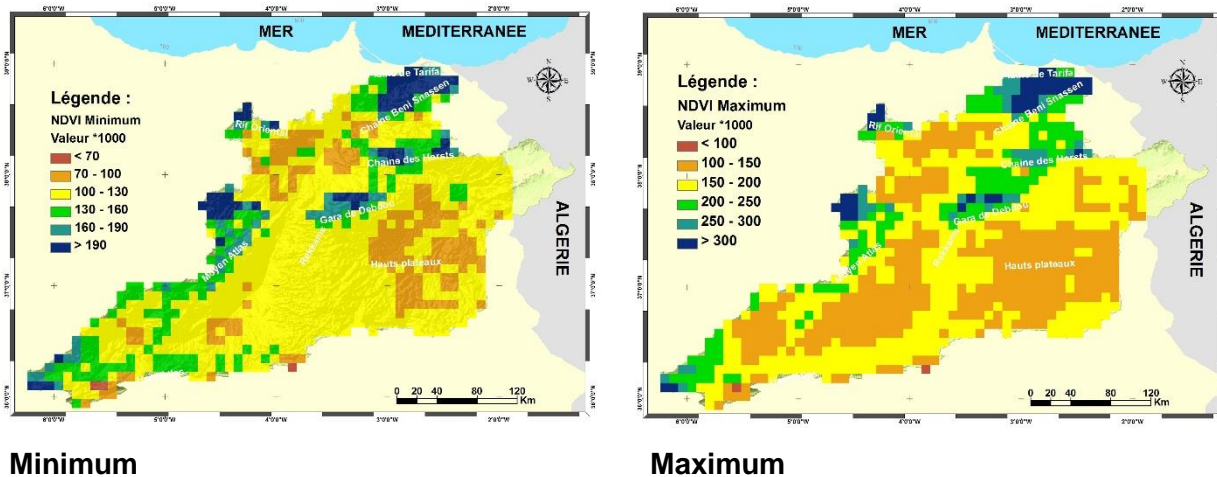
**Ecart-type**

**Coefficient de variation**

**Figure 64 : Cartes de l'écart-type et du coefficient de variation du NDVI du BV de la Moulouya**

Source : Données GIMMS + nos traitements

Les valeurs extrêmes Min et Max du NDVI montrent que les deux paramètres présentent la même répartition spatiale que la moyenne, les coefficients de corrélation pixel à pixel entre la couche relative à la moyenne NDVI des 25 campagnes agricoles et les valeurs maximales et minimales sont respectivement de l'ordre de 0,96 et 0,97, ce qui implique que les valeurs extrêmes in situ sont très liées à l'état moyen de la végétation et que le NDVI conserve assez bien sa structure spatiale au cours du temps (campagne agricole) en relation avec l'état du milieu et les conditions climatiques.



**Minimum**

**Maximum**

**Figure 65 : Carte des valeurs extrêmes (Min et Max) du NDVI du BV de la Moulouya**

Source : Données GIMMS + nos traitements

## 1.7.2. Etude des anomalies du NDVI

### 1.7.2.1. Anomalies annuelles

L'analyse spatialisée des anomalies du NDVI pour les 25 campagnes agricoles a été réalisée en utilisant la différence standardisée par rapport à la moyenne à long terme du NDVI. Cette différence, connue généralement sous le nom de la normalisation z-score, est calculée par pixel en utilisant la formule suivante :

$$d = (\text{NDVI}_i - \text{NDVI}) / \delta$$

Avec :

- d : Anomalie standardisée par rapport à la moyenne totale ;
- NDVI<sub>i</sub> : Moyenne NDVI de la campagne agricole i ;
- NDVI : Moyenne globale du NDVI pour les 25 campagnes agricoles ;
- δ : Ecart-type global du NDVI pour les 25 campagnes agricoles.

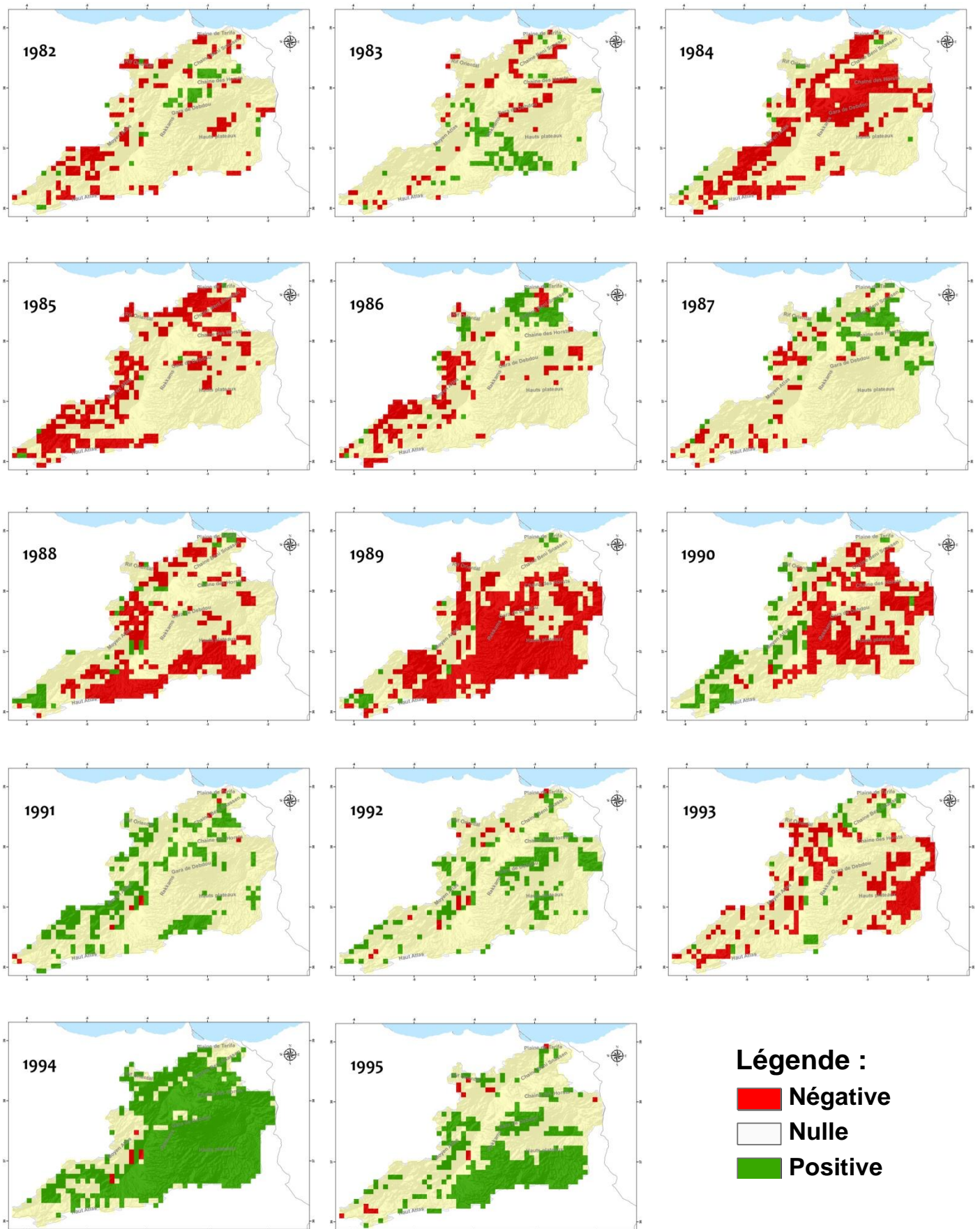
L'analyse des anomalies annuelles a été réalisée en procédant au seuillage des valeurs centrées réduites pour ne retenir que les pixels ayant des valeurs supérieures à 2 en valeur absolue, soit deux fois l'écart-type (variable centrée réduite par pixel).

L'analyse de l'évolution temporelle des anomalies du NDVI par rapport à la valeur moyenne à long terme montre que les anomalies sont réparties spatialement d'une manière aléatoire pour les 25 campagnes agricoles étudiées. Cependant, il est intéressant de noter que ces anomalies du NDVI par rapport à la moyenne à long terme sont plutôt en relation avec les conditions climatiques et que les valeurs du NDVI oscillent normalement autour de la moyenne sur l'ensemble du Bassin versant (pas de tendance particulière continue pour une zone spécifique du point de vue évolution du NDVI par rapport aux seuils fixés).

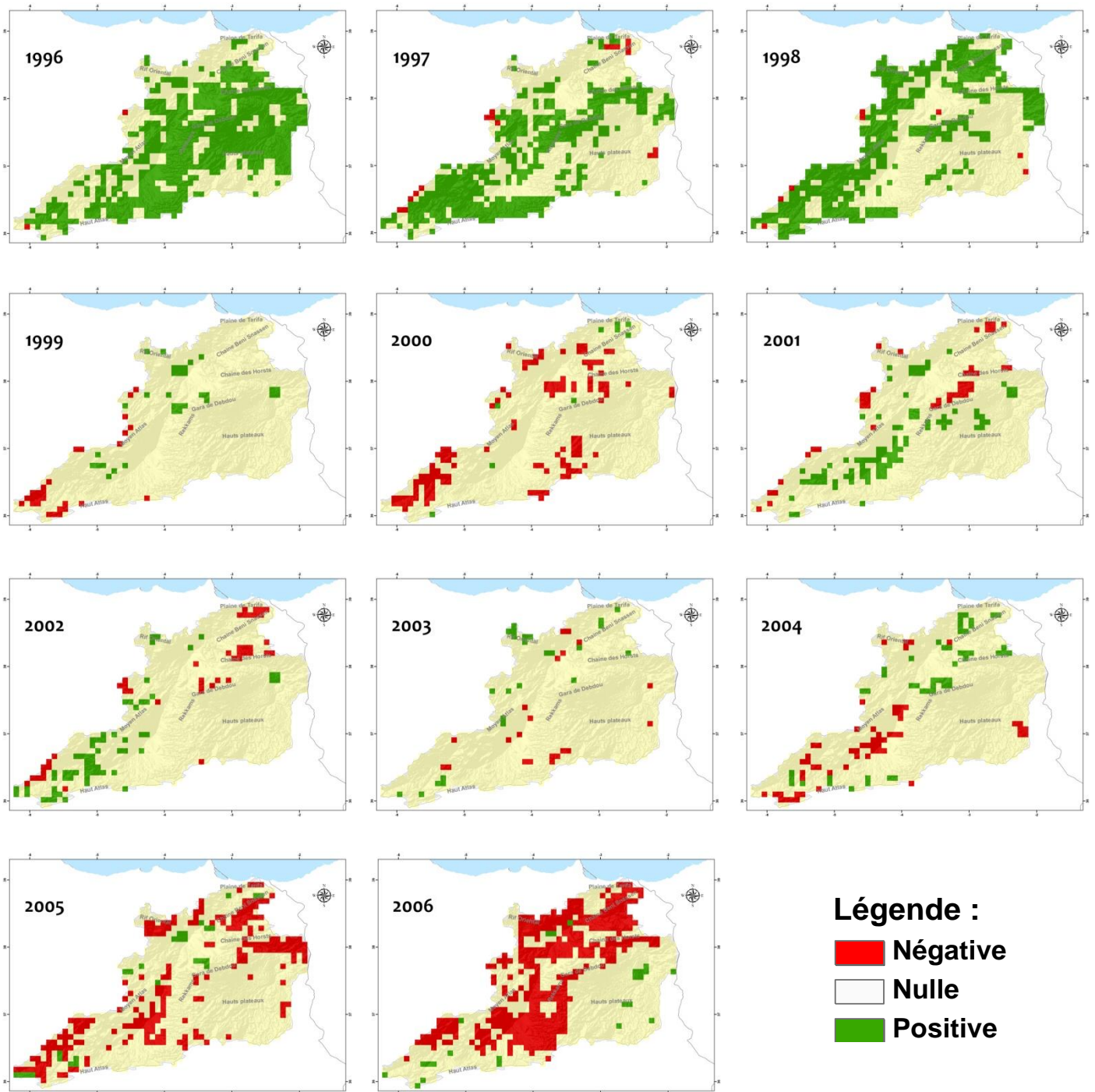
Par ailleurs, il paraît que le NVDI de l'année est en relation avec la qualité de la végétation de l'année précédente et que l'effet d'une année favorable du point de vue qualité du NDVI se répercute positivement sur la qualité de la végétation de l'année qui suit indépendamment de l'importance des précipitations reçues.

A titre d'exemple, pour la campagne agricole 1993-1994, les cartes d'évolution des anomalies annuelles du NDVI ci-dessous, montrent que les campagnes agricoles 1994-1995, 1995-1996 et un peu moins 1996-1997 présentent un NDVI supérieur à la moyenne à long terme des 25 campagnes agricoles étudiées, malgré que les précipitations annuelles de ces trois campagnes ont été respectivement de l'ordre de 200, 378 et 273 mm, contre 424 mm pour la campagne agricole 1993-1994.







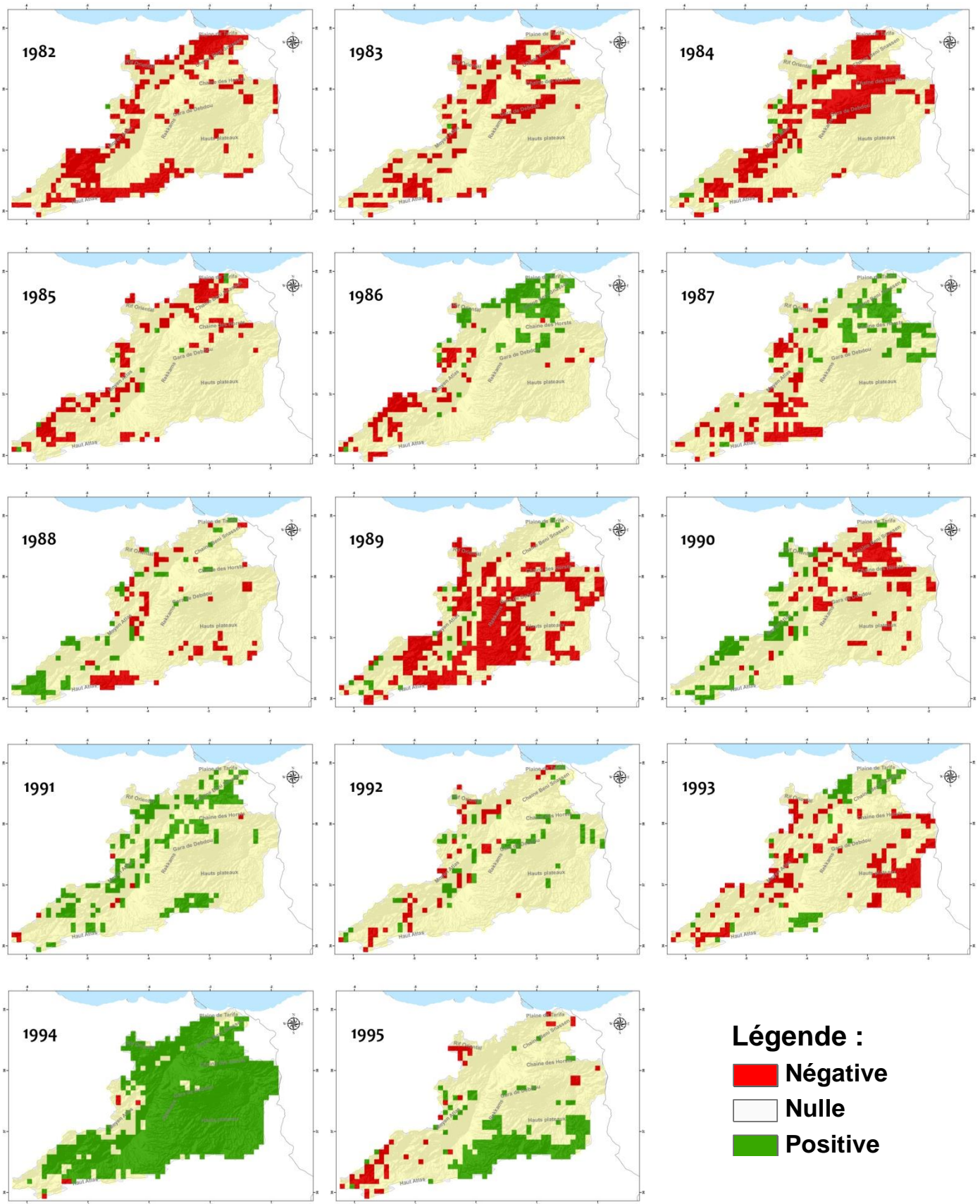


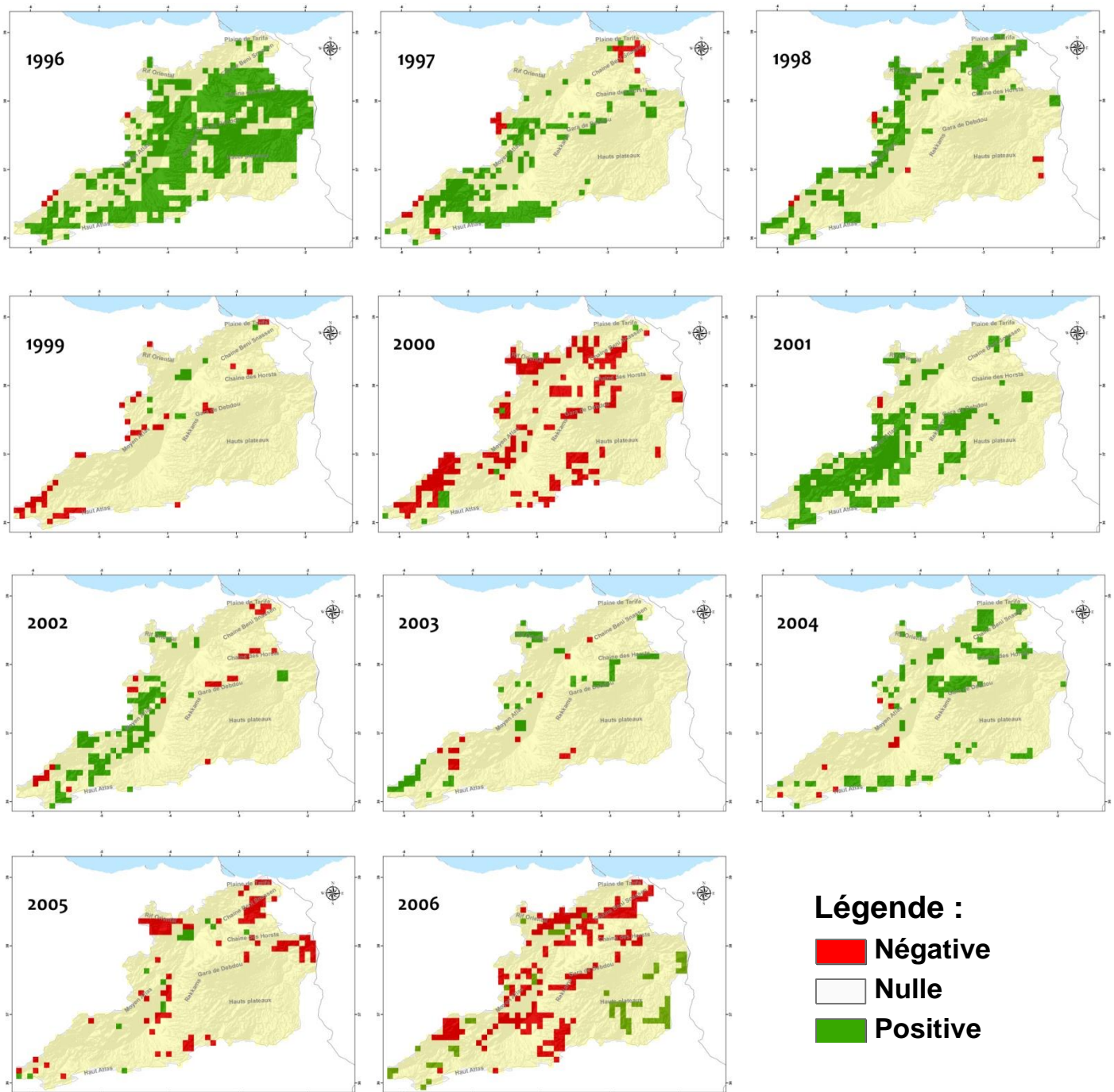
**Figure 66 : Cartes d'évolution spatiale des anomalies annuelles du NDVI entre 1981 et 2006**  
 Source : Données GIMMS + nos traitements

### 1.7.2.2. Anomalies spécifiques à la saison de croissance

Les anomalies en relation avec la période de développement de la végétation sont évaluées par rapport à la valeur moyenne saisonnière à long terme du NDVI (25 années) et sont calculées de la même façon que les anomalies annuelles précédentes sauf qu'ici les données utilisées correspondent seulement à celles relatives à la période de croissance maximale de la végétation à savoir l'intervalle entre Février et Mai.

En général, on note que les couches des anomalies saisonnières présentent presque la même configuration spatiale que les couches relatives aux anomalies annuelles. L'analyse des coefficients de corrélation linéaire des deux séries de couches de données (annuelles et saisonnières) montre que les coefficients de corrélation varient entre 0,59 pour 1982 (année sèche) et 0,94 pour 1994 (année humide) avec une valeur moyenne pour les 25 années de 0,84. Ce qui met en évidence l'importance de la saison de croissance entre Février et Mai dans le développement de la végétation au cours de l'année et dans l'explication de la valeur moyenne annuelle.





**Figure 67 : Cartes d'évolution spatiale des anomalies du NDVI pour la saison de croissance de la végétation entre 1981 et 2006 (Février – Mai)**  
 Source : Données GIMMS + nos traitements

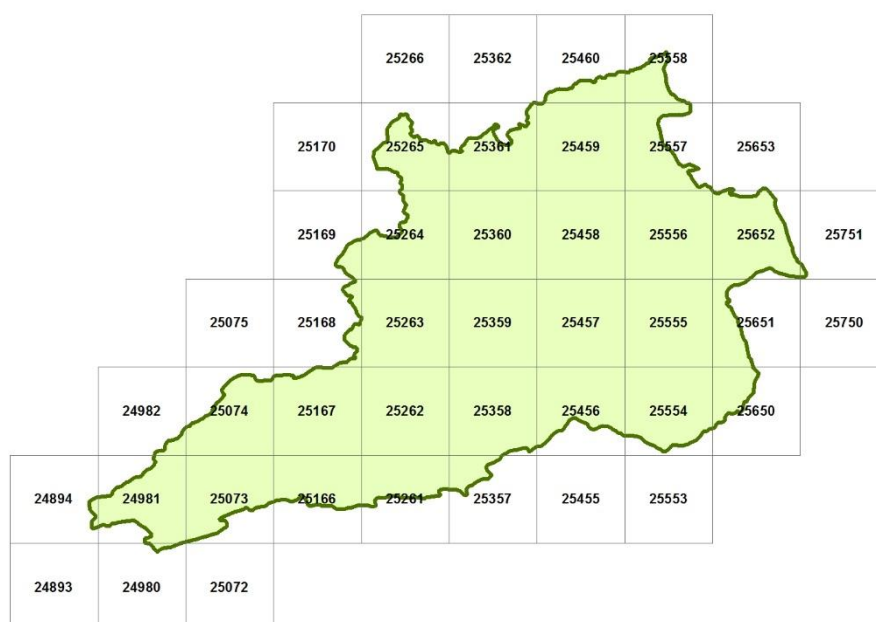


## 2. CLIMAT DU 20<sup>ème</sup> SIECLE

Le climat est par nature un système très complexe, en raison des interactions permanentes entre la terre et l'atmosphère et leurs changements dans l'espace et dans le temps (Domros et Gongbing, 1988). Le climat est un élément déterminant pour la croissance de la végétation, car il exerce un contrôle majeur sur l'environnement à la surface de la Terre (Brovkin, 2002). La plupart des analyses climatiques traitent les caractéristiques de la température et des précipitations parce que ces deux paramètres exercent en général plus d'impacts sur les conditions agro-écologiques et les activités humaines que l'ensemble des autres éléments tels que le vent, l'humidité de l'air et la couverture nuageuse.

Les données mensuelles moyennes de précipitations et de température utilisées pour étudier la tendance annuelle et saisonnière du climat régional sont issues de la base de données mondiales libre d'accès CRU TS 2.1.

La grille spatiale contenant le bassin versant de la Moulouya contient 44 pixels et correspond à l'ensemble de la zone située dans et autour du bassin versant de la Moulouya avec un périmètre de 50 km au-delà des limites du bassin (Buffering 50 km).



**Figure 68 : Grille des données CRU utilisée pour le BV de la Moulouya**

### 2.1. Températures

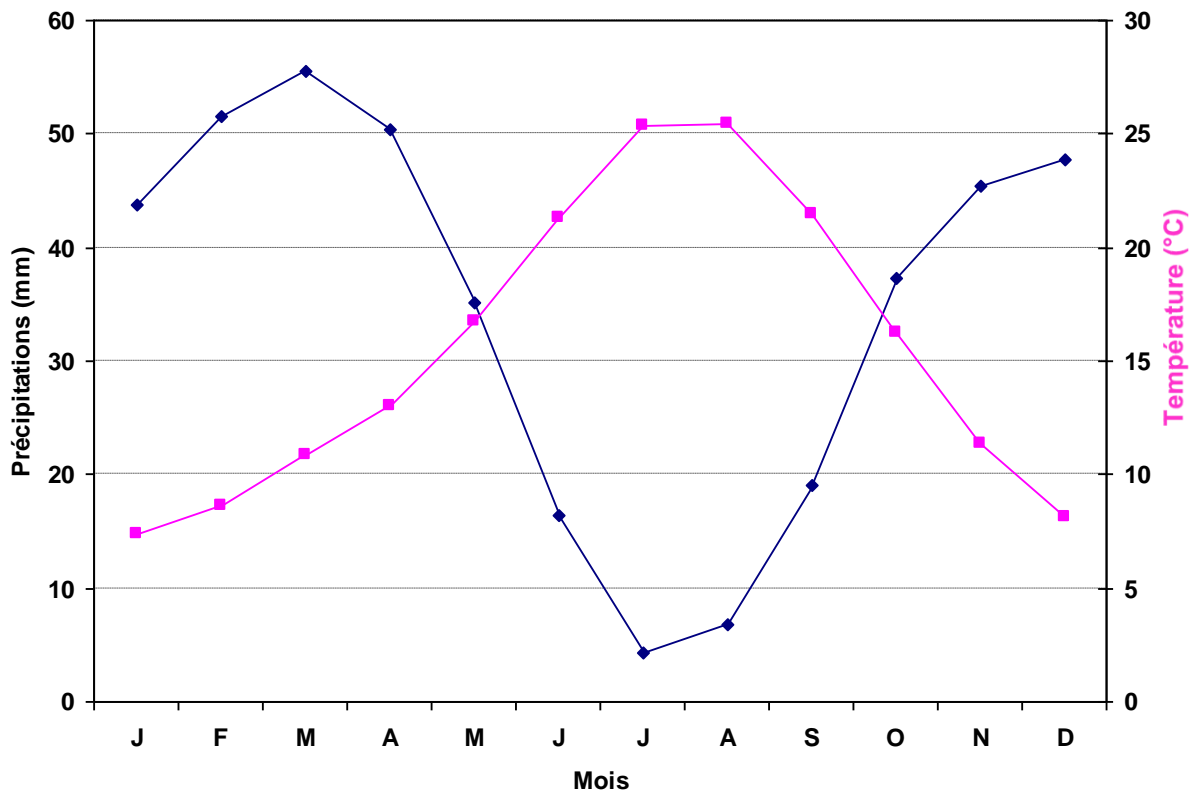
Les tendances de la température ont été étudiées pour la période 1901-2002 sur la base des données CRU TS 2.1 et concernent la température minimale, celle maximale ainsi que la moyenne annuelle et saisonnière.

### 2.2. Evolution annuelle

L'analyse de la température moyenne mensuelle pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya montre que le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température moyenne de l'ordre de 7,3 °C et le mois le plus chaud est le mois d'Aout avec une température moyenne de l'ordre de 25,5 °C. La courbe suivante montre la durée moyenne de la saison sèche pour le bassin versant de la Moulouya en se basant sur le diagramme ombro-thermique de Bagnouls Gausson (Bagnouls et Gausson, 1953) qui trace 2T et P



mensuelles sur un même graphique. Ainsi, en moyenne, on peut noter que la saison sèche ( $2T > P$ ) est de l'ordre de 6 mois et dure du mois de mai jusqu'à octobre.



**Figure 69 : Diagramme Bagnouls Gaussien du bassin versant de la Moulouya**  
Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

### 2.3. Tendances

L'analyse de la tendance des séries temporelles de données climatiques a été réalisée moyennant deux tests statistiques, celui de Mann-Kendall (Mann, 1945) et (Kendall, 1975) et celui de Pettitt (Pettitt, 1979) en vue d'évaluer, d'une part, la tendance des séries temporelles et pour détecter les périodes de ruptures, d'autre part. Le test de Mann-Kendall, basé sur la corrélation de rang, permet d'évaluer l'hypothèse de l'existence d'une tendance temporelle tandis que le test de Pettitt a pour but de tester l'hypothèse de l'existence d'une date de rupture significative dans la série chronologique étudiée.

#### Test de Mann-Kendall :

Le test non paramétrique de Mann-Kendall est utilisé pour détecter des tendances monotones dans les séries de données indépendantes. Il est basé sur la corrélation entre les rangs d'une série chronologique et leur ordre. Son hypothèse nulle est qu'il n'y a pas de tendance (série stationnaire). La statistique S de Mann-Kendall est calculée en utilisant la formule suivante :

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \text{Sign}(y_j - y_k)$$

$$\text{Où } \text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{si } x = 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

$$E[S] = 0$$

$$V(S) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{18}$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

$$p = 2[1 - \Phi(|Z_{obs}|)]$$

La statistique Z suit une distribution normale centrée réduite. Si  $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$  l'hypothèse  $H_0$  est rejetée et une tendance significative existe dans la série temporelle observée. Une valeur positive de Z indique une tendance à la hausse et une valeur négative de Z une tendance à la baisse.

La magnitude de la tendance est estimée en utilisant une méthode non paramétrique basée sur le calcul de la valeur médiane de la pente, proposé par Sen (1968) et généralisée par Hirsch et al. (1982) :

$$\beta = \text{median} \left[ \frac{X_k - X_j}{k - j} \right] \quad \text{pour tout } j > k$$

$$\text{Avec } l < j < k < n$$

$\beta$  est la valeur médiane de toutes les combinaisons possibles des paires de valeurs de l'ensemble des données.

#### Test de Pettitt :

Le test de Pettitt (1979) est un test non-paramétrique dérivé du test de Mann-Whitney. C'est un test robuste, simple et relativement puissant (Kundzewicz et Robson, 2004). Il consiste à découper, à chaque instant t compris entre 1 et N-1, la série principale de N éléments en deux sous-séries. La série principale présente une rupture à l'instant t si les deux sous-séries ont des tendances significativement différentes. Son hypothèse nulle étant l'hypothèse de non-rupture (pas de différence significative entre les tendances des deux sous-séries).

Pettitt définit la variable  $U_{t,N}$  :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{i,j}$$

$$\text{Où } D_{i,j} = \text{Sign}(x_i - x_j)$$

$$\text{Avec } \text{Sign}(Z) = \begin{cases} 1 & \text{si } Z > 0 \\ 0 & \text{si } Z = 0 \\ -1 & \text{si } Z < 0 \end{cases}$$

Il propose de tester l'hypothèse nulle en utilisant la statistique  $K_N$  définie par le maximum en valeur absolue de  $U_{t,N}$  pour t variant de 1 à N - 1.

$$K_N = \text{Max}|U_{t,N}|$$

A partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que si  $k$  désigne la valeur de  $K_N$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur  $k$  est donnée approximativement par :

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2e^{-6k^2/(N^3+N^2)}$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donné, si la probabilité de dépassement estimée est inférieure à  $\alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture localisée au moment  $\tau$  où est observée  $K_N$ .

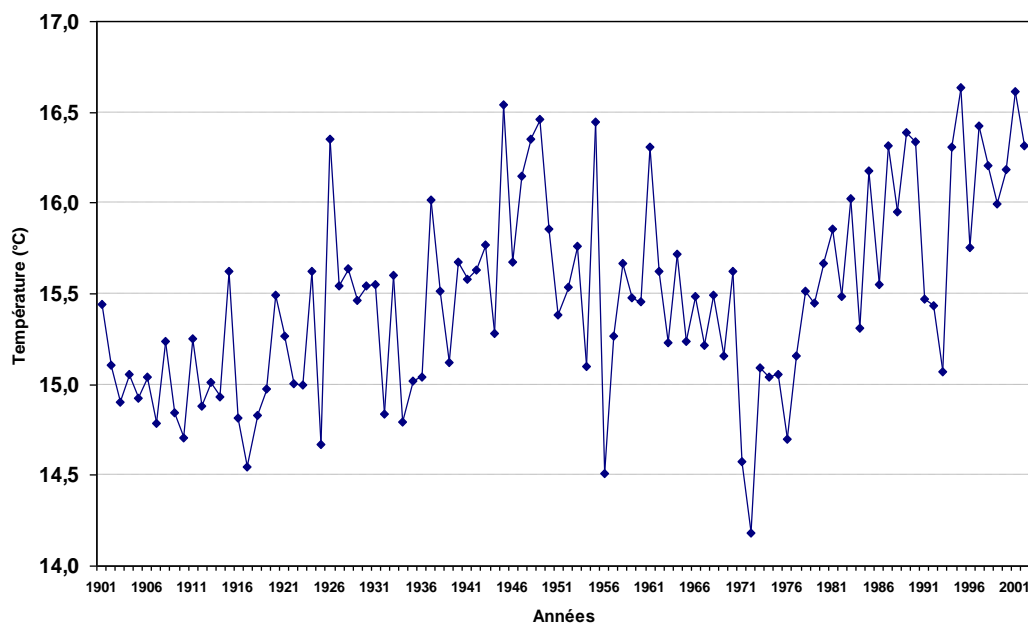
### 2.3.1. Température moyenne

#### 2.3.1.1. Température annuelle

L'analyse des données CRU TS 2.1 de la période 1901-2002, montre que la température moyenne pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya est de l'ordre de 15,5 °C avec un coefficient de variation de 3,51%. Au cours de la période 1901-2002 la température moyenne mensuelle a varié entre 4,4 et 28,3 °C. Globalement le mois le plus froid est le mois de janvier et le plus chaud est le mois d'août. La température moyenne annuelle a varié entre 14,1 et 16,6 °C, l'année la plus froide a été enregistré en 1972 et la plus chaude en 1995.

La tendance des températures moyennes normalisées pour la même période (Standard Température index : STI) montre que les années relativement froides (STI < -1) sont au nombre de 17, elles sont surtout concentrées sur la période 1901-1925 avec 11 années froides sur 25 et une température moyenne annuelle qui ne dépasse jamais les 15 °C, soit une fréquence de presque une année sur deux.

Au cours de la période 1981-2002 on n'enregistre aucune année froide, le nombre d'années relativement chaudes est égal à 11, ce qui implique qu'une année sur deux est chaude le reste étant des années avec des températures relativement normales.



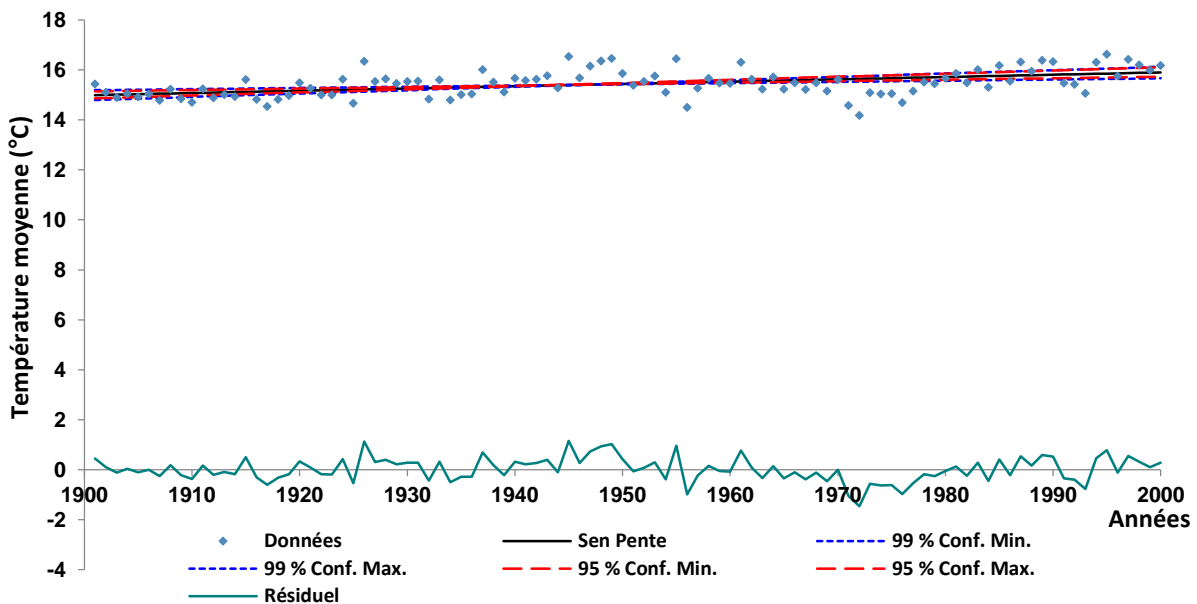
**Figure 70 : Evolution de la température moyenne annuelle du BV de la Moulouya de 1901 à 2002**

Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

En général, on note une tendance à l'augmentation des températures moyennes annuelles au cours de la période 1901-2002, la comparaison entre la moyenne des périodes 1901-1925 et 1976-2002 montre que la température moyenne annuelle est passée de 15 °C à 15,9 °C, soit une augmentation de presque 1 °C en un siècle. La tendance moyenne, le long de la période 1901-2002, montre un réchauffement relatif de l'ordre de 0,09 °C par décennie malgré un petit retour du froid entre 1971 et 1976.

L'analyse de la tendance des températures moyennes par mois et par année à l'aide du test de Mann-Kendall montre une augmentation significative de la température moyenne pour tous les mois de l'année à l'exception des mois de décembre, janvier et avril. Cette augmentation est hautement significative pour le début d'été (juin et juillet) et pour la température moyenne annuelle.

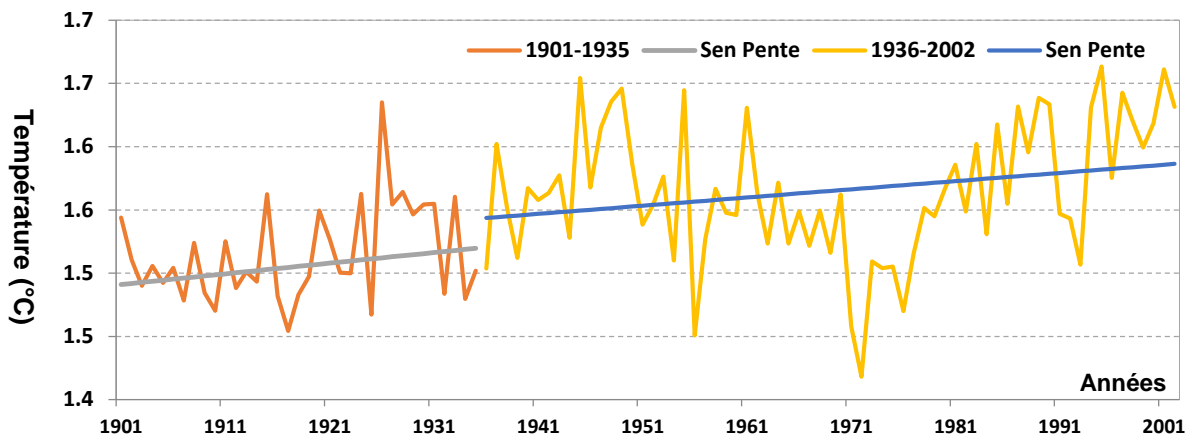
L'analyse de la tendance à l'aide des coefficients de pente et des intercepts (Pente de Sen) montre que la température moyenne a enregistré une augmentation de l'ordre de 0,8 à 0,9% en tendance linéaire (1901-2002), ce qui implique une tendance à la hausse des températures moyennes de 0,8 à 0,9 °C en un siècle (annexe 3).



**Figure 71 : Tendance de la température moyenne de la Moulouya (Test Mann-Kendall)**  
Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

Les résultats statistiques montrent que les températures moyennes annuelles ont enregistré une rupture en 1936, pour passer en moyenne de 15,14 °C au cours de la période 1901-1936 à 15,66 °C entre 1937 et 2002, soit un réchauffement brutal moyen de plus d'un demi-degré. Cette hausse s'explique essentiellement par l'augmentation des températures d'été et fin d'automne (juin à août et octobre à décembre).

L'analyse de la tendance des températures annuelles moyennes à l'aide du test de Mann-Kendall en considérant les deux sous-séries de données avant et après la date de rupture de 1936, montre une augmentation de la température moyenne au cours des deux périodes 1901-1935 et 1936-2002. En effet, la pente de Sen indique un continu réchauffement de l'ordre de 0,6 à 0,8% (0,29 °C de 1901 à 1935 et 0,42 °C de 1936 à 2002).

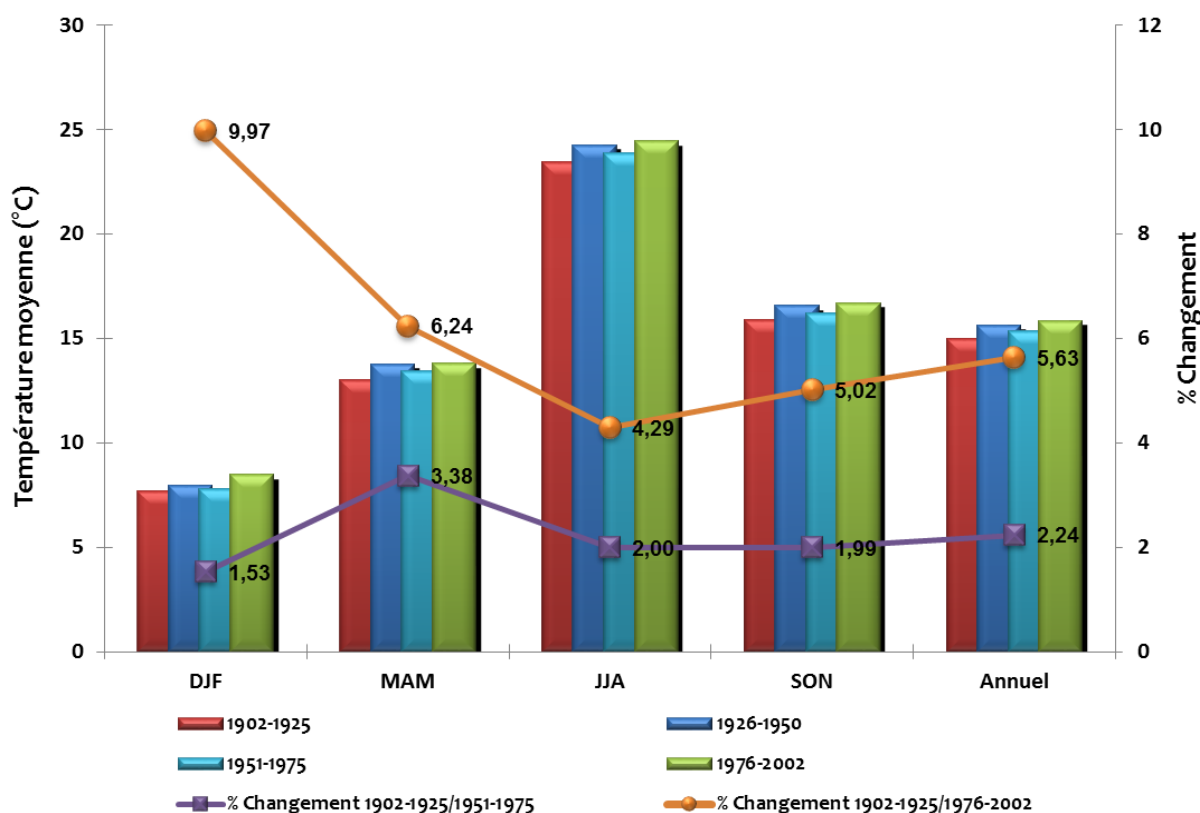


**Figure 72 : Tendence et année de rupture de la température annuelle moyenne entre 1901 et 2002**

Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

### 2.3.1.2. Température saisonnière

L'analyse des températures moyennes saisonnières 1902-2002, montre que pour toutes les saisons la température moyenne saisonnière a enregistré une augmentation plus ou moins significative. La comparaison entre les températures moyennes de l'hiver des périodes 1902-1925 et 1976-2002, montre une augmentation de l'ordre de 10%. En général, l'analyse de la température saisonnière entre 1902-1925 et 1976-2002 montre une augmentation qui varie entre 4 et 10% selon les saisons ; la saison d'hiver ayant été la plus affectée par cette augmentation et la saison d'été la moins touchée.



**Figure 73 : Changement saisonnier des températures moyennes du BV de la Moulouya entre 1901 et 2002**

Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements



## 2.3.2. Température minimale

### 2.3.2.1. Température annuelle

La température minimale varie globalement entre -1 °C et 20,8 °C, le mois le plus froid est le mois de janvier et le plus chaud est celui de juillet. La température minimale annuelle moyenne est de l'ordre de 9,4 °C.

L'analyse de la série des températures minimales entre 1901 et 2002 montre une forte corrélation avec la température moyenne mensuelle (0,99), l'écart moyen entre la température moyenne et celle minimale est de l'ordre de 6 °C.

La courbe de tendance des températures minimales annuelles montre que celles-ci sont passées de 8,9 °C à 9,7 °C entre les périodes 1901-1925 et 1976-2002, soit une augmentation de l'ordre de 0,8 °C en un siècle.

### 2.3.2.2. Température saisonnière

La tendance des températures minimales saisonnières 1902-2002 par période de 25 ans, montre que pour toutes les saisons la température minimale saisonnière a enregistré une augmentation entre 1,6 et 27%. L'hiver est la saison qui semble avoir été la plus touchée par la hausse des températures minimales, soit une élévation de 27% entre la période 1902-1925 et 1976-2002 et 10% entre 1902-1925 et 1951-1975. Globalement, la température minimale de la période 1902-2002, montre une augmentation moyenne de l'ordre de 3,7% entre 1902-1925 et 1951-1975 et 9,4% entre 1902-1925 et 1976-2002, les saisons les plus touchées par cette hausse sont l'hiver et l'automne et les moins touchées sont l'été et le printemps. En valeur absolue cette hausse est de l'ordre de 0,8 °C entre 1902-1925 et 1976-2002 pour toutes les saisons.

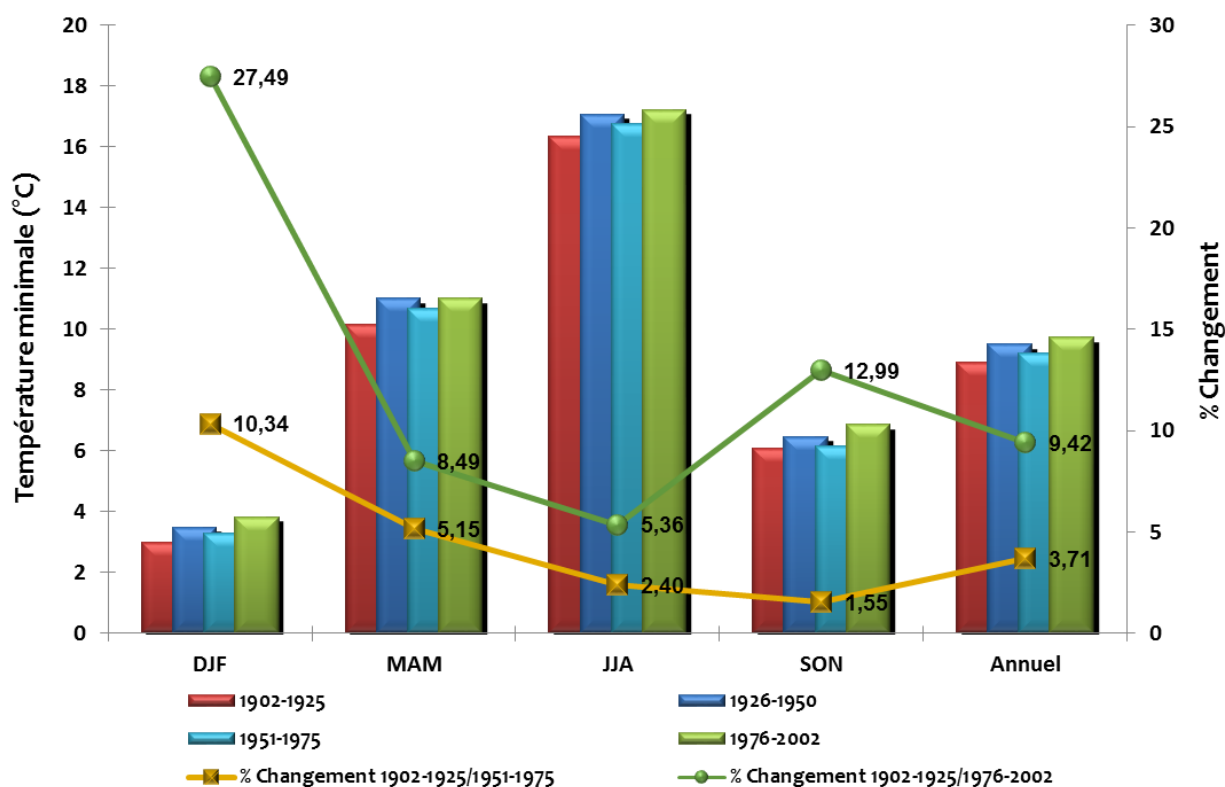


Figure 74 : Changement saisonnier des températures minimales du BV de la Moulouya entre 1901 et 2002

Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

### 2.3.3. Température maximale

#### 2.3.3.1. Température annuelle

La température maximale moyenne enregistrée entre 1902 et 2002 sur l'ensemble du bassin versant de la Moulouya est de l'ordre de 21,6 °C avec un écart-type de l'ordre de 0,55 °C. La valeur record annuelle maximale est de l'ordre de 22,8 °C enregistrée en 1995 et la valeur minimale est de 20,3 °C enregistrée en 1972.

En général, on note une tendance à l'augmentation des températures maximales annuelles au cours de la période 1901-2002, la comparaison entre la moyenne des périodes 1901-1925 et 1976-2002 montre que la température maximale annuelle est passée de 21,2 °C à 22 °C, soit une augmentation de 0,8 °C en un siècle.

#### 2.3.3.2. Température saisonnière

Les températures maximales saisonnières varient globalement entre 13 °C en hiver à 32 °C en été. L'évolution des températures saisonnières entre 1902 et 2002 dans le bassin versant de la Moulouya montre une hausse moyenne de l'ordre de 0,85 °C entre les périodes 1902-1925 et 1976-2002. Cette hausse est relativement plus importante au cours de la saison froide pendant laquelle les températures maximales sont les plus faibles, qu'en été qui représente la saison la plus chaude. Ainsi le pourcentage du changement relatif aux températures maximales varie entre 5,9% (hiver) à 3,3% (été) entre 1902-1925 et 1976-2002.

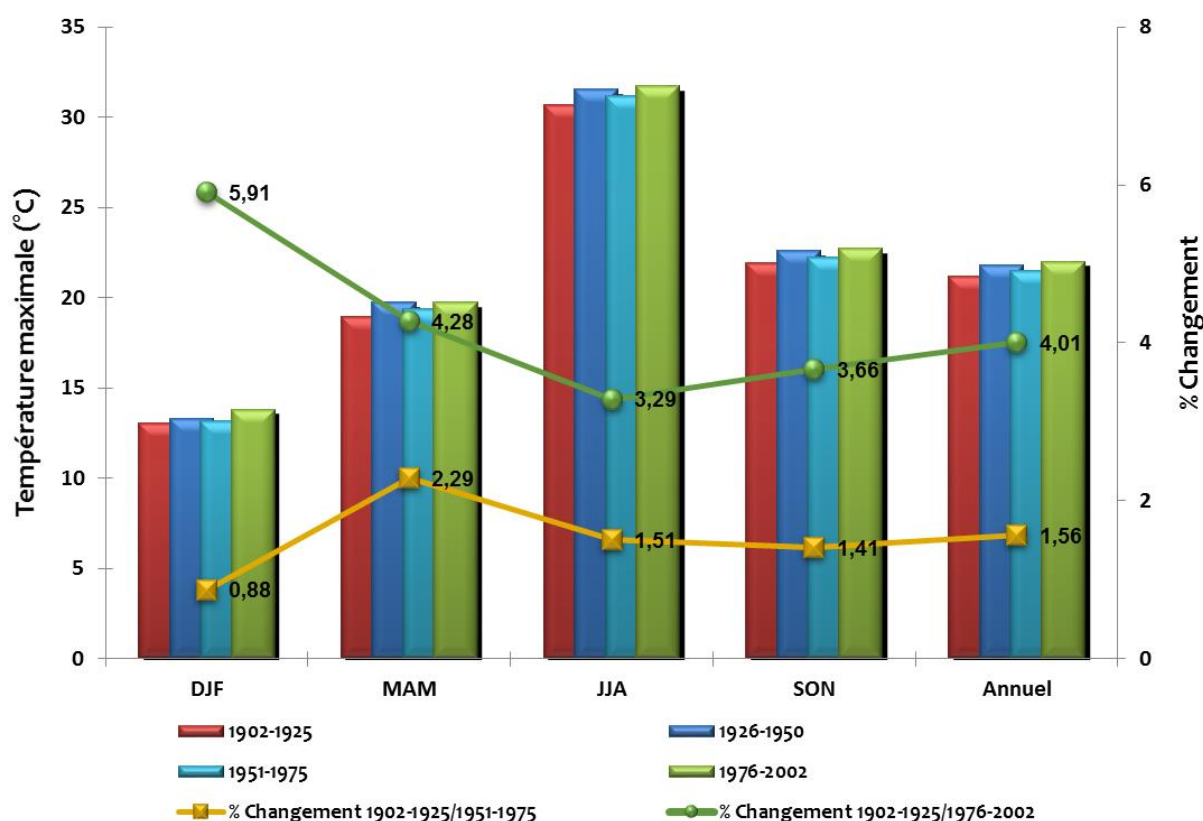


Figure 75 : Changement saisonnier des températures maximales du BV de la Moulouya entre 1901 et 2002

Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

## 2.4. Précipitations

La pluviométrie présente une grande variabilité spatio-temporelle. L'analyse de la série annuelle des précipitations moyennes CRU pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya montre que la moyenne annuelle des précipitations pour la période 1901-2002 est de l'ordre de 413,32 mm avec un coefficient de variation de 23,78%.

### 2.4.1. Structure annuelle

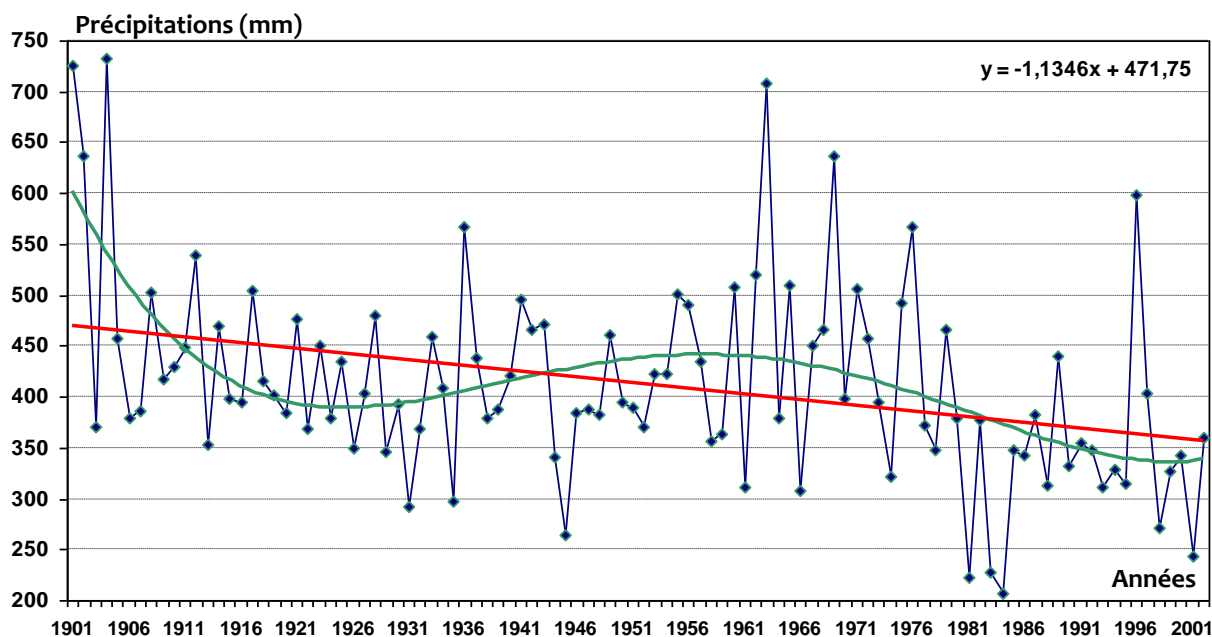
L'analyse des précipitations mensuelles pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya montre que le mois le plus pluvieux est le mois de janvier avec des précipitations moyennes de l'ordre de 50 mm et le mois le plus sec est le mois de juillet avec une pluviométrie de moins de 4 mm.

### 2.4.2. Tendances annuelles

La tendance des précipitations normalisées pour la même période moyennant l'utilisation du Standard Precipitation Index (SPI) (McKee et al., 1993) montre que les années relativement sèches ( $SPI < -1$ ) sont au nombre de 3 entre 1901 et 1960 soit 1931, 1935 et 1945 avec des précipitations inférieures à 315 mm. Alors qu'au cours de la période 1961-2002 on enregistre 10, soit une fréquence d'une année sur quatre contre une année sur 20 pour la période 1901-1960. En général, on note qu'au cours des 22 dernières années 1981-2002, le nombre d'années sèches est égal à 8, contre 5 seulement entre 1901 et 1980. Par ailleurs, il faut signaler qu'entre 1980 et 2002 les années dont les précipitations sont supérieures à la moyenne sont au nombre de 2 seulement (1989 et 1996), soit une fréquence d'une année sur 11 ce qui dénote d'une grande diminution des précipitations sur les deux dernières décennies par rapport à la moyenne de la période 1901-2002.

Les années humides avec des précipitations supérieures à 511 mm ( $SPI > 1$ ) montrent plutôt une distribution cyclique (1901-1913) et (1960-1977).

La courbe de tendance linéaire (non significative) permet de déduire une diminution de près de 100 mm sur un siècle ce qui signifie une réduction de 1 mm/an en moyenne (470 mm en 1901 à 370 en 2002 en termes de tendance). La tendance polynomiale d'ordre 4 montre, néanmoins, une périodicité des précipitations de l'ordre de 40 ans mais conserve la même ligne de régression des précipitations. La courbe ci-après explicite mieux cette diminution des précipitations au cours du dernier siècle.

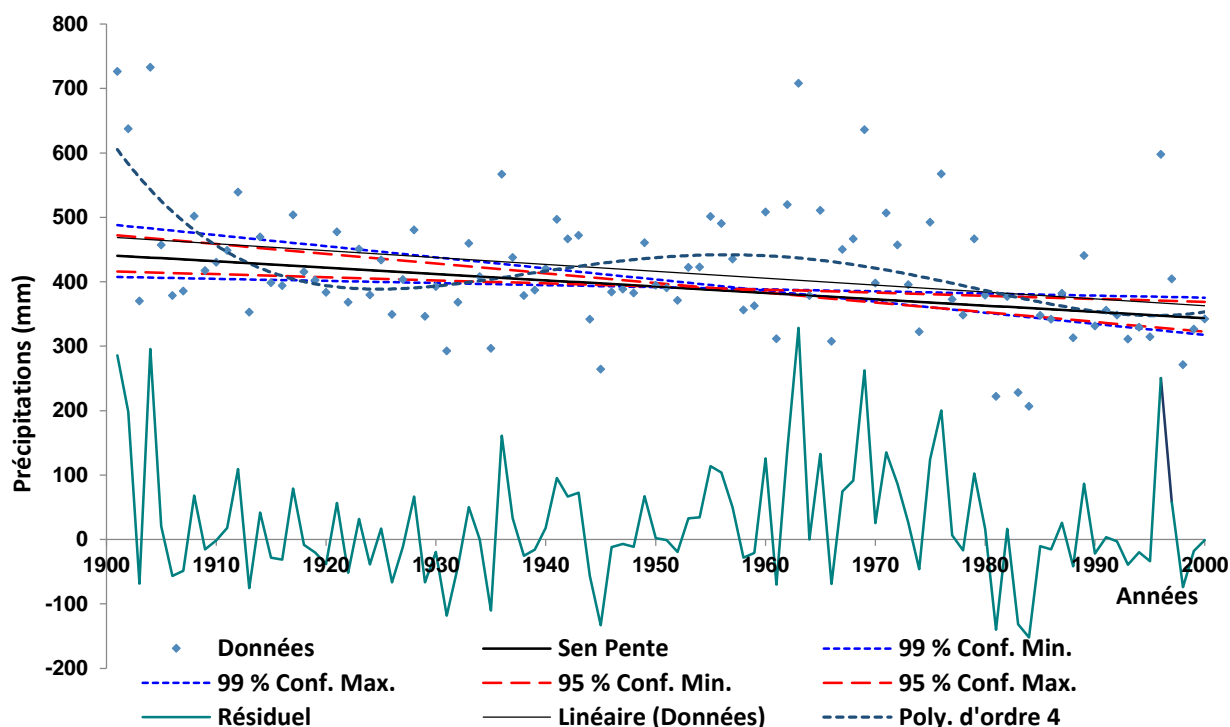


**Figure 76 : Tendence des précipitations du 20<sup>ème</sup> siècle du BV de la Moulouya**  
 Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

Pour mieux cerner l'évolution des précipitations nous avons suivi l'évolution moyenne des précipitations annuelles par période de 20 ans entre 1901 et 2002 sur la base des données CRU, l'analyse des résultats montre que les précipitations sont passées en moyenne de 467 mm pour la période 1901-1920 à 340 mm pour la période 1980-2000 (-27%).

La courbe de tendance moyennant l'utilisation du test de Mann-Kendall permet de déduire une diminution de près de 100 mm sur un siècle (Sen Pente (Q) = -0,9812, Intercept = 445,06), ce qui signifie une réduction moyenne de presque 1 mm par an. La tendance polynomiale d'ordre 4 montre, néanmoins, une périodicité des précipitations de l'ordre de 40 ans avec la même disposition de diminution des précipitations. La courbe ci-après (figure 77) explicite mieux cette diminution des précipitations au cours du dernier siècle.

Les mois pour lesquels on enregistre une tendance hautement significative de diminution des précipitations sont les mois de mars et d'octobre. Cette diminution des pluies de début d'automne et de début du printemps doit avoir un effet négatif sur le développement de la végétation et sur la qualité de la biomasse au niveau de la région.



**Figure 77 : Tendence générale des précipitations annuelles de la Moulouya (Test Mann-Kendall)**

Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

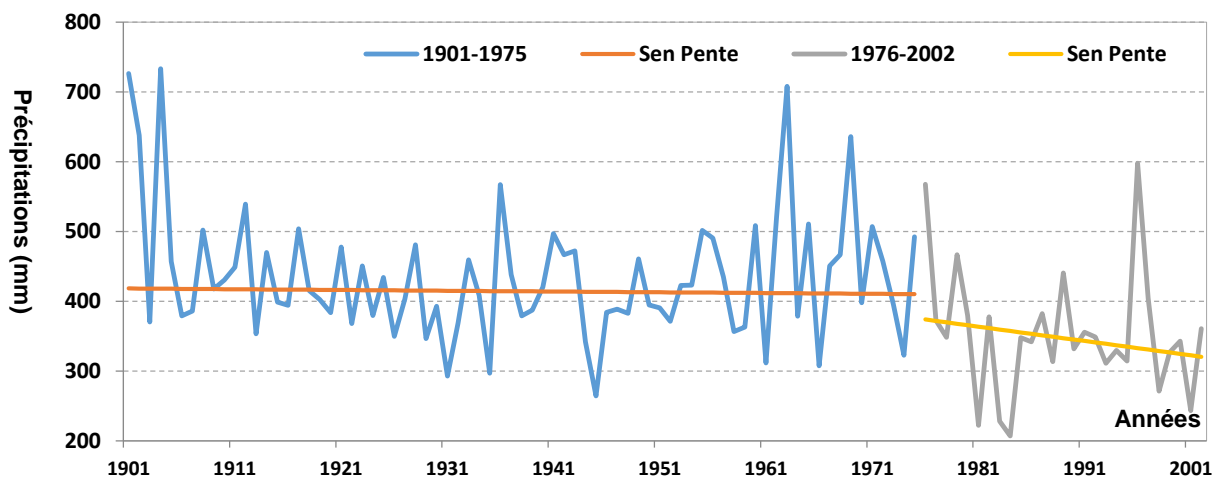
L'analyse des dates de rupture des séries temporelles des précipitations durant la période 1901-2002 moyennant l'utilisation du test d'homogénéité de Pettitt, montre une rupture de la série en 1976 ( $p < 0,01$ ). Concernant les précipitations mensuelles, les résultats obtenus indiquent une rupture autour des années 1943 et 1934 pour les mois d'automne (octobre-novembre) et vers 1975 pour le mois de mars.

La date de rupture de 1976, implique une chute brutale des précipitations de l'ordre de 64 mm. La série des précipitations annuelles pour la période 1976-2002 montre une valeur moyenne de l'ordre de 350 mm et une diminution d'environ 2 mm annuellement (Pente de Sen) (Test de Mann-Kendall non significatif essentiellement à cause de l'augmentation de la variance).

Cette diminution des précipitations semble être combinée avec une augmentation sensible de la variabilité interannuelle. Dans ce sens, on note qu'entre les périodes 1901-1975 et 1976-2002, le coefficient de variation est passé de 21% à 26%.

L'analyse de la tendance des précipitations annuelles moyennant l'utilisation du test de Mann-Kendall avant et après la date de rupture, à savoir 1975, montre qu'au cours de la période 1901-1975 les précipitations sont restées relativement stables (légère diminution non significative de l'ordre de 8 mm en 75 ans), soit une hauteur de précipitations de l'ordre de 414 mm/an.





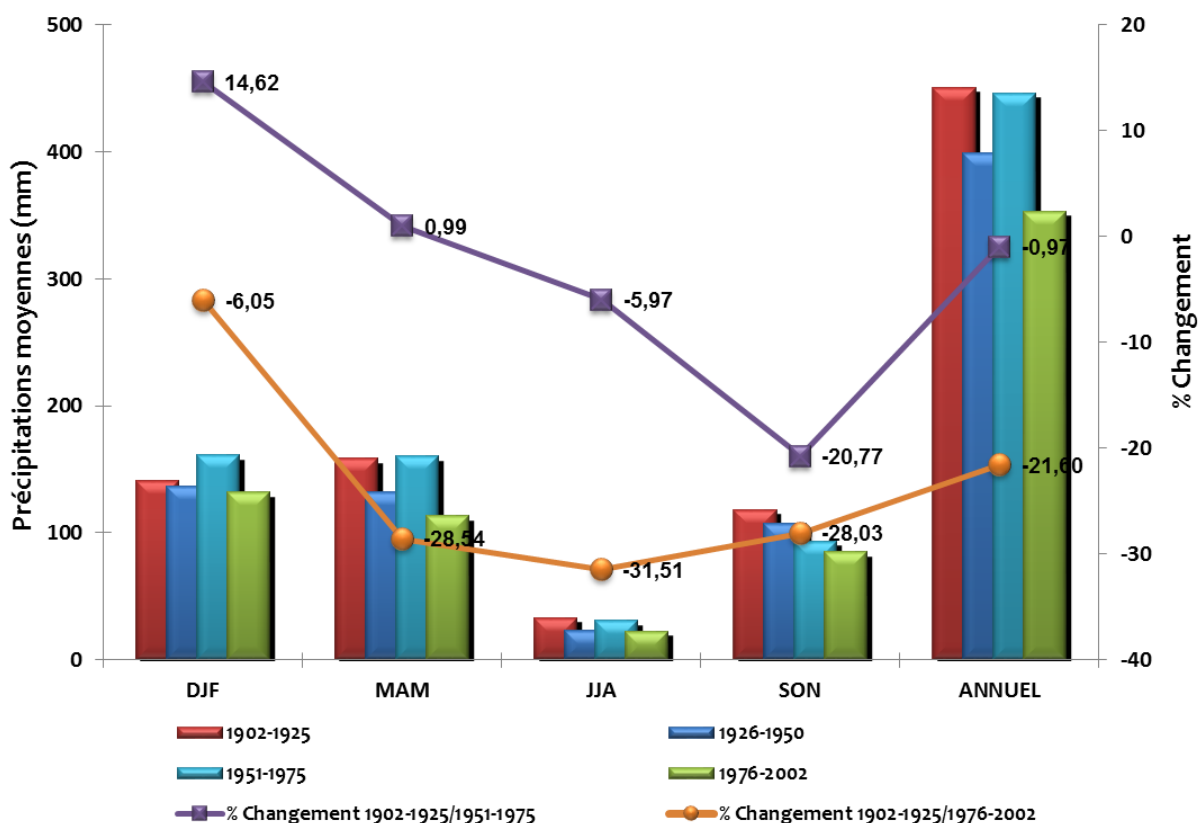
**Figure 78 : Tendance et année de rupture des précipitations annuelles 1901-2002**

Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

### 2.4.3. Tendance saisonnière

L'analyse des précipitations saisonnières montre que les précipitations de printemps et d'automne ont enregistré la plus forte diminution, soit -28%, pour passer pour l'automne de 118 mm en moyenne entre 1902 et 1925 à 85 mm entre 1976 et 2002 et chuter au printemps de 159 mm en moyenne entre 1902 et 1925 à 114 mm entre 1976 et 2002.

Le graphique ci-après montre les variations saisonnières des précipitations pour 4 périodes : 1902-1925, 1926-1950, 1951-1975 et 1976-2002 prise comme période de référence.



**Figure 79 : Changement saisonnier des précipitations moyennes du BV de la Moulouya entre 1901 et 2002**

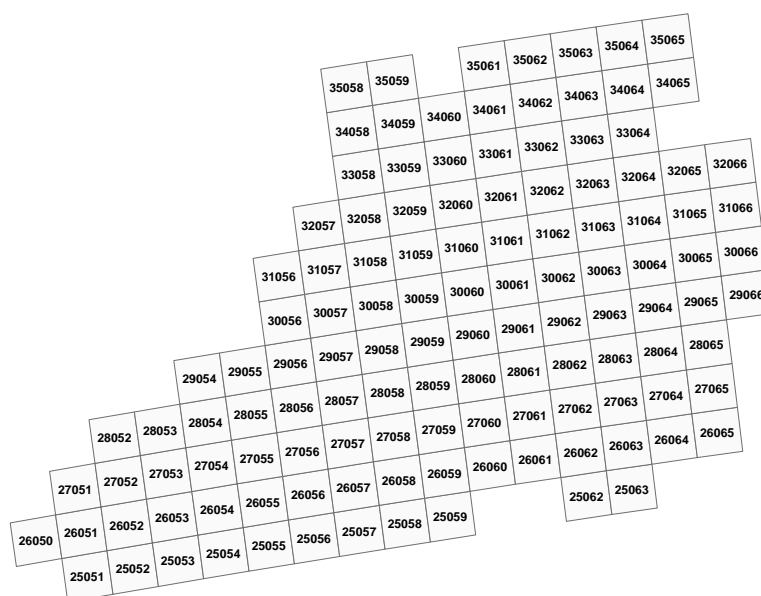
Source : Données CRU TS 2.1 + nos traitements

### 3. EVOLUTION RECENTE DU CLIMAT

Vu le nombre et la faible couverture spatiale des stations météorologiques disponibles au niveau du bassin versant et compte tenu de l'impossibilité de se procurer l'ensemble des données relatives à toutes les stations météorologiques existantes sur une longue période, nous avons opté pour l'utilisation des données distribuées gratuitement par le Centre de Recherche Pluridisciplinaire de la Commission Européenne (JRC).

Les données météorologiques du JRC correspondent aux données journalières interpolées (températures minimales et maximales, les précipitations, le rayonnement solaire global et l'évapotranspiration potentielle) avec une résolution de 25\*25 km. Les données contenant les séries historiques des précipitations et des températures (Min, Max et Moyenne) ont été téléchargées pour les régions de l'Oriental et du Centre du Maroc pour la période 1994-2014 et organisées dans une base de données dédiée.

La grille spatiale contenant le bassin versant de la Moulouya contient 123 pixels et correspond à l'ensemble de la zone située dans et autour du bassin versant avec un périmètre de 1 km au-delà des limites du bassin.



**Figure 80 : Grille des données JRC utilisée pour le BV de la Moulouya**

#### 3.1. Tendances annuelles

##### 3.1.1. Températures

Les tendances de la température ont été étudiées pour la période 1994-2014 sur la base des données JRC et concernent la température minimale, celle maximale ainsi que la moyenne annuelle et mensuelle.

##### 3.1.1.1. Température moyenne

L'analyse de l'évolution de la température annuelle moyenne montre une relative stabilité de la tendance pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya entre 1994 et 2014. Les valeurs enregistrées au cours de cette période varient entre 15,6 °C en 1996 à 17,08 °C en 2014 avec une valeur moyenne de l'ordre de 16,5 °C pour la période 1994-2014.

Par rapport à la période 1901-2000, pour laquelle la température moyenne est passée de 15 °C à 15,9 °C, on note que la température moyenne a enregistré au cours de la période 1994-2014 une hausse de l'ordre 0,5 °C en 20 ans en termes de tendance. Statistiquement, cette tendance n'est pas significative en raison de la grande variabilité des températures annuelles enregistrées.

### **3.1.1.2. Température minimale**

La série des températures annuelles minimales pour la période 1994-2014, montre une tendance stationnaire. L'écart moyen entre la température moyenne et celle minimale est de l'ordre de 5,5 °C. L'année la plus froide au cours de cette période est 2007 avec une température minimale de l'ordre de 9,65 °C.

La comparaison avec l'évolution de la température minimale au cours du 20<sup>ème</sup> siècle qui a enregistré une hausse de 0,8 °C, montre une stabilité au début du 21<sup>ème</sup> siècle pour lequel et durant la période 1994-2014, la température minimale est restée pratiquement constante, soit une valeur moyenne de l'ordre de 10,2 °C. Par rapport à la période 1976-2002, pour laquelle la température minimale a été de 9,7 °C en moyenne, on note un réchauffement de l'ordre de 0,5 °C.

Par rapport au scénario d'évolution future relatif au modèle HADCM3, on note que la tendance enregistrée s'écarte fortement du scénario 2000-2020 qui prévoit une hausse de la température minimale de l'ordre de 1 °C en 2020 pour une valeur initiale en 2000 de l'ordre de 9,3 °C, soit un écart de presque 1 °C (sous-estimation de la température minimale au début du siècle).

### **3.1.1.3. Température maximale**

La température maximale moyenne de l'ensemble du bassin versant entre 1994 et 2014 n'a pas enregistré un changement significatif. Ainsi, sa valeur est restée de l'ordre de 22,80 °C avec un minimum enregistré en 1996 de 21,39 °C et un maximum pour l'année 2014 de 23,55 °C.

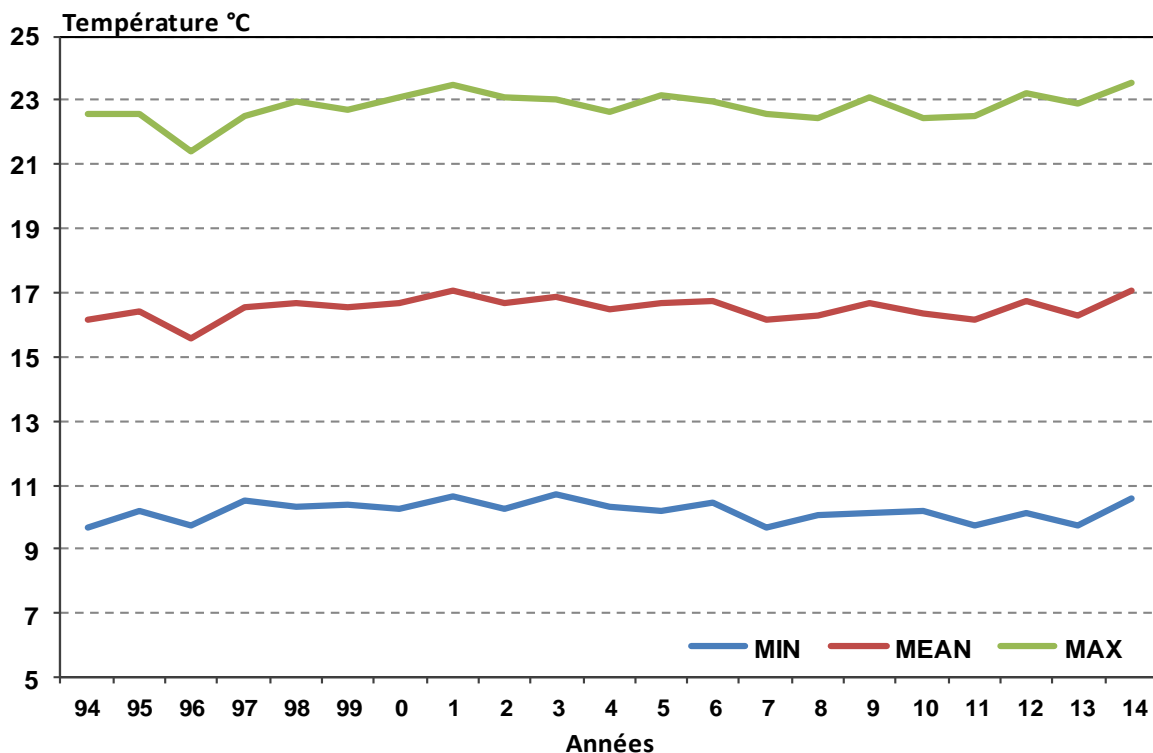
Par rapport à la température maximale annuelle du siècle précédent qui a été de l'ordre de 21,6 °C, on note que la température du début du siècle a augmenté d'environ 2,2 °C.

Si on note une augmentation des températures maximales annuelles entre les périodes 1901-1925 et 1976-2002 de l'ordre de 0,8 °C, la différence en valeur moyenne de la température maximale entre 1976-2002 et 1994-2014 est aussi de 0,8 °C.

Si ses augmentations en valeur absolue paraissent grandes, il est important de signaler que les variations interannuelles restent très élevées et ne permettent pas de distinguer des tendances statistiquement significatives.

Par rapport au scénario d'évolution future relatif au modèle HADCM3, la comparaison avec le scénario 2020 par rapport à la moyenne enregistrée au cours de la période 1994-2014 montre que la température maximale annuelle enregistrée est du même ordre que celle prévue par les deux scénarios A2 et B2, soit une valeur autour de 22,8 °C.

En général, les tests statistiques d'évaluation de la tendance des séries de températures montrent une stabilité des températures annuelles au cours de la période 1994-2014. Le test de Mann-Kendall est non significatif pour l'ensemble des séries de températures annuelles étudiées (Tmin, Tmax, Tmean).



**Figure 81 : Evolution de la température du BV de la Moulouya entre 1994 et 2014**

Source : Données JRC + nos traitements

Les valeurs moyennes et les écarts-types de la température de l'air de la période 1994-2014 consignées dans le tableau suivant permettent de suivre l'évolution moyenne du régime thermique au niveau du bassin versant de la Moulouya.

**Tableau 39 : Température moyenne, min et max du BV de la Moulouya**

Températures	Moyenne	Ecart Type	C.V (%)	Min	Max
<b>Moyenne</b>	16,52	0,35	2,10	15,60	17,08
<b>Minimale</b>	10,19	0,32	3,14	9,65	10,71
<b>Maximale</b>	22,80	0,47	2,04	21,39	23,55

Source : Données JRC + nos calculs

### 3.1.2. Précipitations annuelles

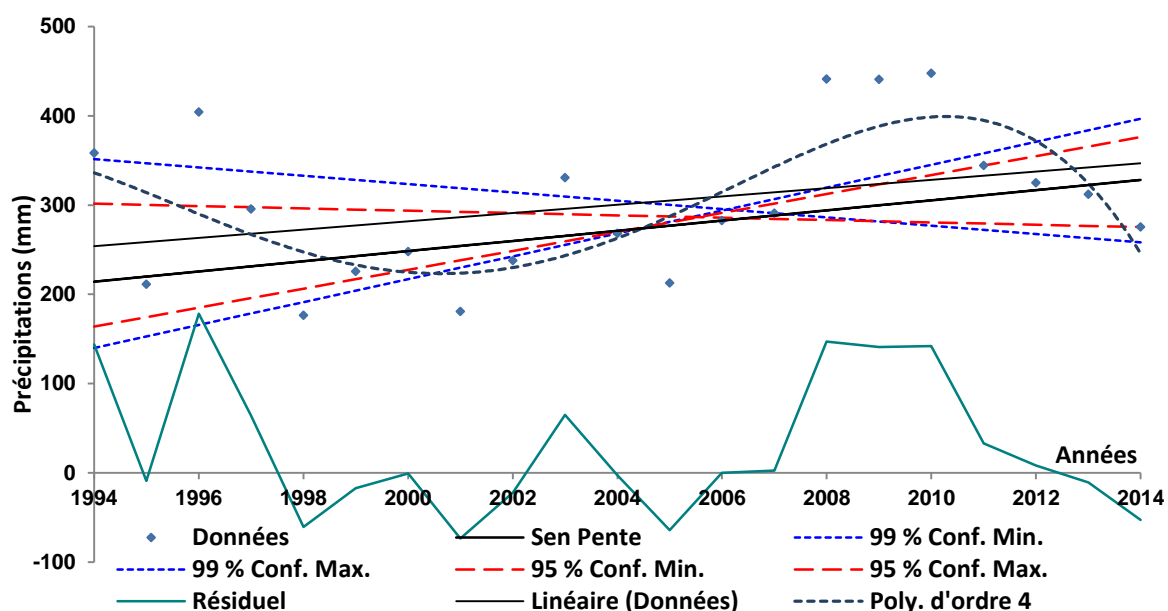
L'analyse de la série annuelle des précipitations moyennes sur la période 1994-2014 montre que la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 300 mm avec un coefficient de variation de 27,70%. L'année la plus pluvieuse a été 2010 avec une hauteur des précipitations de 447 mm et la plus sèche a été 1998 avec 177 mm.

L'analyse de la série des précipitations annuelles pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya montre un gradient croissant au cours de la période 1994-2014. Au cours de cette période, la pluviométrie annuelle a enregistré, en termes de tendance, une hausse relative de l'ordre de 40%, soit une augmentation de presque 5 mm/an (250 à 350 mm sur 21 ans). Du point de vue statistique cette tendance n'est pas significative et ne permet pas d'expliquer les variations temporelles des précipitations.

Cette augmentation sans termes de tendance paraît être liée aux caractéristiques propres du climat méditerranéen caractérisé par de fortes fluctuations interannuelles et ne peut être imputée à une tendance particulière et soutenue du changement du climat régional.

Le test de Mann-Kendall relatif à la série des données de précipitations annuelles pour la période 1994-2014 montre que la série des précipitations annuelles est stationnaire et ne présente pas de tendance significative à la hausse des précipitations.

Concernant la comparaison avec les projections climatiques prévues pour le 21<sup>ème</sup> siècle relatives au modèle HADCM3 indiquant, pour les deux scénarios A2 et B2, une diminution globale des précipitations au niveau du bassin versant de la Moulouya de l'ordre de 3 à 5 mm en 2020, on note que ces projections divergent fortement de la tendance réelle de la période 1994-2014 qui indique une stabilité des hauteurs des précipitations annuelles et même une reprise des pluies au cours des dernières années même si la série d'observations sur 21 ans ne permet pas de détecter une tendance soutenue à cause de la grande amplitude des variations annuelles.



**Figure 82 : Tendence des précipitations du BV de la Moulouya entre 1994 et 2014**

Source : Données JRC + nos traitements

## 3.2. Tendances mensuelles

### 3.2.1. Températures

#### 3.2.1.1. Température moyenne

L'analyse des données mensuelles relatives à la température moyenne entre 1994 et 2014 montre que le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température moyenne de l'ordre de 8,1 °C et le plus chaud est le mois de juillet avec une valeur de 26,4 °C.

L'analyse des tendances mensuelles au cours de la période 1994-2014 à l'aide du test de Mann-Kendall montre que les températures mensuelles moyennes sont restées stables à l'exception des mois d'avril et août pour lesquels une augmentation faiblement significative a été notée (annexe 4).



### **3.2.1.2. Température minimale**

Les données relatives à la température mensuelle minimale pour la période 1994-2014 montrent que le mois présentant la température minimale la plus faible est le mois de janvier avec 2,7 °C.

Les séries des températures mensuelles minimales pour la période 1994-2014, montrent des tendances quasi-stationnaires à l'exception du mois de décembre qui présente une diminution significative au niveau de probabilité de 5% avec un coefficient de pente de -0,079.

### **3.2.1.3. Température maximale**

La température mensuelle maximale pour la période 1994-2014 montre que le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température maximale de l'ordre 34 °C.

L'analyse de la tendance des séries des températures mensuelles maximales pour la période 1994-2014 à l'aide du test de Mann-Kendall, montre des tendances quasi-stationnaires à l'exception du mois d'août qui présente une augmentation significative des températures maximales.

L'analyse des tendances mensuelles des températures moyennes, maximales et minimales montre une légère tendance à l'augmentation des températures maximales du mois d'août et une légère tendance à la diminution pour la température minimale du mois de décembre. Ces résultats montrent que ce sont surtout les saisons d'été et de printemps qui sont affectées par l'augmentation des températures, les températures des saisons pluvieuses d'hiver et d'automne semblent ne pas avoir subi de changements au cours de la période 1994-2014.

## **3.2.2. Précipitations mensuelles**

L'évolution des précipitations mensuelles au cours de la période 1994-2014 montre que le mois le plus pluvieux est novembre avec une hauteur moyenne de l'ordre de 39,7 mm et le mois le plus sec est juillet avec des précipitations de l'ordre 7,3 mm.

L'analyse de la tendance mensuelle des précipitations montre que le mois de novembre a enregistré une hausse significative des précipitations avec un coefficient de pente 2,47 mm (Sen pente) qui implique une augmentation de presque 2,5 mm par an sur la période 1994-2014. L'ensemble des autres mois ne présentent pas de changements significatifs des hauteurs des précipitations.

Cette augmentation des précipitations mensuelles se traduit par un meilleur étalement de la pluviométrie le long de l'année (novembre-mars) ce qui influence le bilan pluviométrique annuel.

## **G. SCENARIOS D'EVOLUTION FUTURE DU CLIMAT**

La régionalisation des simulations de modèles de circulation générale océan atmosphère est nécessaire pour le transfert des projections de scénarios potentiels de changement climatique aux échelles locales. Ceci est plus important dans les zones arides et semi-arides plus vulnérables aux changements climatiques à cause des risques de réduction des rares ressources en eau disponibles et des conséquences que ces changements peuvent engendrer pour l'agriculture, l'environnement et l'économie.

Dans ce sens, les tendances saisonnières futures des températures et des précipitations ont été analysées pour les scénarios A2a et B2a pour le modèle HadCM3 (Gordon et al., 2000 ; Pope et al., 2000). Les données sur les conditions climatiques actuelles de la zone ont été téléchargées de la base de données WorldClim Version 1.4. (Hijmans et al., 2005). Les projections climatiques futures correspondent à l'un des modèles de circulation générale (Global Circulation Models : GCMs) parmi les plus recommandés (GIEC, 2007) à savoir HADCM3 (Hadley Center for Coupled Model, version 3). Les projections 2020, 2050 et 2080 ont été utilisées pour les scénarios A2 et B2. Ces deux scénarios décrivent des mondes à évolution différenciée et donnent une idée sur les conditions climatiques pouvant régner à l'échelle régionale sur la base d'hypothèses de changements de technologies, d'émission de gaz à effet de serre et de croissance de la population mondiale.

Le scénario A2 est un scénario pessimiste, il décrit un monde où la population est en rapide augmentation et dont l'économie repose sur des technologies polluantes à base d'énergies fossiles. Ce monde est plus protectionniste et caractérisé par une croissance inégale entre le Nord et le Sud.

Le scénario B2 est un scénario optimiste, il est caractérisé par un monde où l'économie est basée sur le développement durable dans le sens de viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale augmente d'une manière continue mais à un rythme plus faible que dans le scénario A2. Le développement économique et l'évolution des technologies sont moins rapides mais plus diversifiés.

## **1. TENDANCES DES TEMPERATURES**

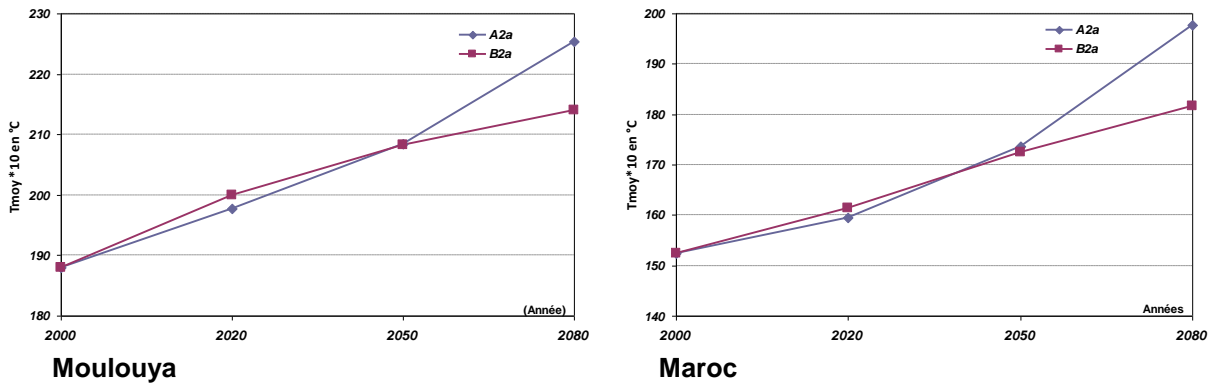
### **1.1. Température moyenne**

#### **1.1.1. Température annuelle**

L'analyse des scénarios d'évolution de la température annuelle moyenne pour le modèle HADCM3, montre une augmentation pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya entre 2020 et 2080 pour le modèle B2 le plus optimiste de l'ordre de 2 °C et de 3,8 °C pour le scénario A2 le plus pessimiste. Ces valeurs montrent une hausse générale et soutenue des températures pour les deux scénarios A2 et B2. Ainsi, la température moyenne annuelle passe de 16 °C en 2020 pour le scénario A2 (le plus pessimiste) à 19,8 °C en 2080. Alors que pour le scénario B2 (le plus optimiste) celle-ci passe au cours de la même période de 16 °C à 18,1 °C.

L'analyse de l'évolution des températures moyennes par rapport à la période de référence 1960-2000, montre un réchauffement global et continu de l'ordre de 2,9 à 4,5 °C d'ici 2080, selon le type de scénario. En général, les températures moyennes doivent augmenter de 0,36 à 0,56 °C par décennie.

Par rapport à la période 1901-2000, pour laquelle la température moyenne est passée de 15 °C à 15,9 °C, soit une augmentation de presque 1 °C en d'un siècle, on note une accélération du réchauffement climatique de l'ordre de 1 °C à 2,8 °C selon les scénarios au cours de la période 2020-2080.

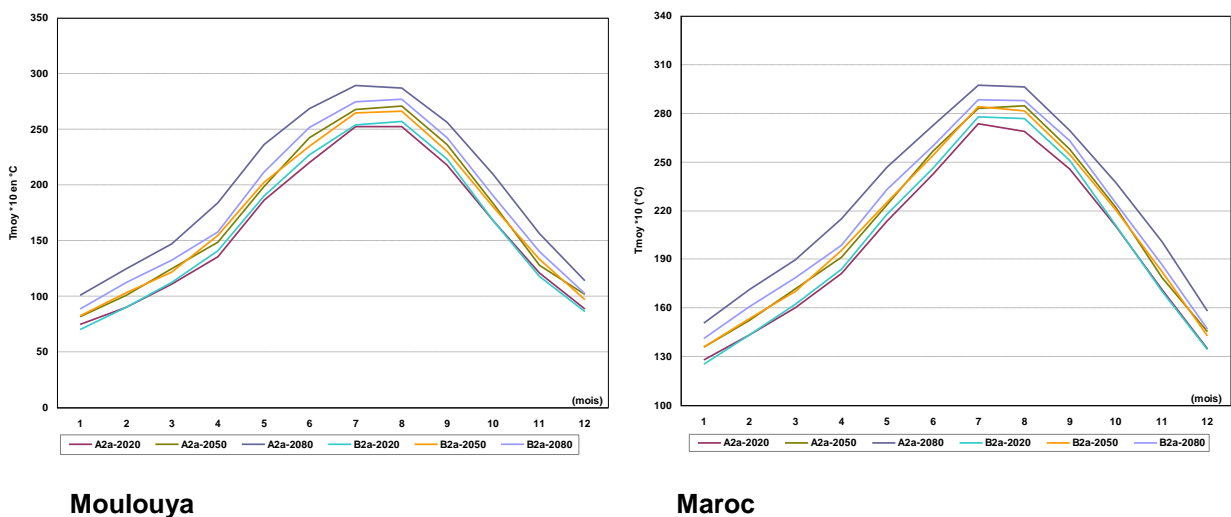


**Figure 83 : Evolution de la température moyenne du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2**  
 Source : Données HADCM3 + nos traitements

En comparant ces valeurs à l'évolution globale des températures à l'échelle de tout le pays, on note que le gradient d'augmentation des valeurs moyennes est plus élevé au niveau du bassin versant de la Moulouya qu'à l'échelle de l'ensemble du pays. Ainsi, l'augmentation des températures moyennes à l'échelle du bassin versant est de l'ordre de 2,9 à 4,5 °C d'ici 2080, contre 2,6 à 3,7 °C pour l'ensemble du Maroc. Ceci permet de conclure que l'augmentation de l'aridité et éventuellement de la désertification devrait être plus marquée à l'échelle du BV de la Moulouya comparativement à l'ensemble du pays.

### 1.1.2. Température saisonnière

L'analyse de l'évolution des températures moyennes mensuelles pour les trois périodes de référence 2020, 2050 et 2080 et pour les deux scénarios A2 et B2, montre que pour toutes les saisons, la température moyenne saisonnière augmente significativement. Néanmoins, cette hausse est relativement plus élevée au printemps et en été (4-9) qu'en automne et en hiver.



**Figure 84 : Evolution mensuelle de la température moyenne du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 entre 2020 et 2080**  
 Source : Données HADCM3 + nos traitements

## 1.2. Température minimale

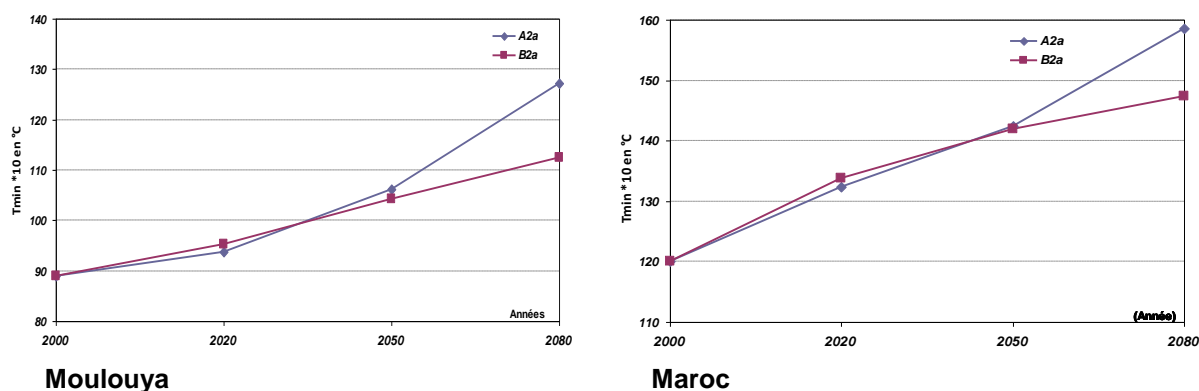
### 1.2.1. Température annuelle

L'analyse de la série des températures minimales pour les deux scénarios A2 et B2, montre une tendance à l'augmentation entre 2,3 et 3,8 °C par rapport à la période de référence 1960-2000. L'écart moyen entre la température moyenne et celle minimale est de l'ordre de 6 à 7 °C selon les scénarios et leur évolution.

La courbe d'évolution des températures minimales montre que celles-ci devraient passer de 9,3 °C en 2020 à 12,7 °C en 2080 pour le scénario A2 et de 9,5 à 11,2 °C pour le scénario le plus optimiste.

La comparaison de l'évolution de la température minimale au cours du 20<sup>ème</sup> siècle par rapport au scénario d'évolution future de celle-ci dans le cadre du modèle HADCM3, montre qu'entre 2020 et 2080, la température minimale devrait augmenter de 1,7 °C au minimum, contre une augmentation de l'ordre de 0,8 °C au cours du 20<sup>ème</sup> siècle.

La comparaison de l'évolution de la température minimale du BV de la Moulouya par rapport à celle de l'ensemble du pays, montre presque la même tendance, soit un gradient de 4 °C pour le scénario A2 et de 2,7 °C pour le scénario B2.

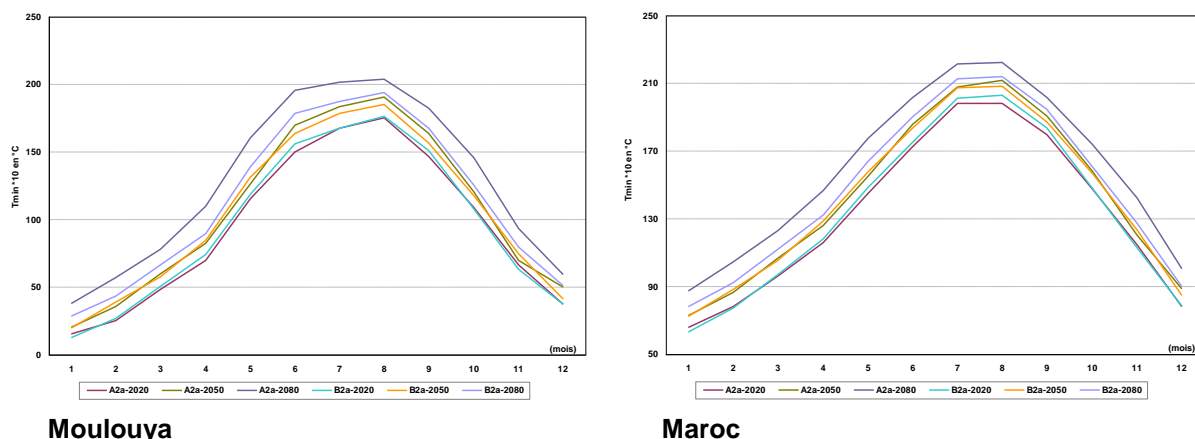


**Figure 85 : Evolution de la température minimale du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2**

Source : Données HADCM3 + nos traitements

### 1.2.2. Température saisonnière

La tendance des températures minimales saisonnières entre 2020 et 2080, montre que pour toutes les saisons la température minimale saisonnière devra enregistrer une augmentation de l'ordre de 1,6 à 4,3 °C selon les scénarios. Le printemps semble être la saison devant être la plus touchée par cette hausse, soit une élévation de 4,3 °C pour le scénario A2 et de 1,9 °C pour le scénario B2. Globalement, les saisons devant être les plus touchées par cette hausse sont le printemps et l'été, les moins touchées étant l'automne et l'hiver.



**Figure 86 : Evolution mensuelle de la température minimale du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 entre 2020 et 2080**

Source : Données HADCM3 + nos traitements

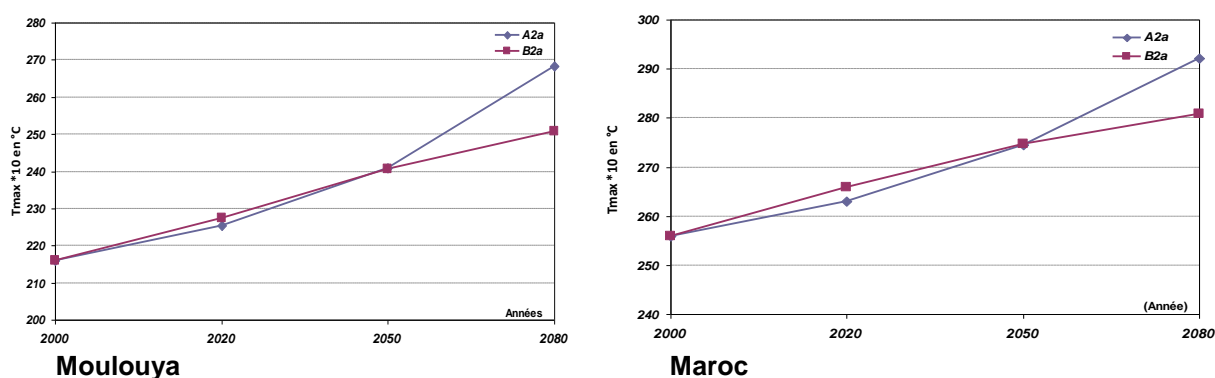
### 1.3. Température maximale

#### 1.3.1. Température annuelle

La température maximale moyenne de l'ensemble du bassin versant devra enregistrer entre 2020 et 2080 une augmentation de l'ordre de 2,3 à 4,3 °C selon les scénarios.

La comparaison entre 2080 et la moyenne de la période 1960-2000 montre que la température maximale annuelle devrait passer de 21,6 °C à respectivement 26,8 et 25 °C pour les scénarios A2 et B2, soit une augmentation moyenne de 4,3 °C en moins d'un siècle.

L'évolution de la température maximale du BV de la Moulouya par rapport à celle de l'ensemble du pays, montre une plus forte tendance à l'augmentation pour le BV, soit un gradient de 3 °C pour le Maroc entre la période 1960-2000 et 2080 contre 4,3 °C pour le bassin versant de la Moulouya.



**Figure 87 : Evolution de la température maximale du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2**

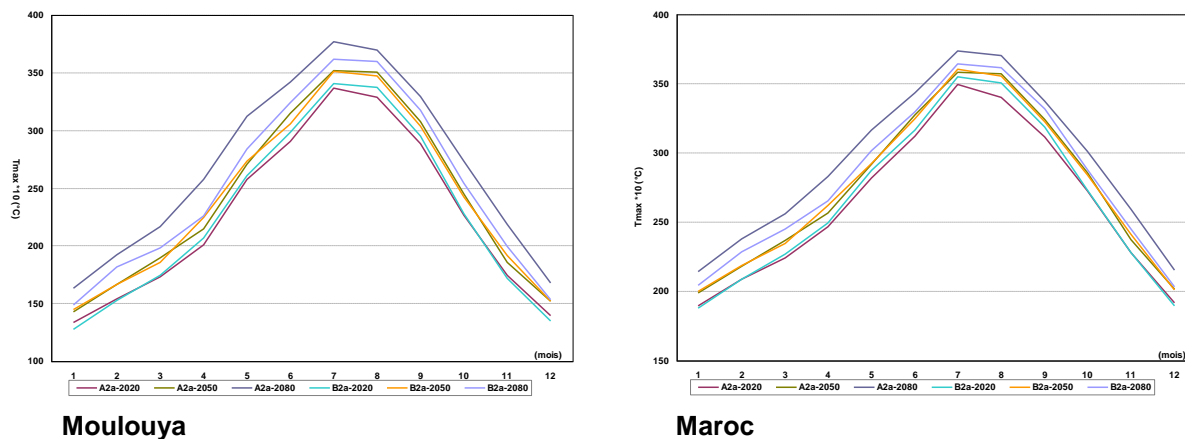
Source : Données HADCM3 + nos traitements

#### 1.3.2. Température saisonnière

Les températures maximales saisonnières devront varier en 2080 entre 14,8 °C à 16,3 °C pour le mois le plus froid (janvier) et entre 36,1 °C à 37,7 °C pour le mois le plus chaud (juillet) en relation avec les deux scénarios B2 et A2.



Comparativement avec la période 1960-2000, ces températures ont varié entre 13 °C en hiver et 32 °C en été ce qui montre une hausse significative des températures saisonnières allant de 2,8 °C à 5,7 °C selon les saisons et les scénarios. Par ailleurs, il est utile de noter que ces températures maximales saisonnières au cours du 20<sup>ème</sup> siècle (1902-2002) dans le bassin versant de la Moulouya n'ont enregistré qu'une faible augmentation de moins de 1 °C.



**Figure 88 : Evolution mensuelle de la température maximale du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 entre 2020 et 2080**

Source : Données HADCM3 + nos traitements

## 2. TENDANCES DES PRECIPITATIONS

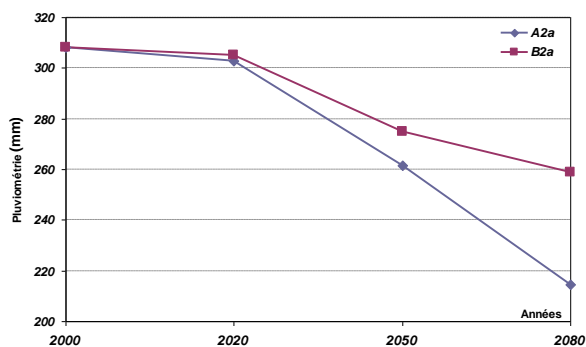
### 2.1. Précipitations annuelles

Les projections climatiques concernant l'évolution des hauteurs moyennes des précipitations au cours du 21<sup>ème</sup> siècle pour le modèle HADCM3, montrent, abstraction faite du scénario étudié, une diminution globale des précipitations au niveau du bassin versant de la Moulouya.

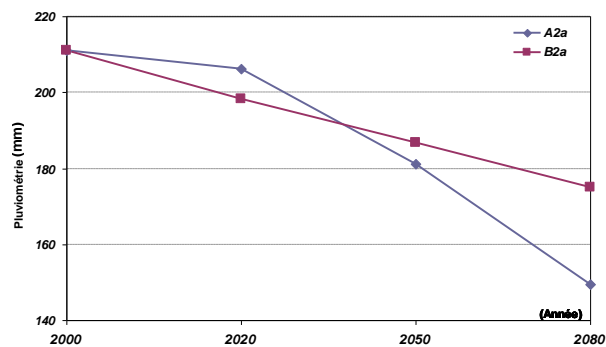
Ainsi, les projections de 2020 à 2080 montrent une réduction progressive et continue des précipitations allant en moyenne de 4 mm pour 2020 à 71 pour 2080 par rapport à la période de référence 1960-2000. Pour le modèle B2, le plus optimiste, ces diminutions doivent passer de 3 mm en 2020 à 49 mm en 2080, contre 5 à 93 mm pour le scénario A2.

En général, les précipitations moyennes doivent passer de 308 mm à moins de 240 mm en presque un siècle, ce qui donne un gradient annuel de diminution de l'ordre de 0,7 mm.

Par rapport à l'ensemble du Maroc, on note que les précipitations moyennes du pays doivent passer de 211 mm comme moyenne de la période 1960-2000 à 162 mm pour 2080 (moyenne des deux scénarios), ce qui indique une diminution de l'ordre de 48 mm, contre 71 mm pour le bassin versant de la Moulouya. Ceci traduit le comportement typique du climat de la zone par rapport à l'ensemble du pays ; cette zone devrait connaître une plus forte tendance à l'aridité que les autres régions du Maroc prises ensemble.



Moulouya



Maroc

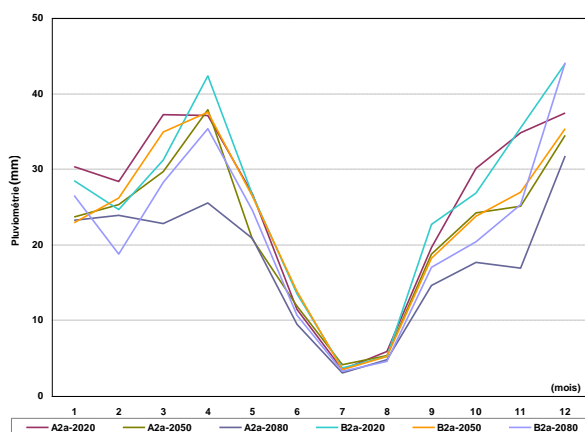
**Figure 89 : Evolution des précipitations annuelles du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2**

Source : Données HADCM3 + nos traitements

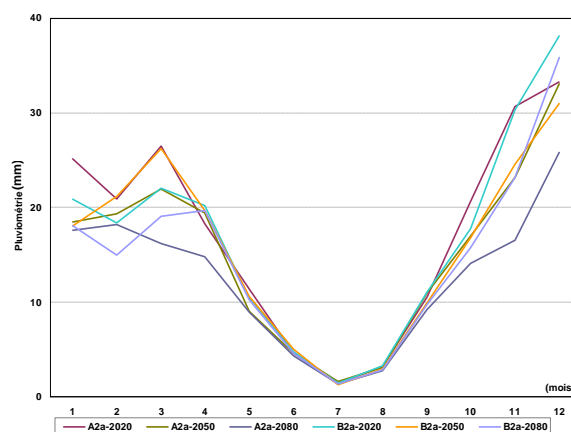
## 2.2. Précipitations mensuelles

Les précipitations saisonnières devraient varier en 2080 entre 3,2 et 3,7 mm pour le mois le plus sec (juillet) et entre 43,9 et 44,1 mm pour le mois le plus humide (décembre) en relation avec les deux scénarios B2 et A2.

L'analyse de la courbe d'évolution des précipitations mensuelles selon les scénarios et par mois montre que la diminution des précipitations va toucher plus significativement les saisons d'automne et de printemps et un peu la saison d'hiver dont les hauteurs des précipitations vont rester stables surtout durant les mois de décembre et janvier. Ceci traduit un bon maintien des précipitations d'hiver, surtout pour le scénario B2, et une forte diminution des précipitations de l'automne et du printemps avec toutes les conséquences que ceci devrait avoir sur les cycles de l'eau et des cultures.



Moulouya



Maroc

**Figure 90 : Evolution mensuelle des précipitations du BV de la Moulouya et du Maroc selon les scénarios A2 et B2 entre 2020 et 2080**

Source : Données HADCM3 + nos traitements

## H. CONCLUSION

L'analyse des maxima périodiques de l'indice NDVI pour les trois sources de données utilisées à savoir GIMMS/AVHRR, SPOT végétation et MEDOKADS pour le bassin versant de la Moulouya et pour l'ensemble du Maroc a permis d'identifier les spécificités de la cinétique de l'indice NDVI pour le bassin versant de la Moulouya. Ainsi, on note que la valeur moyenne du NDVI du bassin est généralement inférieure à celle du Maroc et que le NDVI présente un développement maximal au cours du mois d'avril, contrairement à l'ensemble du Maroc dont le pic de développement se situe au mois de mars. Ceci traduit la dominance de la végétation naturelle au niveau du BV de la Moulouya, contrairement à d'autres régions du Maroc majoritairement dominées par une agriculture pluviale dont la période de développement maximale est située autour du mois de mars.

Par ailleurs, la comparaison des deux séries de données chronologiques GIMMS et MEDOKADS à faible résolution (1 à 8 km), montre que les deux séries conduisent à des évolutions temporelles similaires, malgré une amplitude d'évolution saisonnière plus élevée pour les données MEDOKADS qui peut être expliquée par la normalisation particulière subie par les données GIMMS (Brown et al., 2006).

L'analyse des séries centrées réduites du NDVI, du RUE et le suivi visuel à l'aide des cartes relatives aux anomalies annuelles et saisonnières entre 1981 et 2006 (carte de changements), ne font apparaître aucune tendance particulière à la diminution ou à l'augmentation du couvert végétal et montrent une bonne résilience de la végétation, malgré la différence d'amplitudes du NDVI enregistrée entre les années humides et les années sèches. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce résultat, d'un côté, les parcours méditerranéens et particulièrement ceux de la rive sud sont caractérisés par une forte saisonnalité en relation avec la quantité et la qualité des précipitations reçues et, d'un autre côté, par la nature de la végétation, surtout la strate herbacée des annuelles, très adaptée aux aléas climatiques et disposant d'une bonne résilience à la sécheresse.

L'analyse de la relation entre le NDVI et les précipitations montre que le NDVI est bien corrélé aux précipitations cumulées des 3 à 5 mois précédents avec un temps de latence, relativement court, de l'ordre de 15 jours à un mois. En effet, il paraît que la variation du NDVI est fortement liée à la quantité de pluie reçue le long du cycle de végétation (période de 3 à 5 mois) et que cette qualité est tributaire aussi de la qualité de cette végétation le mois précédent. Ceci peut être expliqué par l'effet de régularité des pluies le long du cycle de croissance de la végétation en plus de leur abondance. Une pluie bien répartie et relativement abondante est toujours meilleure qu'une pluviométrie très abondante mais mal répartie le long du cycle de croissance de la végétation.

Plusieurs auteurs (Gutierrez et Whitford, 1987 ; Donadieu, 1985) ont souligné l'importance de la régularité des pluies et son effet sur la germination et le développement de la végétation. Ainsi, si on considère le pic de développement de la végétation au niveau de la zone qui se situe au mois d'avril, il est intéressant de noter que son développement est influencé essentiellement par la hauteur des précipitations reçues depuis le mois de novembre et que les pluies précoces avant ce mois n'ont pas un effet favorable particulier sur le développement de la végétation au printemps.

L'analyse des anomalies annuelles et saisonnières en comparant les cartes de changement par rapport à la valeur moyenne le long de la période 1986-2006, montre qu'il est impossible de dégager une tendance particulière en comparant une année particulière à une autre à l'aide d'un tableau synthétique par zone ou par différence d'images. En effet, on note que la végétation reprend assez bien en année favorable et qu'il n'y a pas une tendance soutenue à la diminution de la qualité de la biomasse sur plusieurs années consécutives pour l'ensemble du bassin versant. D'une manière générale, les fluctuations du NDVI mises en

évidence par les cartes des anomalies annuelles et saisonnières reflètent principalement les variations spatio-temporelles en quantité et en qualité des précipitations d'une année par rapport à une autre.

Les variations observées au niveau des paramètres climatiques entre 1994 et 2014, surtout la température ambiante, semblent être très faibles avec beaucoup d'incertitudes sur les tendances possibles au cours des prochaines décennies. Les données climatiques étudiées (précipitations et températures) montrent des variations interannuelles aléatoires inhérentes à la nature du climat méditerranéen de la région caractérisée par de fortes amplitudes interannuelles et qui statistiquement n'apparaissent pas suivre une tendance particulière au cours de la période 1994-2014.

Il semble que la période 1994-2014, s'est traduite par une augmentation de la durée de la saison pluvieuse et par une hausse des températures de la saison sèche. Ceci implique un accroissement des températures annuelles sans effet direct sur le cumul pluviométrique annuel (augmentation des températures d'été et allongement de la saison des pluies).

Les projections climatiques pour le bassin versant indiquent, malgré les incertitudes liées aux modèles étudiés, que l'aridité devrait augmenter progressivement au cours du 21<sup>ème</sup> siècle à cause conjointement de la diminution des précipitations et de l'augmentation des températures. En général, on assistera à un réchauffement global de l'ordre de 2 °C à 4 °C et une chute incertaine des précipitations de l'ordre de 71 mm selon les scénarios pour le modèle HadCM3 d'ici à 2080.

Néanmoins, ces tendances futures indiquent de fortes perturbations possibles au niveau saisonnier et annuel surtout pour les précipitations qui devraient se concentrer davantage au niveau de la saison d'hiver. Sachant que les modèles physiques sur lesquels reposent les projections climatiques prédisent mieux les valeurs moyennes qui peuvent fluctuer fortement d'une année à l'autre, il est fort vraisemblable que les événements extrêmes soient plus fréquents et plus intenses à cause des effets combinés de la concentration saisonnière des précipitations et de l'augmentation globale des températures.

Ces tendances, malgré les fortes incertitudes qui les entourent, montrent que l'agriculture en particulier devrait être fortement affectée par les impacts de ces changements climatiques du fait de la raréfaction attendue des ressources en eau disponible (diminution des précipitations et augmentation de la demande en eau). Ceci devrait se traduire, en absence de mesures concrètes d'adaptation, par une dégradation progressive des terres et des écosystèmes naturels qui devrait se manifester à la fois par une diminution de l'étendue spatiale et de la qualité du couvert végétal (parcours et forêt) et par la réduction des rendements des cultures.

Les scénarios d'évolution du climat à l'échelle de la zone étudiée paraissent, surtout pour les précipitations annuelles, s'écarter fortement de la réalité du climat de la zone caractérisée par une relative stabilité des températures et une reprise des pluies au cours de la période 1994-2014.

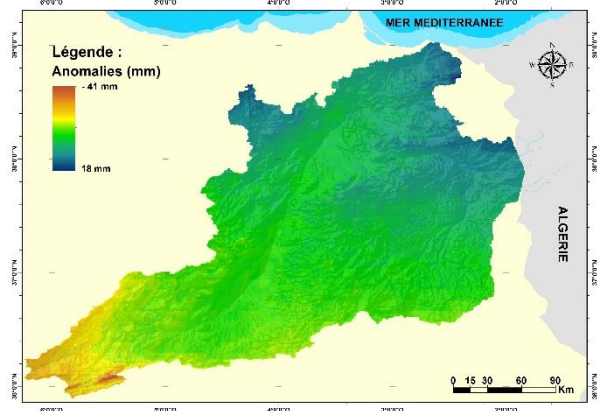
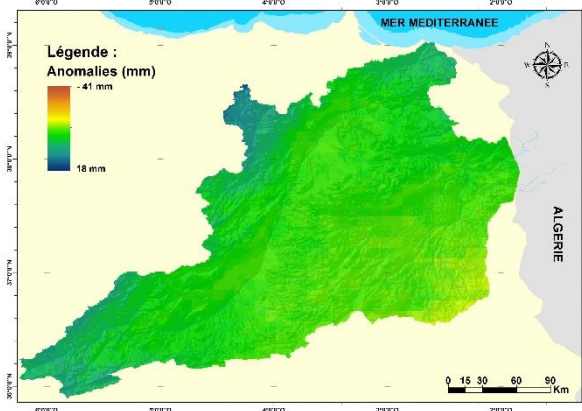
Sur le plan spatial, l'augmentation de l'aridité, en valeur absolue, devrait être plus élevée dans les zones de montagnes et sur les Hauts Plateaux et moins élevée dans les zones côtières et dans la vallée pour lesquelles la diminution des précipitations sera moins prononcée.

## Précipitations :

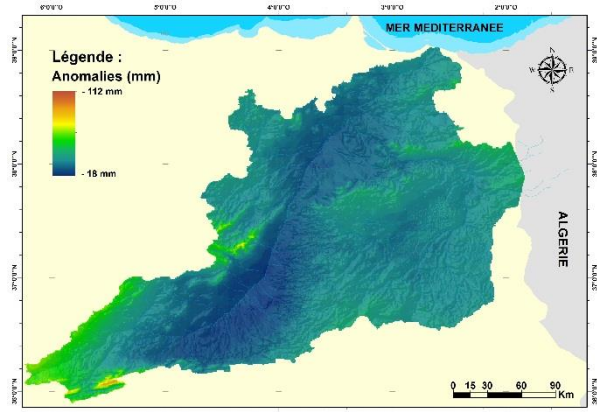
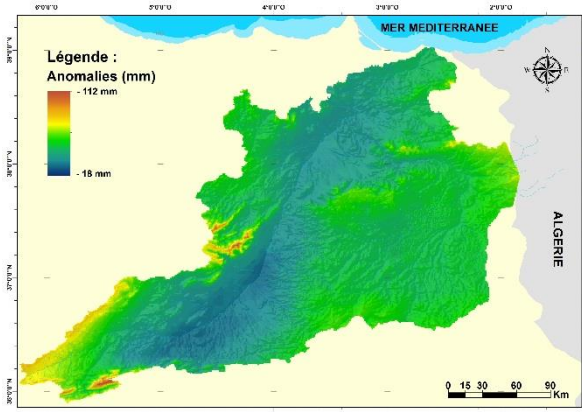
### Scénario A2a

### Scénario B2a

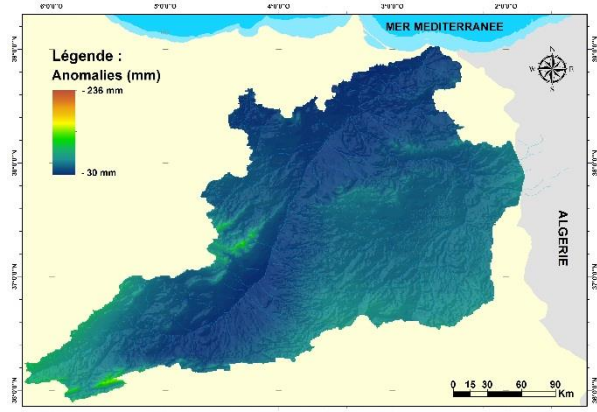
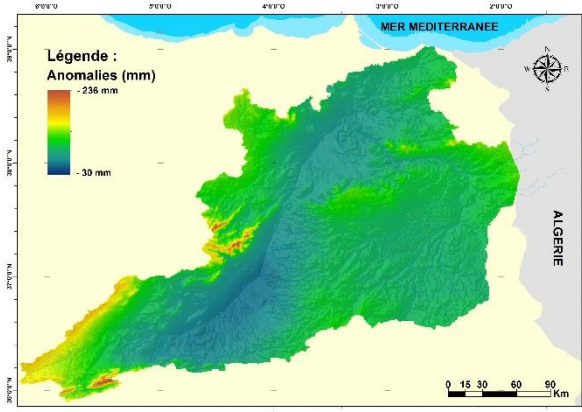
- 2020



2050



- 2080



**Figure 91 : Anomalies des précipitations (scénarios A2 et B2) par rapport à la période 1960-2000**

Source : Données HADCM3 + nos traitements

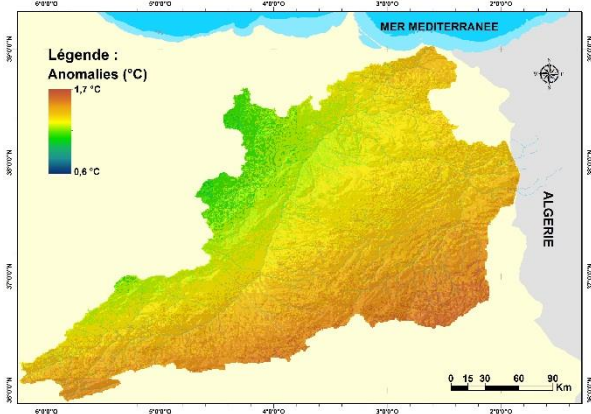
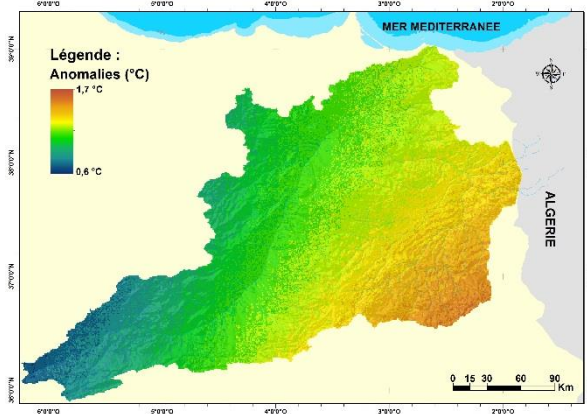


## Températures maximales :

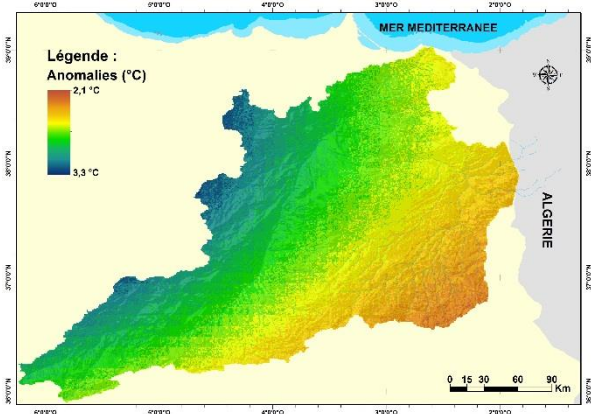
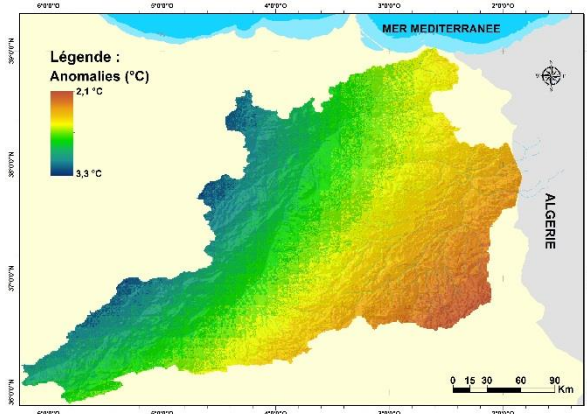
### Scénario A2a

### Scénario B2a

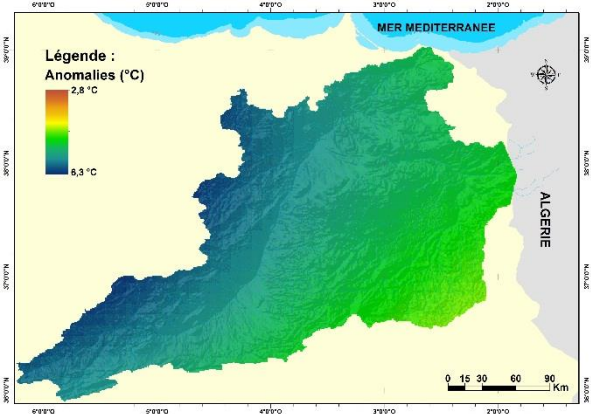
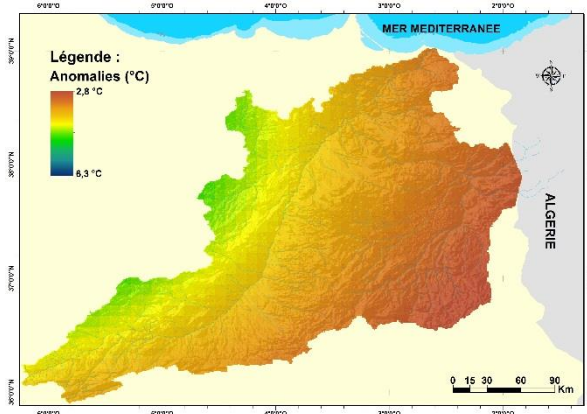
- 2020



- 2050



- 2080



**Figure 92 : Anomalies de la température maximale (scénarios A2 et B2) par rapport à la période 1960-2000**

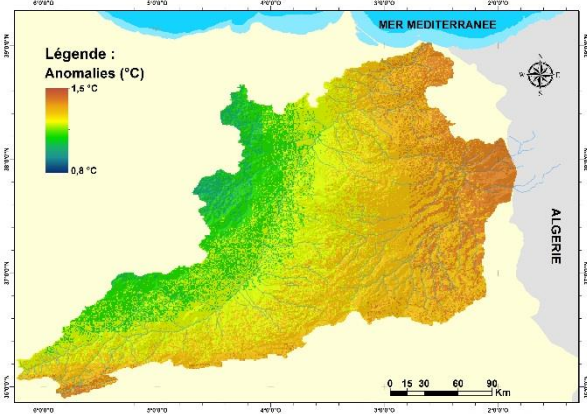
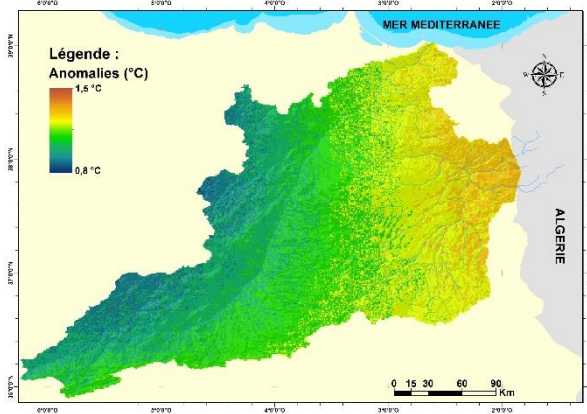
Source : Données HADCM3 + nos traitements

## Températures minimales :

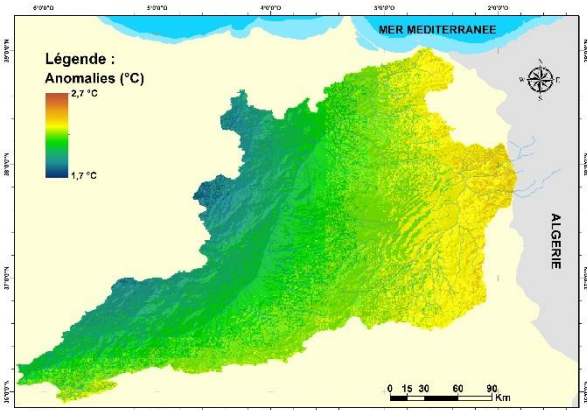
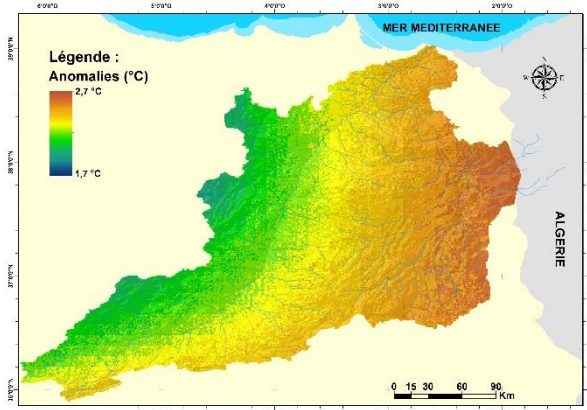
### Scénario A2a

### Scénario B2a

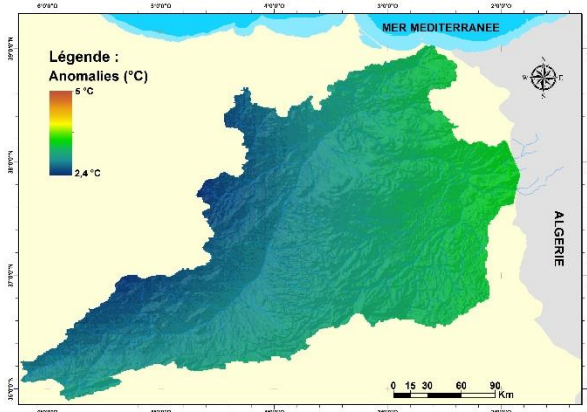
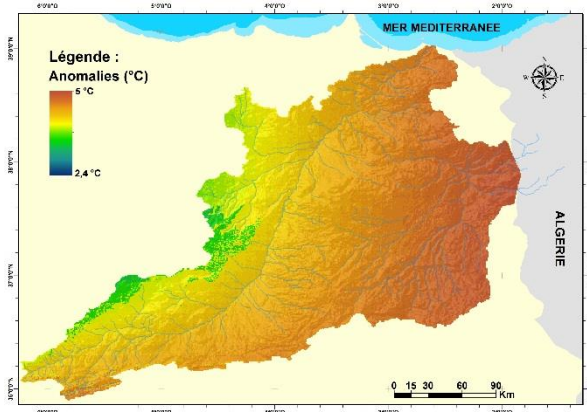
- 2020



- 2050



- 2080



**Figure 93 : Anomalies de la température minimale (scénarios A2 et B2) par rapport à la période 1960-2000**

Source : Données HADCM3 + nos traitements

### A. CHOIX DE LA ZONE D'INTERET

Dans le chapitre précédent relatif à l'étude de la sensibilité du bassin versant de la Moulouya à la désertification moyennant l'utilisation de la méthode MEDALUS, les résultats obtenus montrent que les zones les plus fragiles et sensibles à la désertification sont surtout localisées dans les Hauts Plateaux et la vallée de Missouri et les zones situées sur le tronçon Guercif Taourirt, correspondant à des zones critiques essentiellement à cause de la pression démographique. Par contre, les résultats obtenus moyennant les techniques de télédétection avec des données de basse résolution n'ont pas permis de déceler un changement significatif et continu de la biomasse au niveau de la zone. Le choix de la zone d'intérêt s'est basé uniquement sur les résultats obtenus moyennant l'approche MEDALUS, qui seront affinés par une analyse de la dynamique de la végétation à l'échelle locale.

Par ailleurs, on note à travers les résultats d'occupation du sol obtenus que les zones de parcours constituées des prairies essentiellement d'Alfa et de végétation naturelle forment plus de 65% de la surface totale du bassin de la Moulouya. La forêt et les surfaces occupées par l'agriculture ne dépassent pas les 10%. Dans ce sens, les zones de parcours revêtent un intérêt capital dans la lutte contre la désertification car elles sont situées dans les zones les plus arides où l'activité agricole est exclusivement basée sur l'élevage extensif.

Le choix a porté sur la commune de Tissaf comme région d'intérêt et a été dicté par plusieurs raisons à savoir :

- La vallée de Missouri, dont fait partie la commune de Tissaf, est une zone fragile du point de vue sensibilité à la désertification (résultats de l'approche MEDALUS) ;
- La commune de Tissaf est, du point de vue superficie, la plus grande commune de la région et elle est représentative de l'ensemble de la zone pastorale du bassin versant (65% de la superficie du bassin) ;
- Elle est dominée par la végétation steppique naturelle ;
- Elle présente un gradient d'aridité Est-Ouest particulier permettant un bon suivi de la dynamique spatio-temporelle de la végétation et de sa dégradation (grande variabilité intrinsèque du climat et de la végétation).

La commune de Tissaf, située sur la rive Est du bassin versant de la Moulouya, constitue une zone aride avec des caractéristiques écologiques particulières et une dynamique importante d'occupation des espaces. Ainsi, les formations végétales naturelles sont soumises à de multiples formes de dégradation, dues essentiellement à l'action de l'homme (surexploitation) et à l'effet climatique (périodes de sécheresse). Par ailleurs, la politique de sauvegarde du cheptel national impliquant des subventions aux aliments du bétail s'est traduite par un déséquilibre entre les besoins des animaux et la production des parcours (surcharge). La zone, en plus de ses caractéristiques spécifiques, revêt un intérêt particulier compte tenu de l'étendue des superficies de parcours.

Du point de vue économique, le choix de la commune a été décidé en considérant les éléments suivants :

- La zone dominée par la commune est représentative de l'ensemble de la vallée de Missouri et des Hauts Plateaux caractérisés par une forte pression de l'élevage ovin extensif sur les parcours ;



- L'élevage au niveau de la commune rurale de Tissaf représente l'activité principale de la population (~ 1.000 éleveurs) ;
- L'importance des effectifs de petits ruminants (78.650 têtes pour les ovins et 17.655 têtes pour les caprins).

L'étude de la dynamique de la végétation à l'aide des outils de télédétection à l'échelle de la commune permettront de confirmer davantage le choix de cette zone d'intérêt.

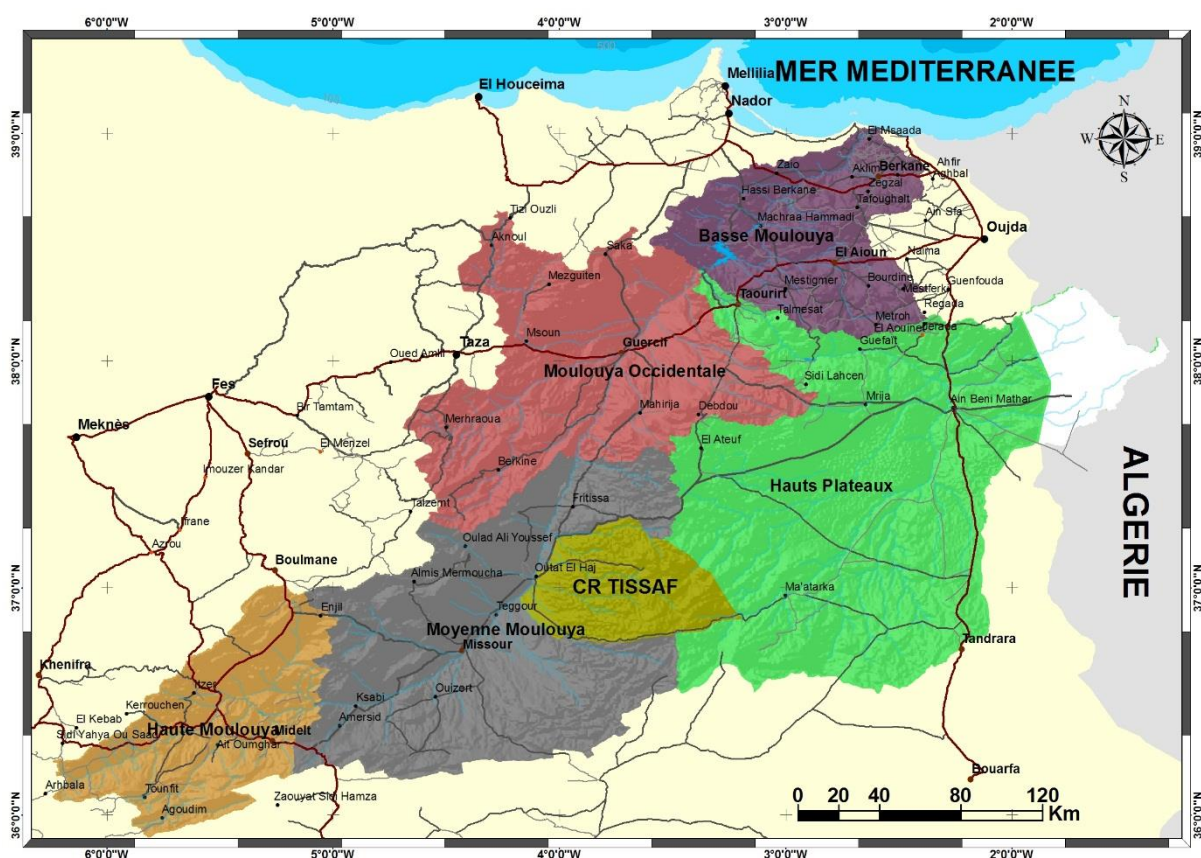
## B. PRESENTATION DE LA COMMUNE DE TISSAF

### 1. MILIEU PHYSIQUE

#### 1.1. Localisation

La commune de Tissaf se trouve au Centre Est du Maroc, elle s'étend entre les parallèles 33°36' à 33°4' et les méridiens 2°52' et 3°46'. Elle se présente sous une forme triangulaire, limitée par la rivière de la Moulouya et la municipalité d'Outat Lhaj vers l'Ouest, la route tertiaire 4962 reliant Outat Lhaj à Ma'atarka au Sud, la région de l'Oriental vers l'Est et la route secondaire S330 reliant Outat Lhaj à Beni Methar au Nord.

Elle s'étend sur une superficie de 291.900 hectares et se trouve au centre du grand bassin versant de la Moulouya dans la zone intermédiaire entre la moyenne Moulouya et les Hauts Plateaux (figure 94).



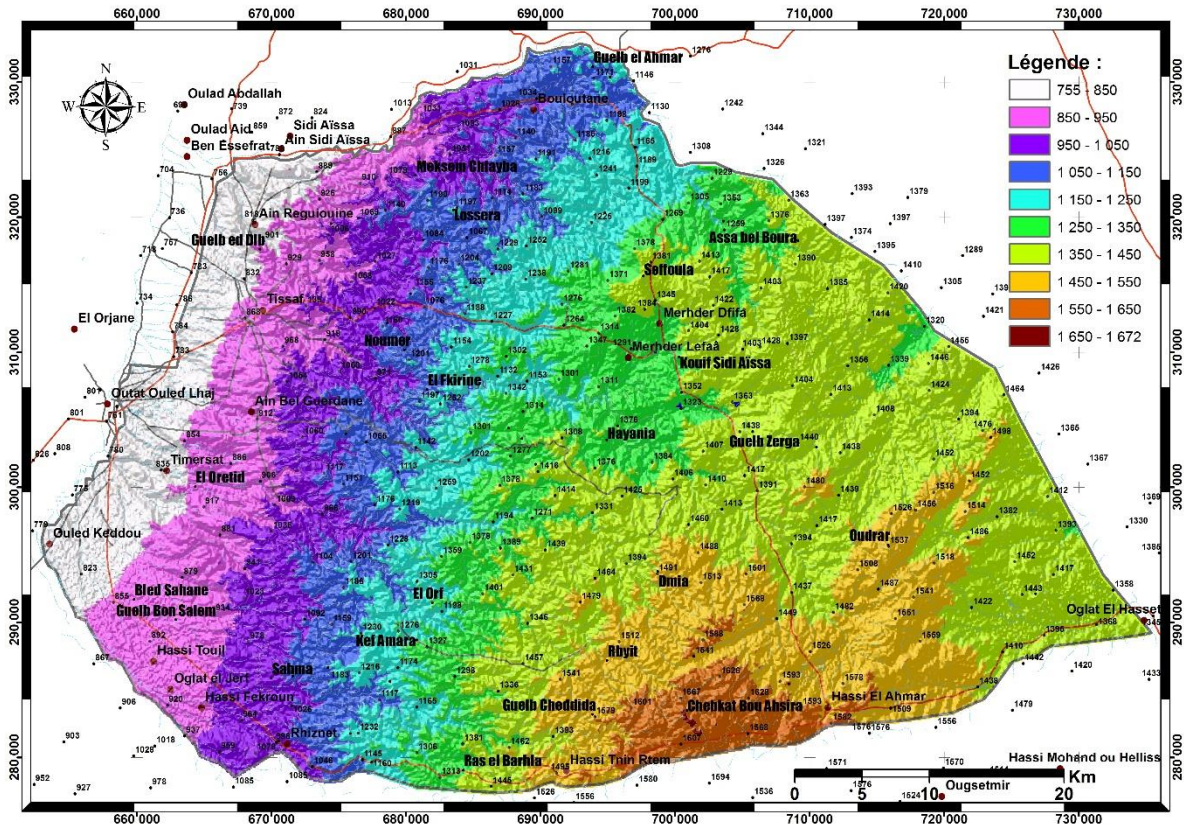
**Figure 94 : Carte de localisation de la commune rurale de Tissaf dans le BV de la Moulouya**

Source : Découpage régional, 1997

Sur le plan administratif la commune rurale de Tissaf est attachée au cercle d'Outat Lhaj de la province de Boulmane et constitue la commune la plus méridionale et la plus vaste de la province.

## 1.2. Topographie

La CR de Tissaf se présente sous forme d'un terrain en pente presque régulière dirigée de l'Est vers l'Ouest avec un gradient d'altitude de l'ordre de 6,5 m par kilomètre en allant vers l'Est. Néanmoins, cette augmentation des altitudes est plus prononcée au Sud compte tenu de l'effet de proximité avec le Haut Atlas oriental. En général, au niveau de la commune les altitudes varient de 755 à 1.672 m et l'altitude moyenne est de 1.220 m (figure 95).



**Figure 95 : Carte hypsométrique de la commune rurale de Tissaf**

Source : STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008 + nos traitements

Concernant les pentes au niveau de la CR de Tissaf, elles dépassent rarement les 10% compte tenu de la forme collinaire de la région en dorsale Nord-Sud. Néanmoins, les grandes rivières traversant ces collines pour déboucher vers la Moulouya peuvent former des cuvettes et petits canyons de plus au moins forte pente.

## 2. CLIMAT

### 2.1. Les températures

Les températures moyennes annuelles varient de 4 °C sur les montagnes du Haut Atlas à l'Est à 18 °C au niveau de la vallée de Missouri de Ouizert jusqu'à Fritissa au Nord. La température maximale moyenne pour le mois de juillet pour la période 1950-2000 montre que celle-ci varie de 26 à 36 °C dans les zones sud affectées par les courants chauds. Tandis que la température minimale moyenne (janvier) peut descendre jusqu'à -9 °C sur les



crêtes montagneuses de l'Ouest et ne dépasse pas 5 °C au nord de la vallée moins affectée par la continentalité.

En été, les températures augmentent plus au sud qu'au nord de la commune du fait de l'effet des vents chauds désertiques mais le gradient entre le sud et le nord ne dépasse pas 1 °C (31 à 32 °C au mois de juillet).

## 2.2. La pluviométrie

La pluviométrie présente une grande variabilité spatio-temporelle. La couche d'information relative à la moyenne des précipitations annuelles sur la période 1950-2000 pour la province de Boulmane montre que les régions les plus arrosées sont situées sur le bassin versant de Sebou soumis aux influences humides océaniques, contrairement à la partie située dans le bassin de la Moulouya particulièrement isolée au fur et à mesure qu'on se dirige vers le Nord (dorsale atlasique et diminution des altitudes).

En général, la moyenne des précipitations varie de 460 à Boulmane à 110 mm au niveau de la station d'Outat Lhaj, soit une diminution de 76% de précipitations sur une distance de l'ordre de 100 km.

Si on compare Missour à Outat Lhaj, la diminution des précipitations moyennes est de l'ordre de 50 mm, soit un gradient de 30% sur une distance de 42 km à vol d'oiseau ce qui donne plus de 1 mm de diminution par km ou 0,5 mm par mètre d'altitude (altitude à Missour 880 m et 780 m à Outat Lhaj).

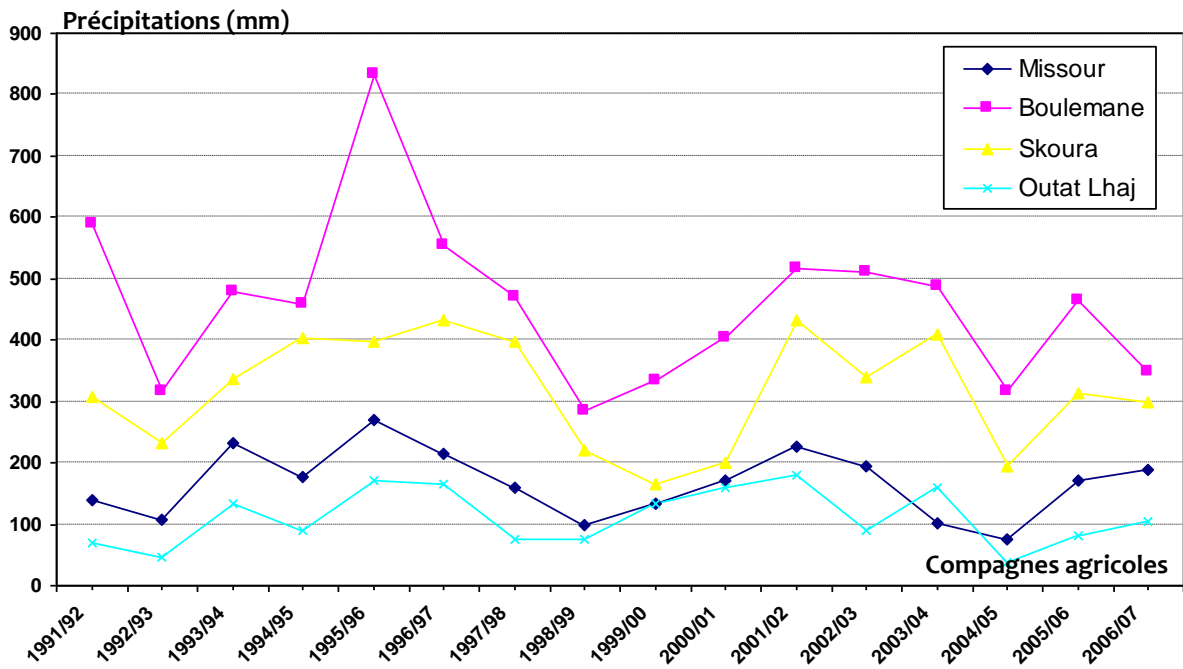
**Tableau 40 : Précipitations moyennes sur les quatre stations dans la région**

Stations	Boulmane	Skoura	Missour	Outat Lhaj
<b>Moyenne</b>	460,83	318,22	166,64	111,23
<b>Min</b>	285,60	165,50	76,80	37,50
<b>Max</b>	832,80	434,00	269,30	179,50
<b>ET</b>	135,41	91,24	54,62	46,54
<b>CV (%)</b>	29,38	28,67	32,78	41,84

Source : DPA Boulmane

Les corrélations entre les moyennes des précipitations annuelles pour les quatre stations météorologiques montrent une faible relation entre les précipitations reçues au fur à mesure que l'on se dirige vers le nord. Ainsi la corrélation entre la station de Boulmane et celle d'Outat Lhaj ne dépasse pas 0,5. Ceci montre que la Moyenne Moulouya est plus influencée par les courants humides de Nord-Ouest méditerranéens que par l'effet océanique, contrairement à la vallée Boulmane-Skoura, à l'ouest de l'Oued El Atchane, mieux exposée aux influences atlantiques.

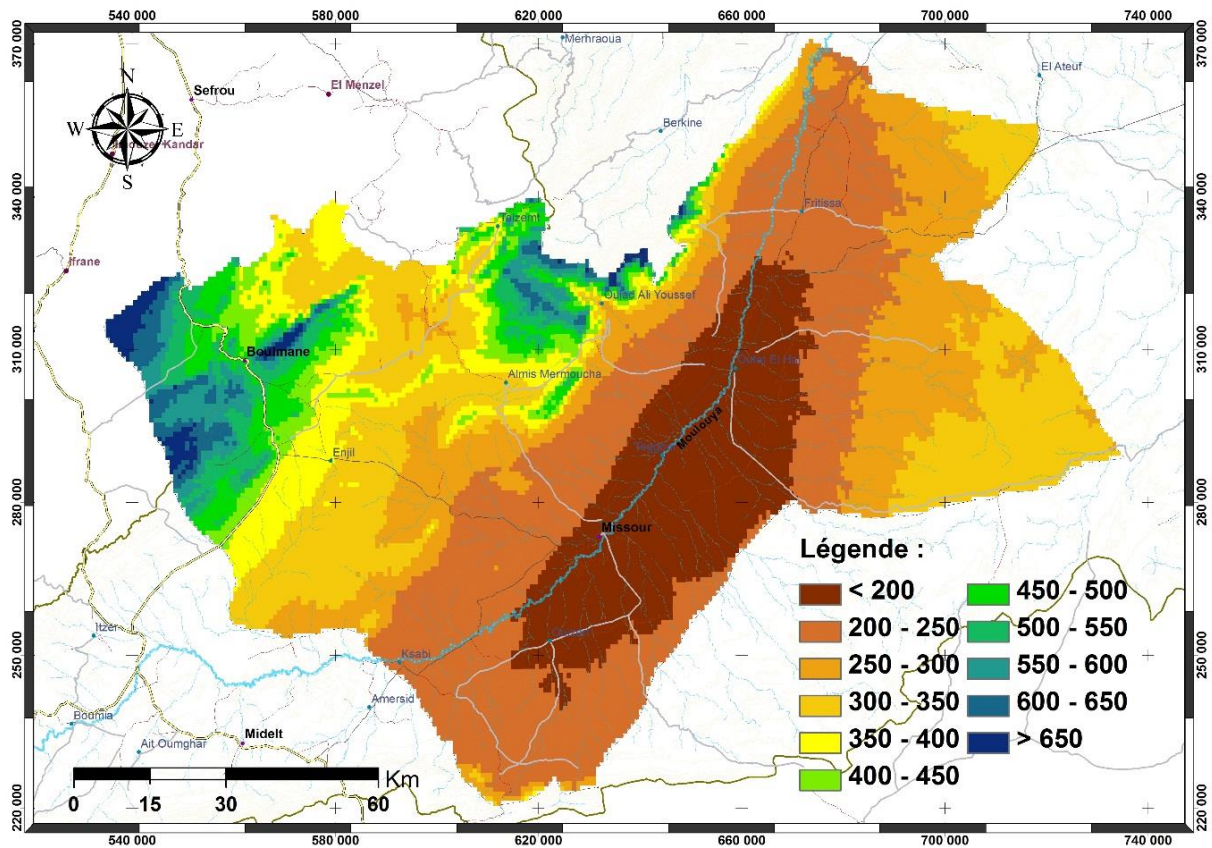
A l'échelle interannuelle, la pluviométrie est également très variable. Les précipitations de l'année pluvieuse peuvent atteindre presque 3 fois celles de l'année sèche.



**Figure 96 : Evolution des précipitations des quatre stations de Boulmane**  
 Source : DPA de Boulmane

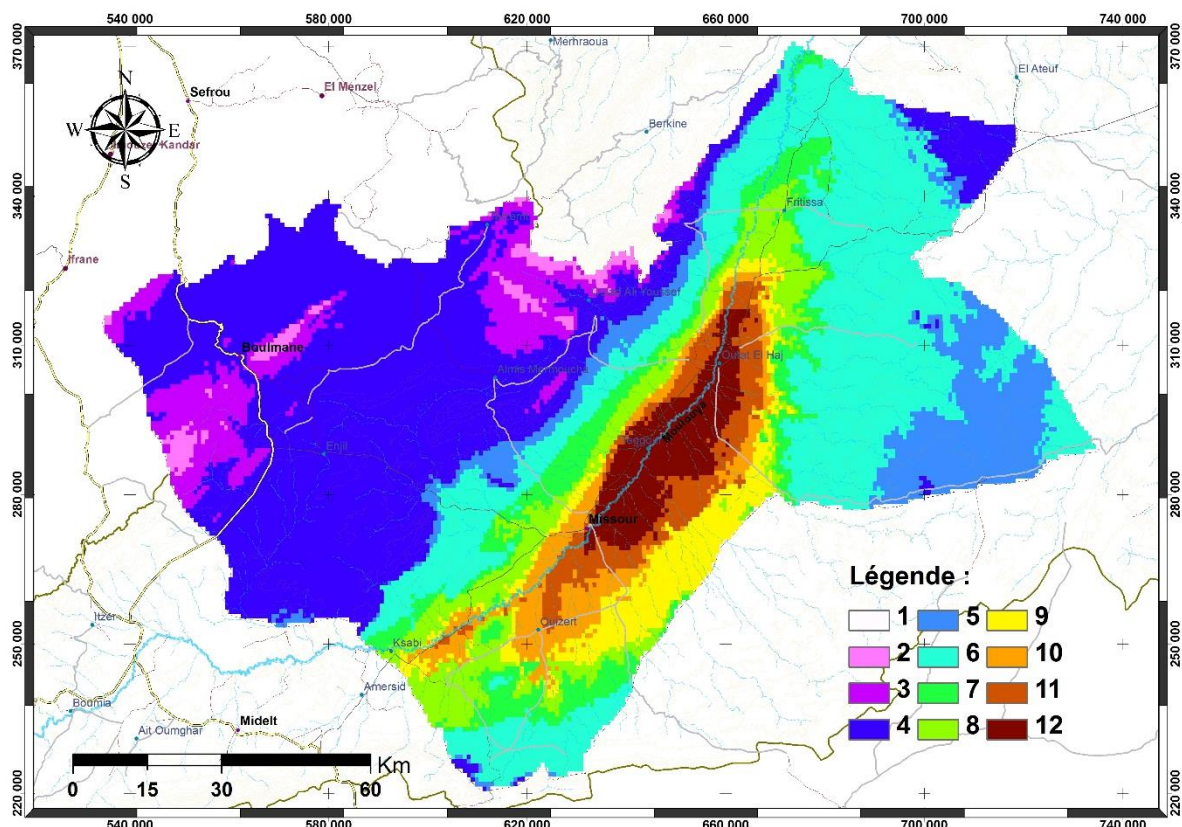
### 2.3. L'aridité

La carte ci-contre issue de traitement des données WorldClim (1950-2000) montre que la vallée de Missouri, de Ouizert à Outat Lhaj, est la zone la plus sèche de tout le BV de la Moulouya avec des précipitations ne dépassant pas les 200 mm, alors que les zones les plus arrosées sont situées en montagne avec un gradient très significatif parallèle à la dorsale montagneuse de l'Atlas dirigée Nord-Est - Sud-Ouest.



**Figure 97 : Carte de répartition des précipitations moyennes de la DPA de Boulmane**  
 Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005

L'analyse du nombre de mois secs ( $P < 2T$ ) permet de répartir la zone en différentes classes en fonction de la valeur des précipitations mensuelles par rapport à la valeur moyenne des températures. Ainsi au niveau de la vallée de Missouri on distingue nettement que le nombre de mois secs est pratiquement de 12, alors qu'en montagne le nombre de mois secs est inférieur à 3.



**Figure 98 : Carte du nombre de mois secs de la zone d'action DPA de Boulmane**  
 Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos traitements

## 2.4. Etages bioclimatiques

Concernant les bioclimats, la zone d'action de la DPA de Boulmane se situe en zone aride frais pour 40% des superficies et est localisée, sous forme de bande de 30 à 60 km au niveau de la vallée de Missouri de Ksabi jusqu'à Fritissa. Le semi-aride frais a une superficie totale de 579.792 ha et est localisé en zone de pente autour de la vallée, soit près de 39% des superficies. Le reste étant essentiellement du subhumide en zone de montagne.

Les deux tiers de la CR de Tissaf sont du semi-aride froid, le reste, soit presque le tiers, est de l'aride frais.

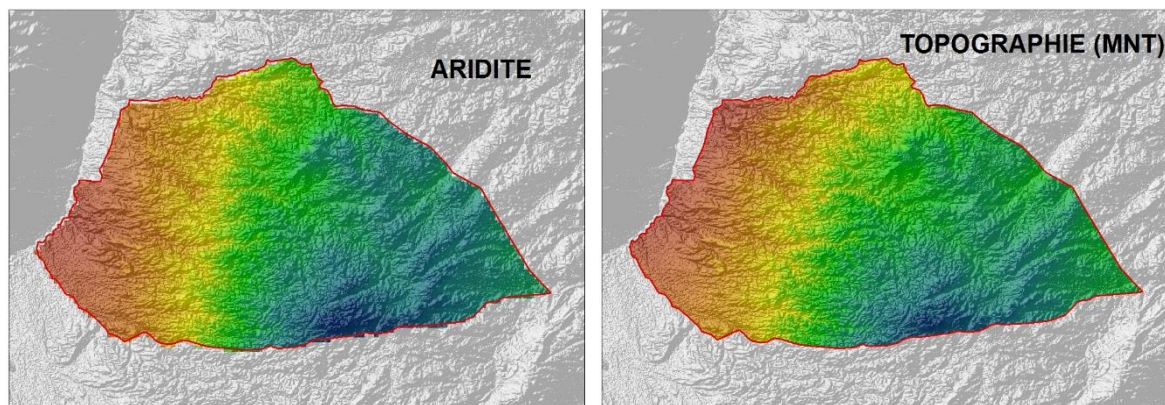
**Tableau 41 : Importance des zones bioclimatiques au niveau de la zone d'action de la DPA de Boulmane.**

Zone bioclimatique	Boulmane		Tissaf	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Aride froid	10.299,10	0,71	0,00	0,00
Aride frais	579.792,51	39,90	94.728,07	32,45
Aride tempéré	2.223,67	0,15	0,00	0,00
Semi-aride très froid	24.226,29	1,67	0,00	0,00
Semi-aride froid	562.120,19	38,68	194.392,32	66,59
Semi-aride frais	53.016,96	3,65	2.820,85	0,97
Subhumide froid	191.118,52	13,15	0,00	0,00
Subhumide frais	30.429,16	2,09	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>1.453.226,40</b>	<b>100</b>	<b>291.941,41</b>	<b>100</b>

Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos calculs



Pour la commune de Tissaf la corrélation linéaire entre l'indice d'aridité (P/ETP) et l'altitude est de 0,97, ce qui implique que les zones les plus proches de la rivière de la Moulouya ou à faible altitude sont toujours celles les plus arides.



**Figure 99 : Comparaison entre l'aridité et la topographie**

Source : AI (CGIAR-CSI), 2008 et STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008 + nos traitements

### 3. RESSOURCES

#### 3.1. Végétation naturelle

Selon les données issues de l'étude ERES (1972), la végétation naturelle de la moyenne Moulouya et des Hauts Plateaux est particulièrement dominée par l'Alfa (*Stipa tenacissima*). Cette espèce est localisée sur les plateaux, les collines et glacis ou sur les massifs montagneux. Elle est caractérisée par une plus forte vigueur en hautes altitudes et par une dégradation plus prononcée dans les basses altitudes vers la vallée.

D'une manière générale, on peut y distinguer quatre principaux faciès :

- Faciès d'*Artemisia herba alba* (armoise blanche) avec un recouvrement du sol de 4 à 20% au niveau des vallées et des dépressions ou interfluvés. Ce faciès se caractérise par sa bonne productivité fourragère (~ 100 UF/ha) et par sa faible saisonnalité (production bien étalée sur l'année). C'est ce faciès qui a subi la plus grande dégradation au cours des 30 dernières années.
- Faciès à *Noaea mucronata*, *Stipa parviflora* et *Helianthemum* sp. sur les basses et moyennes altitudes, notamment sur les sols limono-sableux à caillouteux, sous la nappe d'Alfa et en clairière avec un recouvrement de 2 à 12% et une productivité fourragère de l'ordre de 75 UF/ha.
- Faciès à chénopodiacées étalé entre les dépressions, regs et rebords de plateaux, il se caractérise par une productivité moyenne de l'ordre de 80 UF/ha et un recouvrement de l'ordre de 3 à 60% selon le type d'associations végétales dominantes.
- Faciès à d'Alfa étalé sur les altitudes supérieures à 1.000 m et localisé sur les formations dolomitiques et calcaires avec un gradient de bonne vigueur et de densité en remontant les altitudes vers l'Est. Toutefois, selon les zones, la flore interstitielle varie avec la pente de 7 à 0%. La productivité fourragère est faible à moyenne et varie de 0 à 150 UF/ha au maximum.



Par ailleurs, il est remarquable de signaler l'importance relative des mises en culture des terres aux abords de l'oued Moulouya, situé à l'intérieur de la commune et dans les dépressions (culture en sec et en épandage dans les terrasses des oueds), en plus des PMH cités plus haut. Du point de vue superficie la répartition des faciès est la suivante :

**Tableau 42 : Répartition des faciès dans la Commune rurale de Tissaf**

Faciès	Superficie (ha)	%
Faciès à <i>Artemisia herba alba</i> (armoise blanche)	7.021	2,40
Faciès à <i>Noaea mucronata</i> , <i>Stipa parviflora</i> et <i>Helianthemum</i> sp.	20.750	7,11
Faciès à chénopodiacées	41.704	14,29
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> (Alfa)	218.941	74,99
Cultures	2.117	0,73
Lits de rivières	1.408	0,48
<b>Total</b>	<b>291.941</b>	<b>100</b>

Source : ERES, 1972 + nos calculs

Ce tableau montre l'importance de l'Alfa au niveau de la zone. En effet, celle-ci représente les trois-quarts de la superficie totale de la commune, soit 218.941 ha, le reste étant essentiellement un mélange des faciès à chénopodiacées et à *Noaea mucronata* avec 21% de superficie (voir détail en annexe 5).

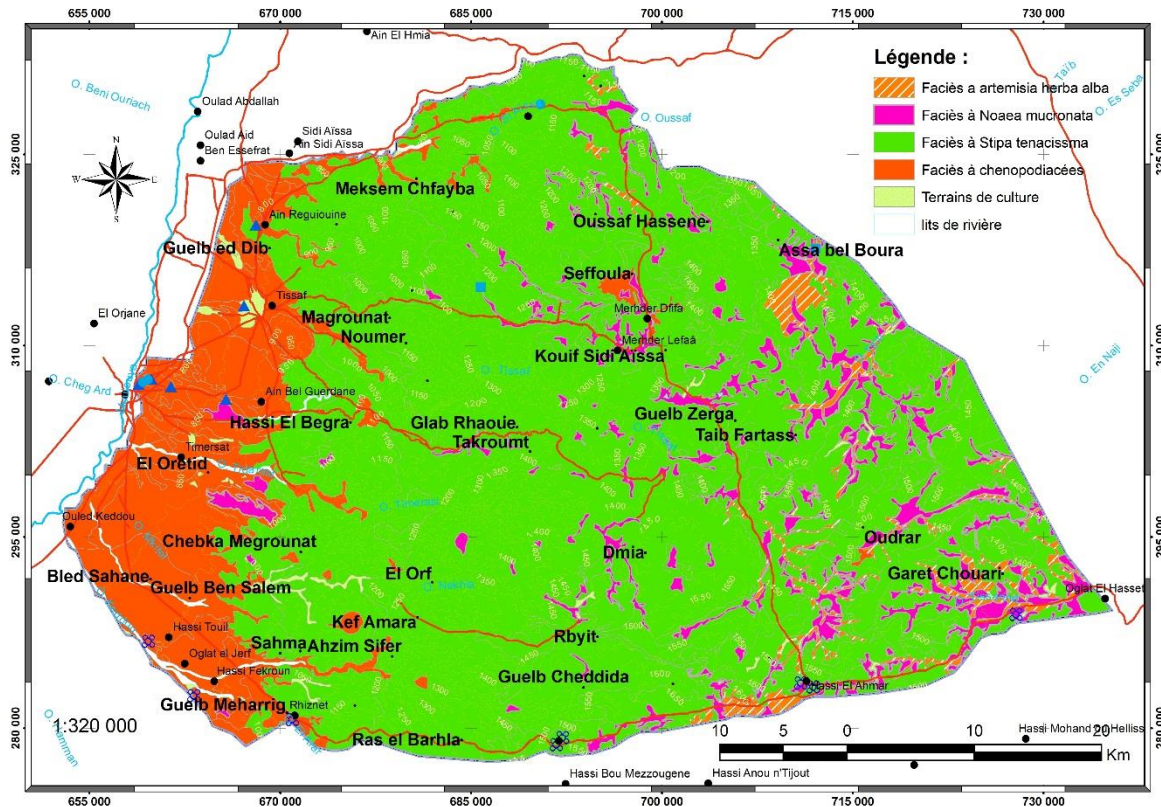
La carte des faciès de la commune de Tissaf 1/100.000 a été extraite à partir de l'étude ERES de 1972 (ERES, 1972). Elle est basée sur la couverture aérienne au 1/40.000 de la zone steppique du Maroc oriental. En effet, trois cartes de l'étude ERES touchant la commune de Tissaf ont été scannées, géo-référencées, mosaïquées plus digitalisées.

Ainsi, du point de vue fourrager, les parcours de Tissaf ont des apports oscillant entre 0 et 200 UF/ha selon le type de faciès et la qualité fourragère de la flore. En moyenne, et sur la base de l'étude ERES (ERES, 1972) et des calculs effectués sur les cartes obtenues par digitalisation, la valeur fourragère moyenne de la zone est de 13.407.528,53 UF, soit un rendement moyen à l'hectare de l'ordre de 45,92 UF/ha. La plus grande partie de ces apports est issue du faciès de l'Alfa avec plus de 56% des apports (74% de la superficie) ; le reste est essentiellement assuré par le faciès à chénopodiacées et à *Noaea mucronata*.

**Tableau 43 : Rendement fourrager des faciès de la CR de Tissaf**

Faciès	Rendement (UF)	%
Faciès à <i>Artemisia herba alba</i> (armoise blanche)	843.281,69	6,29
Faciès à <i>Noaea mucronata</i> , <i>Stipa parviflora</i> et <i>Helianthemum</i> sp.	1.560.771,93	11,64
Faciès à chénopodiacées	3.416.068,77	25,48
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> (Alfa)	7.587.406,14	56,59
<b>Total</b>	<b>13.407.528,53</b>	<b>100</b>

Source : ERES, 1972 + nos calculs



**Figure 100 : Carte des quatre grands faciès de la CR de Tissaf**

Source : ERES, 1972 + nos traitements

### 3.2. Production animale et évolution du cheptel

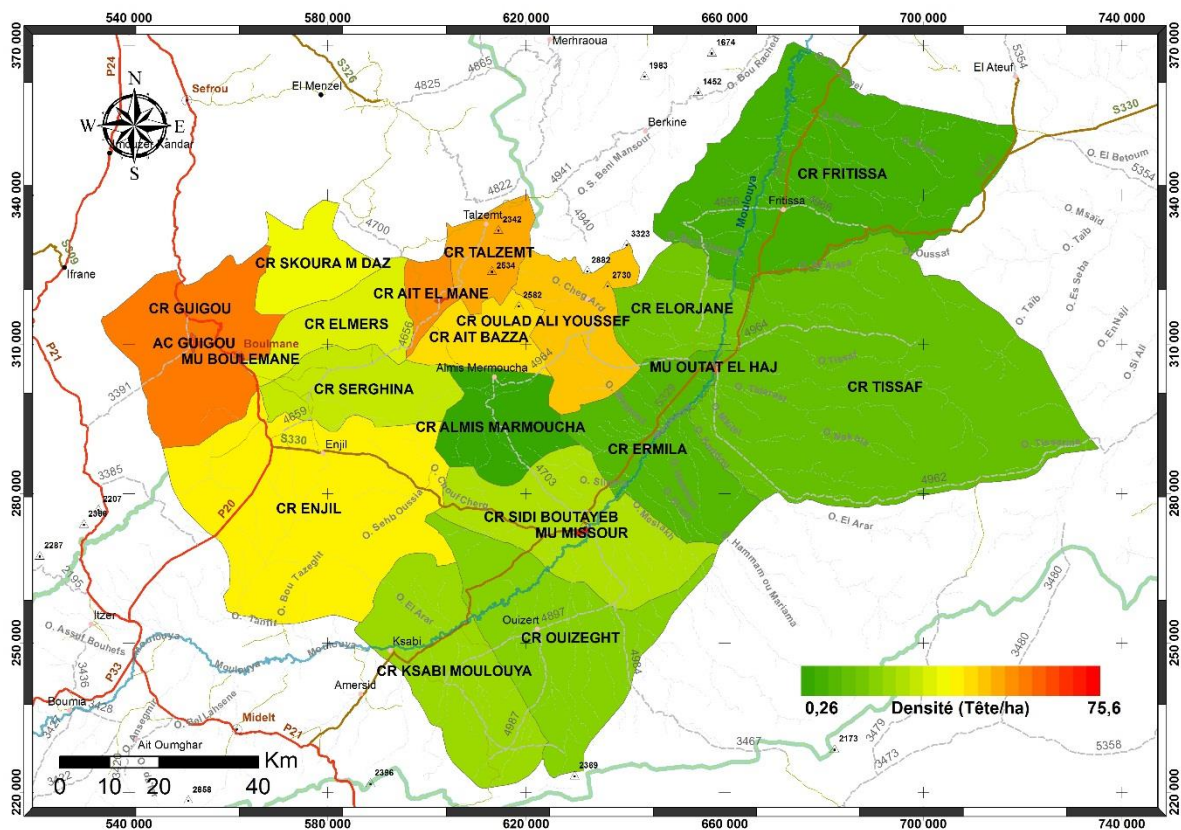
L'élevage dans la zone est très extensif et dépendant essentiellement des apports steppiques pour son alimentation. A cause de cette forte dépendance des ressources alimentaires libres d'accès, cet élevage a été très vulnérable aux périodes de sécheresse qui ont frappé la région durant les dernières décennies.

L'achat des aliments pour la supplémentation en période de soudure constitue une cause importante de la réduction du cheptel, notamment durant les périodes de sécheresse. Les éleveurs ont tendance à céder une partie de leurs troupeaux pour acquérir l'aliment pour bétail. Les prix de ces aliments sont plus élevés par rapport aux autres régions à cause des coûts de transport à partir des zones d'approvisionnement.

Concernant les effectifs et selon les chiffres du recensement général de l'Agriculture de 1996, les effectifs des animaux au niveau de la province par commune (tableau 44) montrent que les communes présentant les plus importants effectifs sont Guigou, Tissaf, Enjil et Fritissa présentant un effectif ovin supérieur à 40.000 têtes. L'effectif des caprins est de l'ordre de 411.198 têtes pour l'ensemble de la province, il est surtout concentré entre la zone de Ksabi à Fritissa autour de la vallée de la Moulouya et dans la commune rurale de Skoura.

Ces chiffres sont globalement moins élevés que ceux de la DPA pour la campagne 2007-2008, ce qui montre que les effectifs ont augmenté au niveau de la zone entre 1996 et 2007. Ceci peut être dû au fait que le recensement agricole de 1996 a été réalisé juste après les années de sécheresse successives de 1991 à 1994, ce qui a causé une diminution importante des effectifs pendant cette période.

Par ailleurs, la carte de la densité des petits ruminants (ovins et caprins) éditée sur la base des données fournies par la DPA au titre de la campagne 2007-2008 (voir annexe 6), montre que les communes situées en zone de montagne (versant occidental) présentent une densité plus élevée que celles sur le bassin de la Moulouya. Ceci peut être expliqué par l'effet du climat sur la répartition du cheptel (qualité des parcours). On peut bien déceler ceci en comparant cette carte à celles de l'aridité et des précipitations présentées plus haut (plus l'aridité augmente moins il y a d'animaux). Par ailleurs, on note que les plus fortes densités sont localisées en périmètre urbain (MU de Boulmane, Missouri, Immouzer Mermoucha) supérieures à 10 têtes/ha, ce qui peut s'expliquer par le fait que des éleveurs se sont sédentarisés autour des périmètres urbains (à proximité du marché et des infrastructures de base) avec des effectifs ovins et caprins non négligeables par rapport aux superficies des Municipalités d'accueil (en situation d'exode intermédiaire).



**Figure 101 : Carte de densité du cheptel ovin par CR de la province de Boulmane**  
 Source : RGA, 1996 + nos traitements

**Tableau 44 : Effectif du cheptel par commune de la province de Boulmane**

COMMUNE	Bovins	Ovins	Caprins	Camelins
MU MISSOUR	5	497	103	-
MU OUTAT LHAJ	11	1.090	357	8
CR AIT EL MANE	60	5.793	3.056	-
MU BOULMANE	57	7.273	3.434	-
CR ELORJANE	562	7.668	2.345	4
CR ERMILA	180	8.523	2.538	108
CR ALMIS MARMOUCHA	82	8.810	1.998	-
CR SKOURA M'DAZ	453	9.102	10.719	-
CR AIT BAZZA	104	12.164	5.605	10
CR TALZEMT	184	13.624	3.558	-
CR OUIZEGHT	166	14.739	9.954	52
CR ELMERS	267	16.028	8.712	-
CR SERGHINA	500	17.507	3.181	-
CR SIDI BOUTAYEB	270	18.640	6.533	118
CR KSABI MOULOUYA	507	18.902	9.995	60
CR OULAD ALI YOUSSEF	196	33.295	17.262	45
CR FRITISSA	1.713	41.033	19.482	-
CR ENJIL	445	46.254	8.735	2
<b>CR TISSAF</b>	<b>677</b>	<b>57.474</b>	<b>14.918</b>	<b>288</b>
CR GUIGOU	725	72.782	7.312	-
<b>TOTAL</b>	<b>7.164</b>	<b>411.198</b>	<b>139.797</b>	<b>695</b>

Source : RGA, 1996

## 4. INFRASTRUCTURES

### 4.1. Infrastructure d'élevage

Comme pour toutes les zones pastorales, à dominance d'élevage extensif (en particulier les steppes d'Alfa), le calendrier alimentaire des animaux dans la région repose sur l'utilisation exclusive des parcours. Cette ressource est utilisée durant toute l'année à l'exception des mois de froid (décembre et janvier) durant lesquels les éleveurs sont obligés d'acheter des aliments du bétail pour maintenir la ration minimale du cheptel.

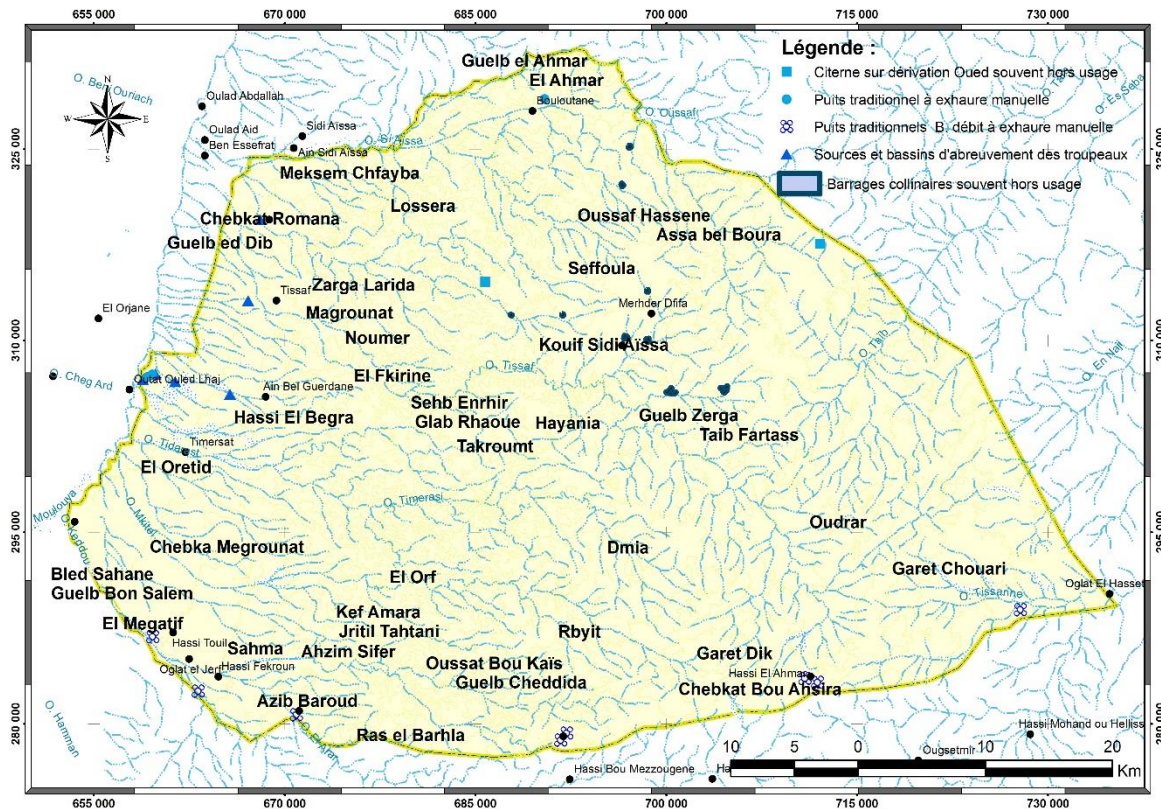
Les performances de reproduction sont en dessous des potentialités en raison de la non maîtrise du cycle de production des animaux, de l'utilisation de reproducteurs issus du même cheptel (problème de consanguinité) et de la non préparation des femelles à la lutte, à la gestation et à la lactation.

Les troupeaux bénéficient rarement des interventions prophylactiques et sanitaires. Les maladies parasitaires chroniques provoquent parfois des pertes considérables sur le gain de poids des animaux et sur les performances de reproduction (avortements) et les mortalités des nouveaux nés.

Le problème du manque d'eau et aussi sa qualité, avec la sédentarisation de la plupart des éleveurs qui se sont installés le long des sentiers routiers à l'intérieur de la steppe, se pose avec acuité. En effet, malgré l'existence de quelques puits au niveau de la zone (localisés aux abords des zones sud, est et nord), une partie des éleveurs sont obligés de s'alimenter en eau par citerne tractée ou transportée par camion puis déversée dans des bassins de stockage. Ces eaux, non traitées, sont dans la plupart des cas issues soit des puits les plus



proches ou des eaux stockées dans les quelques petits barrages collinaires de la zone et sont de ce fait des grands vecteurs de maladies du cheptel.



**Figure 102 : Carte des points d'eau des parcours de la CR de Tissaf**  
Source : ERES, 1972 + nos traitements

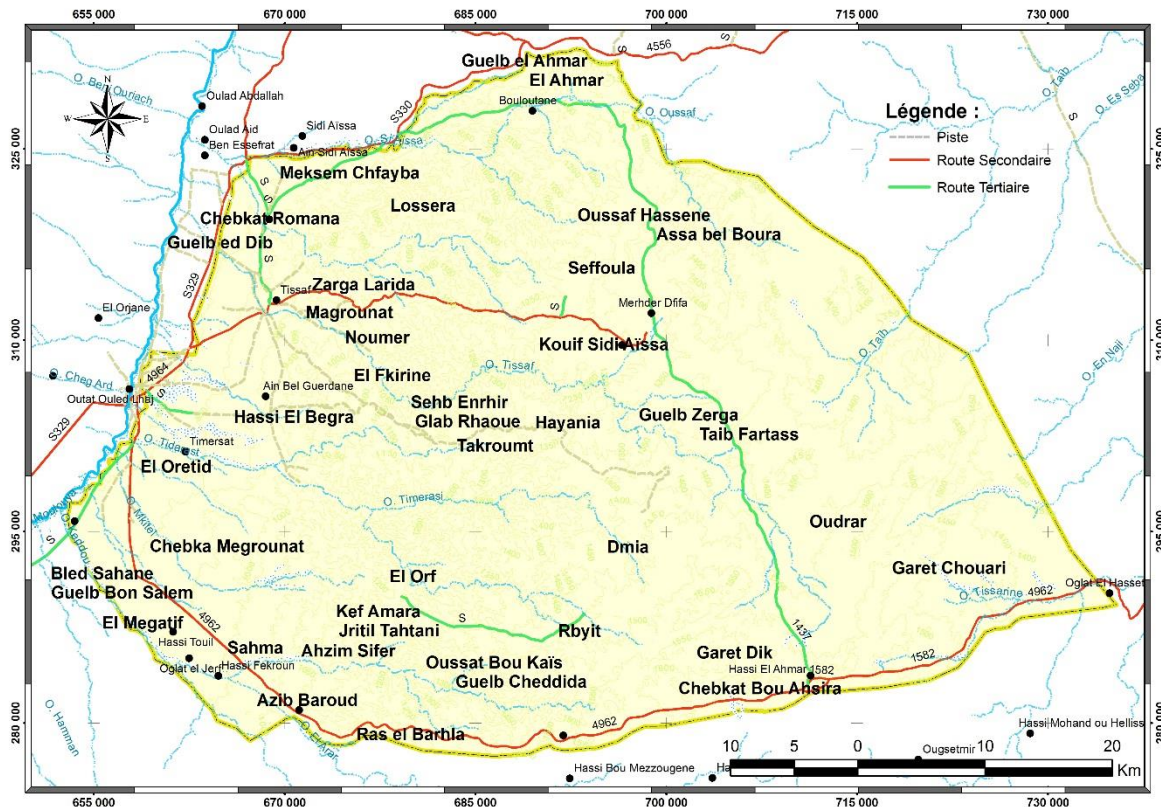
#### 4.2. Réseau de transport

Malgré son étendue, la zone est très enclavée et ne dispose pas de routes bitumées. Néanmoins, elle est bordée des trois côtés Nord, Ouest et Sud par 3 routes importantes à savoir :

- La route secondaire S329 reliant Missour à Guercif vers l'Ouest ;
- La route secondaire S330 reliant Outat Lhaj à Beni Methar au Nord ;
- La route tertiaire 4962 reliant Outat Lhaj à Ma'atarka au Sud (piste).

Le reste du réseau routier est sous forme de pistes carrossables utilisables seulement par des véhicules tout terrain et des camions.





**Figure 103 : Carte du réseau routier de la CR de Tissaf**  
 Source : Divers cartes topographiques + nos traitements

## 5. DEPLACEMENT ET TRANHUMANANCE

En conditions normales et en l'absence de sécheresse prolongée, les éleveurs se sédentarisent le long des grands axes de transport routier au niveau de la commune (approvisionnement en eau et en nourriture pour la famille).

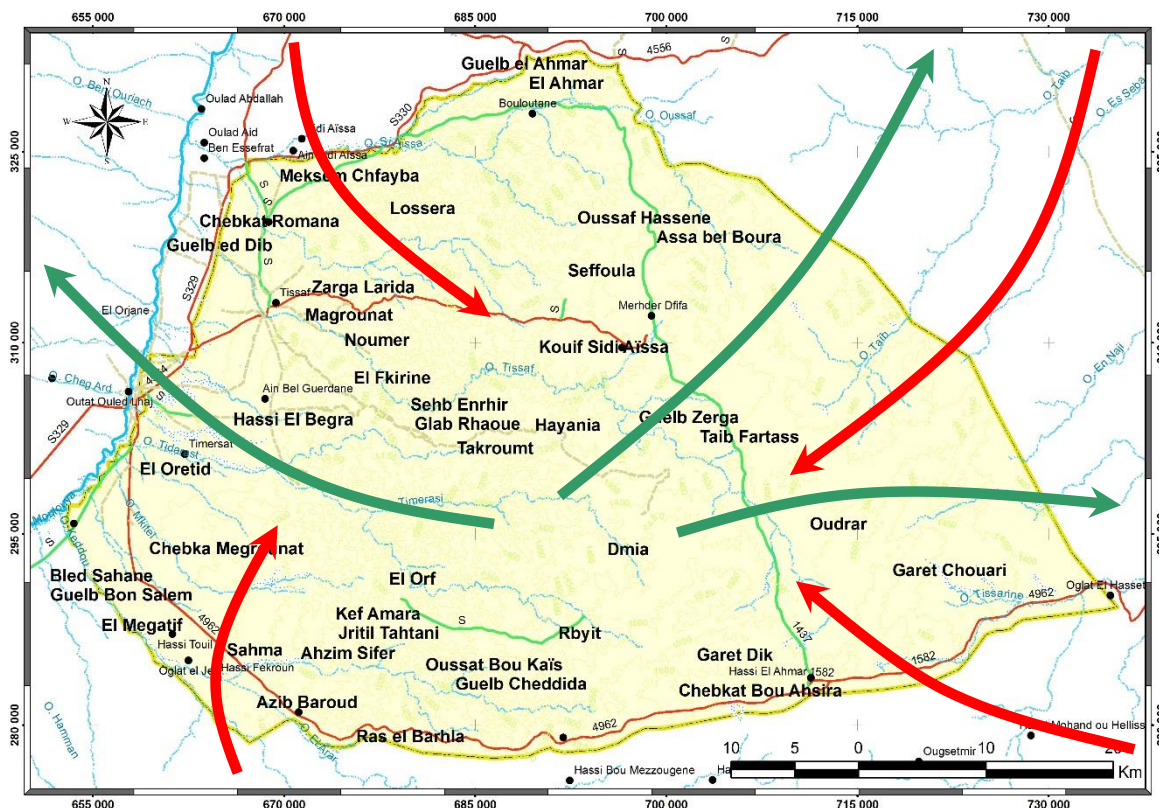
Lorsque les parcours de la zone deviennent incapables de subvenir aux besoins alimentaires minimaux du troupeau, certains éleveurs se voient obligés de déplacer les troupeaux qu'ils possèdent par camions loués ou par Pick-up vers d'autres lieux de pâturage. Il s'agit d'un déplacement temporaire par moyen mécanique causé par la sécheresse et non d'une transhumance puisqu'il ne se fait pas de manière systématique au gré des saisons. Les sites de déplacement utilisés par les éleveurs de la zone dépendent de la nature des ressources fourragères des zones de destination (chaumes, végétation naturelle) et de l'état de leurs ressources. En général, les éleveurs se renseignent auprès de leurs collègues dans les autres régions avant de prendre la décision de choisir un site ou un autre (location de parcelles de chaumes avant de déplacer le troupeau). Selon les éléments d'informations recueillis, les zones de déplacement les plus préférées sont :

- L'Oriental de Nador à Ma'atarka ;
- Le Moyen Atlas ;
- Les régions de Meknès et Fès (location des chaumes).

Par contre, lorsque l'année est favorable (bonne pluviométrie), la région de Tissaf devient attractive pour les autres zones de la région. Ainsi, plusieurs éleveurs des zones avoisinantes, surtout celles de l'Oriental, viennent installer leurs troupeaux au niveau de la zone. On peut même voir arriver des éleveurs du Sud du Maroc. En général, toutes les tribus

limitrophes sont attirées par les parcours de la zone lorsque la productivité fourragère est assez bonne. C'est le cas de :

- Ma'atarka (Bni Guil) ;
- Guercif (Houara) ;
- Taourirt (Zoua).
- Tendirra ;
- Bouarfa.



**Figure 104 : Carte de déplacement des troupeaux sur les parcours de la région**  
Source : Nos entretiens et traitements

### C. ANALYSE DE LA DYNAMIQUE LOCALE DE LA VEGETATION

Cette partie traite du choix des images satellitaires à utiliser et des traitements des données utilisées pour le suivi de la végétation.

#### 1. DONNEES DE TELEDETECTION UTILISEES

Pour comprendre la dynamique de la végétation au niveau de la zone nous avons utilisé plusieurs données de télédétection permettant de mieux cerner les caractéristiques de la végétation au niveau de la zone ainsi que son évolution dans le temps. Dans ce sens, les données utilisées pour les besoins de notre analyse sont :

- Données Afrique de Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) AVHRR 8 km disponibles depuis juillet 1981 jusqu'au 31 décembre 2006 (Maximum Value composite) par période de 15 jours, soit 612 observations (caractérisation temporelle) ;



- Données NDVI SPOT Végétation (~ 1 km<sup>2</sup>) disponibles de 1998 à 2009 par période de 10 jours (décadaires). Utilisation de la dernière décade du mois d'avril sur 12 années (suivi annuel) ;
- Données LANDSAT 30 m de résolution pour les années 1988, 2001 et 2007 (suivi de l'occupation du sol sur 20 ans).

### 1.1. Choix de l'imagerie satellitaire

Pour pouvoir établir une cartographie de la végétation couvrant la zone d'intérêt et étudier sa dynamique, nous avons choisi d'utiliser les imageries satellitaires LANDSAT constituées des bandes 1, 2, 3, 4, 5 et 7 dont la résolution est de 30 m et de la bande 6 dont la résolution est de 60 m (tableau 20) (bande spectrale : la longueur d'onde captée par le satellite varie du visible jusqu'à l'IR lointain, chaque bande spectrale possède des caractéristiques spectrales spécifiques (fenêtre spectrale)).

Une seule scène LANDSAT couvre entièrement la zone d'intérêt ; elle est identifiée par le numéro de l'orbite (path) et de la ligne (raw) : path : 199 et raw : 37.

Les cartes topographiques d'échelle 1/100.000 et la carte administrative de la région ont été utilisées à la fois pour corriger géométriquement les scènes LANDSAT et pour extraire la zone d'intérêt pour la recherche (CR de Tissaf).

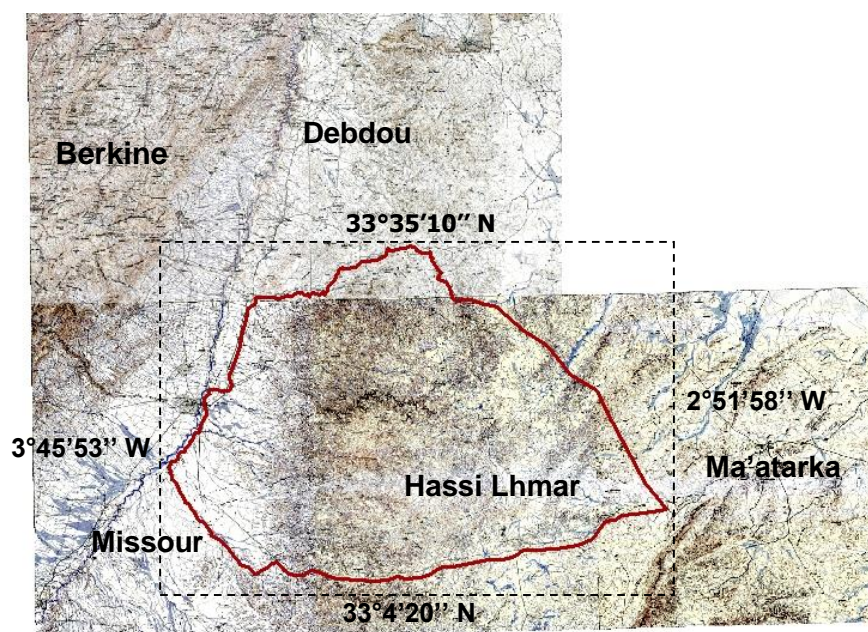


Figure 105 : Mosaïque des cartes topographiques 1/100 K de la zone de Tissaf

### 1.2. Scènes LANDSAT utilisées et prétraitements

Les scènes utilisées pour les besoins de l'analyse sont celles de LANDSAT 4 TM « Thematic Mapper » et ETM+ (Enhanced Thematic Mapper + : ETM+) géo-référencées à la projection Universe Transverse Mercator (UTM).

**Tableau 45 : Caractéristiques des scènes LANDSAT utilisées**

Série	N° scène	Date
LANDSAT 4 TM	P199R37_4T880316	16/03/1988
LANDSAT 7 ETM+	P199R37_7x010304	04/03/2001
LANDSAT 7 ETM+	P199R37_37070305	05/03/2007

La date d'acquisition est choisie en fonction des objectifs de l'analyse, le mois de mars est sélectionné pour permettre une meilleure différenciation des différents types de faciès pastoraux en fonction de leur réaction vis-à-vis des pluies du début de l'année sachant que la pluviométrie dans la région est relativement faible. Ainsi, et en vue de détecter les changements d'occupation du sol, nous avons choisi des dates correspondant à la première quinzaine du mois de mars relatives au stade de développement de la végétation y compris la strate herbacée (date anniversaire). La différence des états de surface et de l'occupation des sols entre 1988 et 2007 (20 ans) permettra d'apprécier l'évolution du milieu.

### 1.3. Méthodes d'analyse et de classification

#### 1.3.1. Carte de la qualité du couvert végétal

Etant donné que les données SPOT ne couvrent que la période entre 1998 et 2009, nous avons utilisé les données GIMMS/AVHRR, qui certes sont de plus faible résolution (~ 8 km), mais qui ont une résolution temporelle plus grande entre 1981 à 2006 ce qui permet un meilleur suivi de la végétation sur plus de 25 ans. Dans ce sens, et compte tenu de la faible résolution de ces données, nous avons calculé la valeur moyenne pour l'ensemble de la zone d'intérêt, le bassin de la Moulouya et l'ensemble du Maroc et nous avons analysé l'évolution de la valeur moyenne de l'indice (série chronologique).

#### 1.3.2. Carte des zones ayant subi une dégradation

Pour ce faire, les images NDVI correspondant à trois temps (t1, t2 et t3) espacées par un intervalle de temps t2-t1 et t3-t2 sont utilisées pour quantifier le degré de la dégradation. La procédure à suivre est comme suit :

- Extraire la carte NDVI pour la date t1 ;
- Extraire la carte NDVI pour la date t2 ;
- Extraire la carte NDVI pour la date t3 ;
- Analyser la différence entre les deux images.

Ces données ont été téléchargées et la zone d'intérêt a été extraite à partir du site VITO sur l'adresse [www.vgt4africa.org](http://www.vgt4africa.org) et sont libres d'utilisation pour l'ensemble de l'Afrique. Mais, étant donné l'effet des précipitations sur le développement de la végétation, nous avons utilisé le RUE (Rain Use Efficiency) ou l'indice d'efficacité d'utilisation des pluies par la végétation (Davenport et Nicholson, 1993) qui est le rapport entre le NDVI et les précipitations cumulées de la période.

#### 1.3.3. Analyse de l'évolution de l'occupation du sol

Les classes retenues pour le suivi temporel de l'occupation du sol au niveau de la commune de Tissaf en utilisant la classification supervisée sont les suivantes :

- 1- Stipa tenacissima dense ;
- 2- Stipa tenacissima moyennement dense ;
- 3- Stipa tenacissima de faible densité ;

- 4- Culture irriguée (PMH Tissaf) ;
- 5- Culture en Bour ;
- 6- Faciès chénopodiacées ;
- 7- Affleurements rocheux ;
- 8- Surface eau (barrages collinaires et rivières intermittentes) ;
- 9- Faciès Noaea mucronata (zone intermédiaire) ;
- 10- Sol nu et lits de rivières.

## 2. RESULTATS DE L'ANALYSE

### 2.1. Analyse des séries NDVI GIMMS/AVHRR

#### 2.1.1. Analyse des séries chronologiques NDVI

Le premier travail réalisé est l'extraction de la valeur moyenne du NDVI pour le Maroc, BV de la Moulouya, la Province de Boulmane et CR. de Tissaf pour l'ensemble des scènes NDVI de 15 jours (Maximum Value Composite) (série chronologique NDVI de 15 jours entre juillet 1981 et décembre 2006), soit 612 observations par zone.

Les résultats obtenus montrent qu'en général (année normale du point de vue précipitations pour l'ensemble du Maroc), la valeur du NDVI (\*1000) de la zone de Tissaf est toujours inférieure à l'ensemble des autres zones (Maroc, Moulouya et Boulmane).

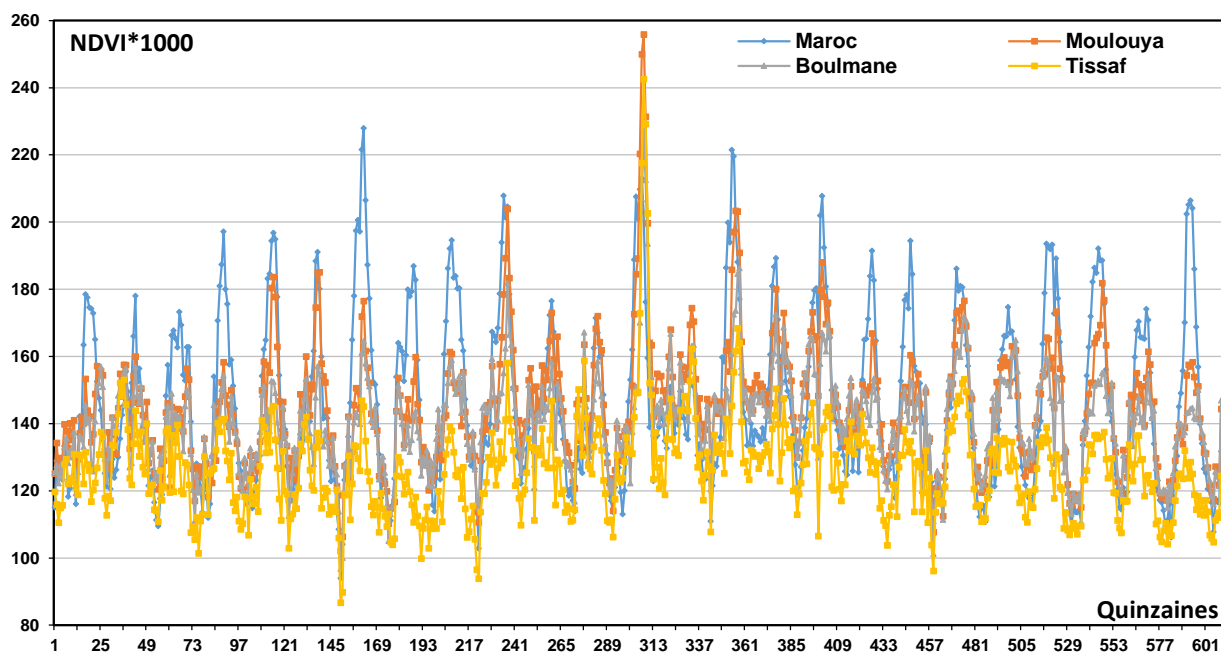
Ainsi, la valeur moyenne du NDVI de la zone pour les 25 années d'étude (1981 à 2006) oscille entre 0,242 et 0,086 ce qui implique que le sol nu est dominant au niveau de la zone et que la végétation au niveau de la zone est très éparse. La valeur du NDVI de la zone est largement inférieure à celles des autres zones témoins y compris l'ensemble du Maroc à l'exception de l'année 1994 où le NDVI de quelques mois pour la Moulouya et la CR de Tissaf est supérieur à celui du Maroc et de la province de Boulmane.

**Tableau 46 : Statistiques du NDVI moyen sur 25 ans**

Paramètre	Maroc	Moulouya	Boulmane	Tissaf
<b>Moyenne</b>	146,30	144,58	140,38	126,28
<b>Maximum</b>	227,95	255,84	227,32	242,57
<b>Minimum</b>	93,95	102,05	96,83	86,67
<b>Ecart-type</b>	25,45	18,39	14,37	14,57

Source : Données GIMMS + nos calculs





**Figure 106 : Evolution du NDVI 15 jours entre juillet 1981 et décembre 2006**  
 Source : Données GIMMS + nos traitements

L'analyse des corrélations entre les 4 séries de NDVI pour les 4 zones montre que le NDVI de la commune rurale de Tissaf est faiblement corrélé à celui du Maroc (0,579), ce qui confirme les corrélations concernant les précipitations déjà mentionnées plus haut. En effet, la commune de Tissaf est plutôt influencée par les courants humides du Nord-Ouest de la Méditerranée que par l'effet océanique.

**Tableau 47 : Matrice des corrélations NDVI Maroc, Moulouya et Tissaf**

	Maroc	Moulouya	Boulmane
Moulouya	0,796		
Boulmane	0,703	0,929	
Tissaf	0,579	0,853	0,879

Source : Données GIMMS + nos calculs

### 2.1.2. Analyse de RUE (Rain Use Efficiency)

Le RUE (Rain Use Efficiency) correspond au rapport entre la valeur du NDVI et la quantité de pluie reçue pendant une période. Le RUE utilisé suite aux différents tests de corrélation est le NDVI du mois d'avril divisé par la quantité de pluie reçue entre les mois de décembre et mars (cumul).

$$RUE = NDVI_{Avr} / Pluie_{Déc-Mar}$$

Ce quotient peut renseigner sur le degré de résilience de la végétation par rapport aux conditions climatiques et donne une indication sur la quantité de biomasse par unité de pluie. Les résultats obtenus montrent que la valeur moyenne pour la CR de Tissaf du RUE a une très légère tendance à la diminution, malgré les différences entre les années sèches et les années humides. La courbe de tendance a une pente négative (tendance à la dégradation) avec un coefficient proche de 0 (-0,0193), cependant la durée d'analyse de 23 ans reste courte pour dégager la tendance à long terme et le coefficient R<sup>2</sup> reste non significatif compte tenu de la faible variation de la valeur du RUE sur la durée des 23 ans de l'analyse.

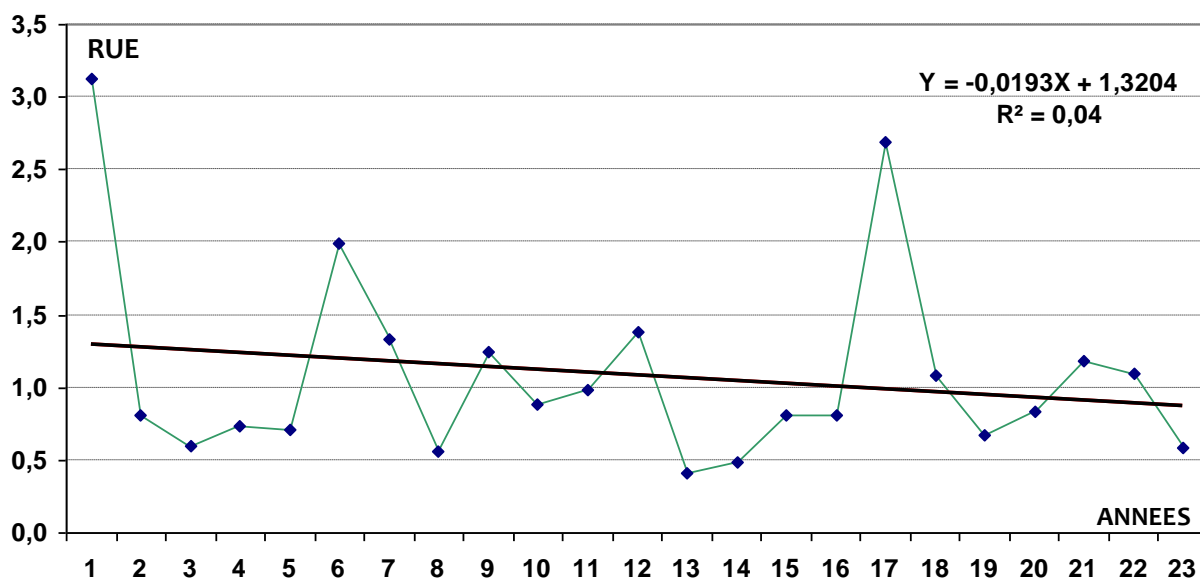


Figure 107 : Evolution du RUE entre 1984 et 2006 de la CR de Tissaf

Source : Données GIMMS + nos traitements

Par ailleurs, on note que la végétation dispose d'un grand potentiel de résilience par rapport aux différentes conditions de précipitation et que la végétation reprend assez bien lorsque l'année est favorable (régularité et quantité de précipitations).

## 2.2. Analyse des données NDVI SPOT Végétation

### 2.2.1. Analyse des séries NDVI SPOT

Les données utilisées sont celles relatives à la dernière décade du mois d'avril (21-31) pour la période entre 1998 et 2009. Il s'agit de scènes NDVI extraites à partir de la base de données VITO ([www.vgt4africa.org](http://www.vgt4africa.org)).

L'évolution de la valeur moyenne du NDVI de la dernière décade du mois d'avril montre une bonne résilience de la végétation entre 1998 et 2009, malgré une variabilité plus grande lors de bonnes années (persistance de pixels de sol nu et de végétation pérenne).

Tableau 48 : Statistiques du NDVI de la 3<sup>ème</sup> décade d'avril entre 1998 et 2009

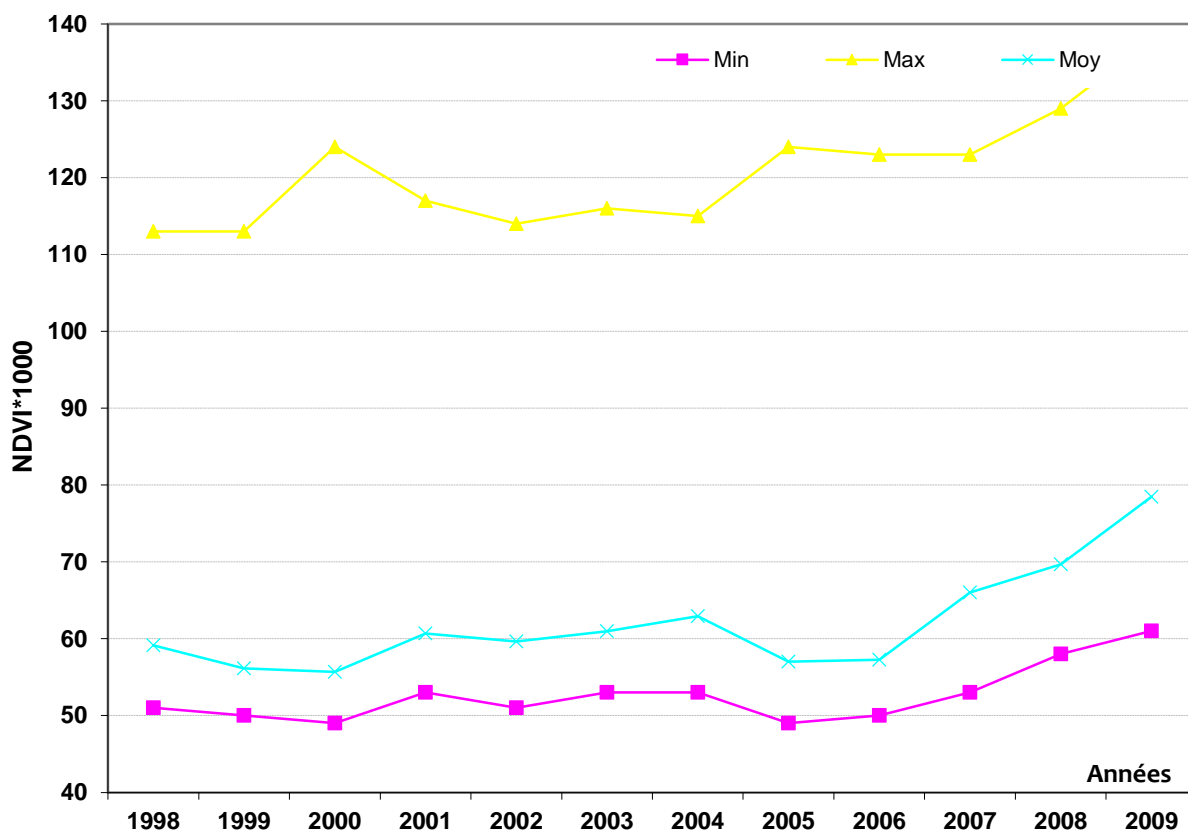
Année	Min	Max	Moyenne	E.T.	C.V.
2009	61,00	138,00	78,4691	7,9591	10,1430
2008	58,00	129,00	69,6674	5,1047	7,3272
2007	53,00	123,00	66,0175	5,3236	8,0639
2006	50,00	123,00	57,2542	3,5007	6,1143
2005	49,00	124,00	57,0161	3,3989	5,9613
2004	53,00	115,00	62,9151	5,1893	8,2481
2003	53,00	116,00	60,9602	3,9122	6,4176
2002	51,00	114,00	59,6499	3,5970	6,0302
2001	53,00	117,00	60,6731	3,8928	6,4160
2000	49,00	124,00	55,7013	3,0943	5,5552
1999	50,00	113,00	56,1286	3,4187	6,0908
1998	51,00	113,00	59,1396	3,7955	6,4179

Source : Données NDVI/VITO + nos calculs

Ainsi, les données ci-dessus montrent que lors des bonnes années (2009) la valeur du NDVI a augmenté de l'ordre de 36% par rapport à une année moyenne (2006). Ceci implique la bonne résilience de la végétation, surtout la strate herbacée des annuelles, entre 1998 et 2009, malgré une variabilité plus grande lors de bonnes années (persistance de pixels de sol nu et de végétation pérenne : pixels relativement stables).

En effet, on note que lors des mauvaises années le coefficient de variation augmente proportionnellement à la valeur du NDVI, ceci implique que certains pixels sont plutôt stables (sols nus et végétation pérenne) et ne réagissent pas à la variabilité des précipitations avec la même intensité que les annuelles.

La courbe ci-dessous montre la variation des valeurs moyennes par rapport à celles minimales et maximales. Les valeurs moyennes sont surtout très proches des valeurs minimales pour l'ensemble des années. Ceci implique l'existence exceptionnelle de quelques pixels à forte valeur du NDVI (PMH de Tissaf à végétation très dense et en bonne santé et zone de Seffoula) qui influence les valeurs maximales de la zone mais dont l'existence n'a pas d'effet significatif sur la valeur moyenne de la zone qui est très proche de la valeur minimale.



**Figure 108 : Evolution du NDVI avril entre 1998 et 2009 de la CR de Tissaf**

Source : Données NDVI/VITO + nos traitements

### 2.2.2. Relation entre le NDVI et l'altitude

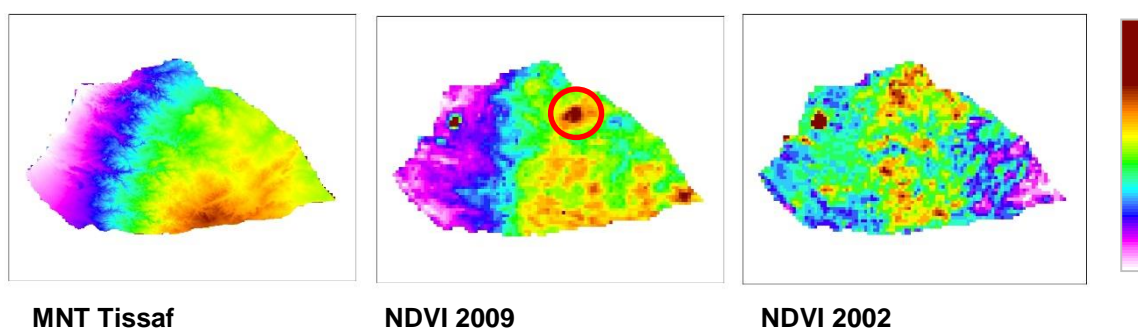
Les coefficients de corrélation entre le NDVI pour le mois d'avril pour chaque année entre 1998 et 2009 et le modèle numérique de terrain (MNT) ont été calculés pour pouvoir évaluer l'effet de l'altitude sur la qualité de la végétation. Ainsi, on note qu'en année favorable (bonne pluviométrie) telle que 2009, le coefficient de corrélation linéaire est de l'ordre de 0,83 alors qu'en mauvaise année (faible pluviométrie) comme 2002, ce coefficient est de -0,07. Ceci note qu'en bonne année la végétation reprend assez bien mais que cette reprise est proportionnelle à l'altitude (mauvaise reprise dans les basses altitudes) et que la qualité de

cette végétation au niveau de la CR de Tissaf est directement liée à l'altitude c'est-à-dire que, plus on monte en altitude, plus la végétation reprend de la vigueur et de la densité.

**Tableau 49 : Corrélation du NDVI de la 3<sup>ème</sup> décennie d'avril et l'altitude de 1998 à 2009**

Année	Corrélation
1998	0,54436
1999	0,46712
2000	0,20726
2001	0,32143
2002	-0,07230
2003	0,38655
2004	0,64449
2005	0,31654
2006	0,33887
2007	0,65032
2008	0,20704
2009	0,83921

Source : Données NDVI/VITO + nos calculs



**Figure 109 : MNT et NDVI 2009 et 2002 de la CR de Tissaf**

Source : STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008 et VITO/NDVI + nos traitements

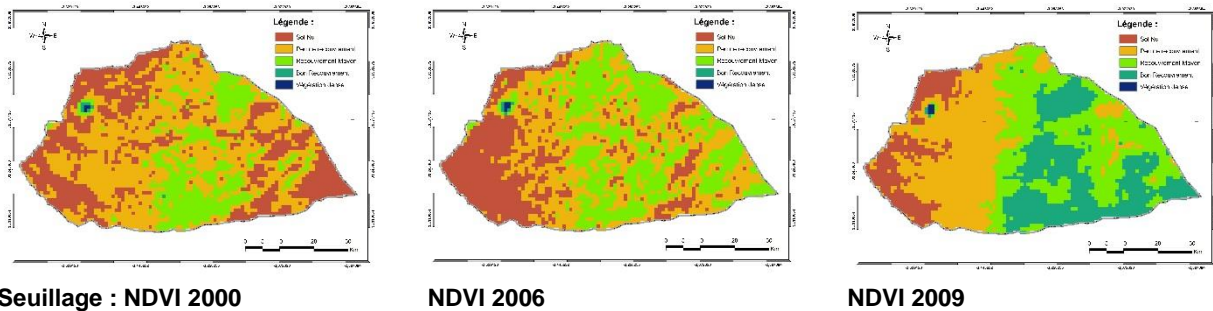
A noter aussi que le NDVI de la zone de Seffoula (zone épargnée par les bergers à cause de la présence de plantes causant des indigestions animales) le NDVI est plus élevé que dans les autres secteurs de la commune. Ceci, montre assez nettement l'effet du surpâturage qui affecte aussi bien la densité que la résilience de la végétation (peu de recouvrement).

### 2.2.3. Suivi du recouvrement végétal

Pour évaluer la qualité du recouvrement du sol par la végétation (densité de la végétation) en pleine période de printemps (strate annuelle et pérennes) trois années représentatives ont été sélectionnées à savoir 2009, 2006 et 2000 et qui sont respectivement une bonne, une moyenne et une mauvaise année. Cinq classes de densité de recouvrement ont été prises en compte à savoir :

- Sol nu (végétation très éparse) ;
- Peu de recouvrement ;
- Recouvrement moyen ;
- Bon recouvrement ;
- Végétation dense.

Les données du NDVI pour les 3 années ont été seuillées sur la base des 5 classes ci-dessus et ont donné les résultats suivants :



**Figure 110 : Cartes NDVI pour les 3 années représentatives**

Source : Données NDVI/VITO + nos traitements

On remarque assez nettement que le taux de recouvrement est très lié à la quantité des précipitations de l'année (jusqu'au mois d'avril dans ce cas). En effet, pour l'année 2009, qui est une année exceptionnelle du point de vue précipitations, le recouvrement du sol par la végétation est dense en montagne et moyennement dense en se dirigeant vers l'est et l'ouest, alors qu'au niveau de la vallée le recouvrement est très faible à nul. Par contre pour l'année 2000, qui est une mauvaise année du point de vue précipitations, le recouvrement en montagne est moyen et devient faible à nul en se dirigeant vers la vallée et l'Est. Les différences de recouvrement entre les différentes années montrent, d'une part, que la production des plantes annuelles qui constituent une grande part des apports fourragers pour le bétail est très variable d'une année à l'autre et, d'autre part, que ces annuelles (flore interstitielle à l'intérieur de l'Alfa) sont bien adaptées aux conditions du milieu et conservent un bon degré de résilience.

A noter que seule la zone du PMH de Tissaf présente une végétation dense (bleu foncé).

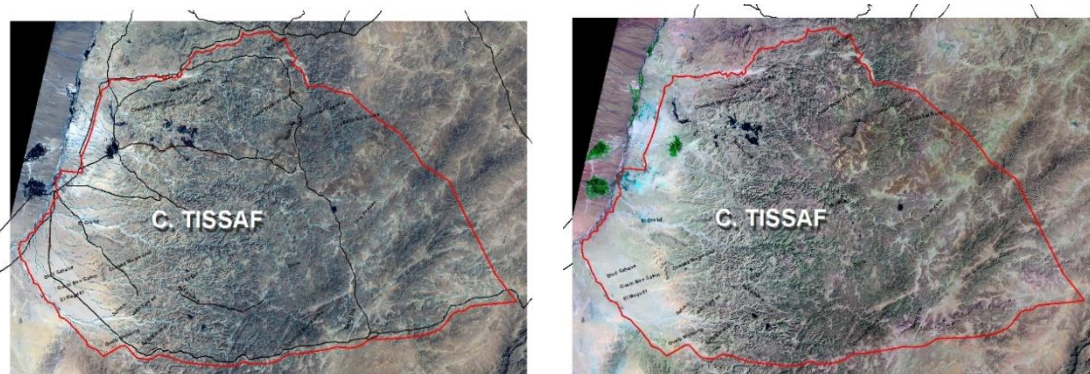
### 2.3. Analyse de l'occupation du sol

L'analyse de l'occupation du sol au niveau de la CR de Tissaf a été réalisée à partir de la scène LANDSAT de 2001. Il s'agit de la scène intermédiaire entre 1988 et 2007 qui a la meilleure qualité spectrale par rapport aux images 1988 et 2007 (plus grande variance inter et intra-spectrale) ce qui implique qu'elle est la moins affectée par les effets atmosphériques et la couverture nuageuse.

Le travail de classification (regroupement) des pixels dans l'espace multispectral a été réalisé sur plusieurs étapes à savoir :

- Regroupement des bandes spectrales dans une image composite de 9 bandes spectrales (ensemble des bandes spectrales LANDSAT) ;
- Extraction de la région d'intérêt (ROI : Region of interest) qui est le rectangle contenant la CR de Tissaf ;
- Analyse des variances et corrélations entre les différentes bandes spectrales et choix des bandes spectrales les plus discriminantes (contribution à la variance totale de chaque bande spectrale) ;
- Réalisation de la classification supervisée par la méthode de maximum de vraisemblance ;
- Evaluation de la précision de la classification ;
- Mesure des surfaces des classes et édition de la carte finale d'occupation.





**Figure 111 : Tissaf : (1) Couleurs naturelles RGB, (2) fausses couleurs (724)**

Source : Données LANDSAT + nos traitements

Le travail d'affectation de chaque classe à un type de végétation s'est fait sur la base des données terrain recueillies par GPS en 2010.

L'analyse de la précision de la classification à l'aide de la matrice de confusion montre une précision de la classification de l'ordre de 75% avec un coefficient Kappa de 0,72 qui peut être qualifié de très satisfaisant (annexe 8).

Les résultats obtenus montrent que l'Alfa présente trois niveaux de densité/vigueur selon l'altitude et la position. Ainsi, l'Alfa est de faible densité et de vigueur en se dirigeant vers l'Ouest et les bas-fonds ; elle est par contre de meilleure vigueur et densité en remontant les altitudes et au niveau des crêtes. Les trois niveaux de densité distingués sont :

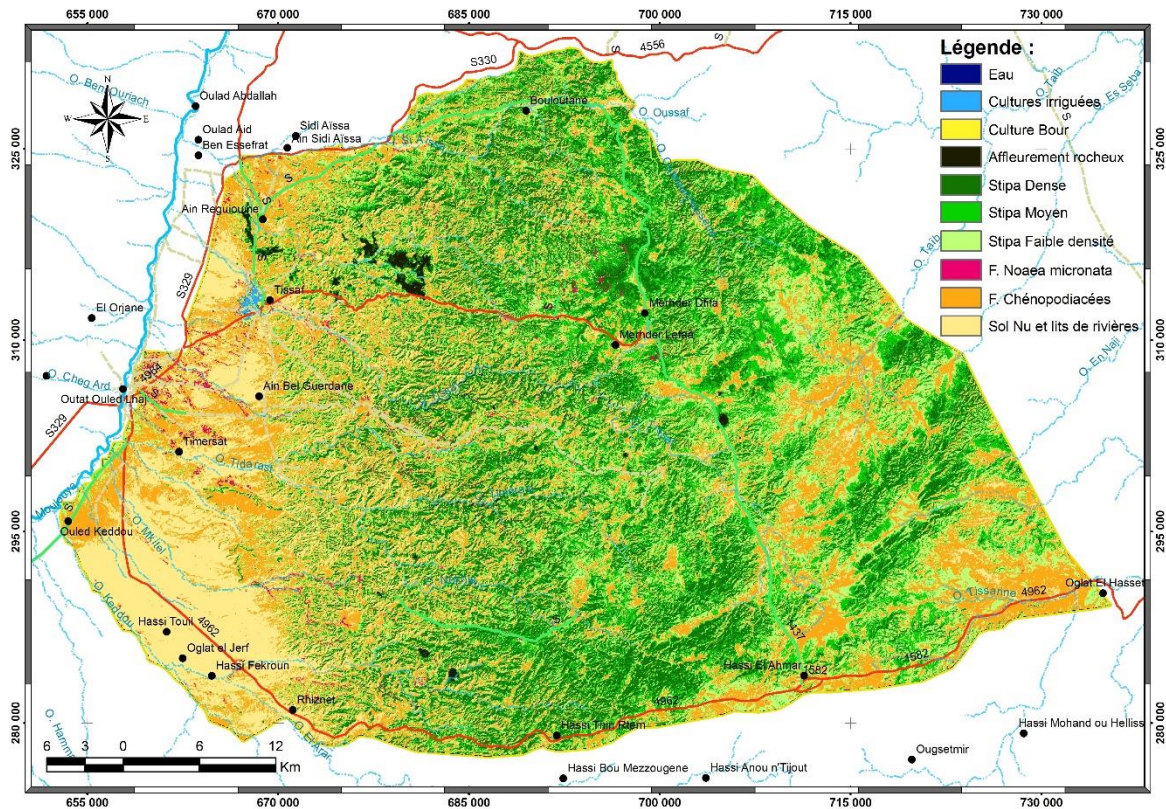
- *Stipa tenacissima* dense ;
- *Stipa tenacissima* moyennement dense ;
- *Stipa tenacissima* de faible densité.

Les sept autres faciès distingués sont :

- Culture irriguée (PMH Tissaf) ;
- Culture en Bour ;
- Faciès chénopodiacées ;
- Affleurements rocheux ;
- Surface eau (barrages collinaires et rivières intermittentes) ;
- Faciès *Noaea mucronata* (zone intermédiaire) ;
- Sol nu et lits de rivières.

L'analyse des superficies occupées par chaque classe montre qu'en 2001, le faciès de *Stipa tenacissima* (différentes densités) occupe 58,64% de la superficie de la CR de Tissaf, le reste est essentiellement occupé par le faciès des sols nu et de chénopodiacées avec une superficie de l'ordre de 114.480 ha, soit 39% de la surface totale de la commune.

Par ailleurs, nous n'avons pas noté au cours des sorties sur le terrain la présence de faciès d'armoïse, les résultats de la classification montrent que ce faciès n'existe plus sous forme de faciès homogène et spectralement distinct au niveau de la zone.



**Figure 112 : Carte d'occupation du sol de la CR de Tissaf (classification 2001)**

Source : Données LANDSAT, 2001 + nos traitements

**Tableau 50 : Importance des occupations du sol de la CR de Tissaf (classification 2001)**

Faciès	Superficie (ha)	%
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Dense	50.671	17,36
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Moyenne densité	52.538	18,00
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Faible densité	67.946	23,28
Faciès à <i>Noaea mucronata</i> , <i>Stipa parviflora</i> et <i>Helianthemum sp.</i>	3.700	1,27
Faciès à chénopodiacées	70.103	24,01
Cultures irriguées	243	0,08
Terrains cultivées en Bour	355	0,12
Affleurements rocheux	1.848	0,63
Eau (rivières et lacs collinaires)	160	0,05
Sol nu et lits de rivières	44.377	15,20
<b>Total</b>	<b>291.941</b>	<b>100</b>

Source : Données LANDSAT, 2001 + nos calculs

La comparaison des résultats obtenus avec les résultats de l'étude ERES basée sur la couverture aérienne de 1970, montre que les surfaces de l'Alfa ont fortement diminué pour passer de 75% à moins de 60% sur 30 ans, soit une diminution de l'ordre de 1% chaque 2 ans. Mais les superficies de l'Alfa avancées par l'étude ERES semblent un peu exagérées compte tenu de la non prise en compte des sols nus au niveau de l'étude (15% des superficies). Le tableau suivant montre les différences d'occupation entre 1970 (ERES) et 2001 (classification LANDSAT).

A signaler que les données issues de l'étude ERES sont des données d'interprétation de photos aériennes 1/40.000 prises au cours de l'année 1970 et qui sont assujetties comme toute interprétation visuelle à des erreurs de classification, contrairement à la classification supervisée qui ne se base que sur les signatures spectrales des pixels. On note bien que le sol nu au niveau de la classification 2001 présente plus que 15% de la superficie de la commune, alors que l'étude ERES n'en mentionne que 1.408 ha, ce qui paraît très faible.

En général, les écarts enregistrés entre l'étude ERES et la classification basée sur les données issues de la télédétection sont expliqués, d'une part, par la sous-estimation du sol nu ou très peu couvert par la végétation au niveau de l'étude ERES et, d'autre part, par l'évolution de la végétation entre les deux périodes (diminution des faciès Alfa au profit du faciès des chénopodiacées) ce qui indique une augmentation des espèces les moins appréciées par les animaux surtout en zone de plaine.

**Tableau 51 : Différence des occupations du sol entre 1970 et 2001**

Faciès	ERES	Classification 2001	Ecart (%)
Faciès Artemisia herba alba	7021	0	-100
Faciès à Stipa tenacissima	218.941	171.155	-21
Faciès à Noaea mucronata...	20.750	3.700	-82
Faciès à chénopodiacées	41.704	70.103	68
Cultures	2.117	598	-71
Affleurements rocheux	0	1.848	100
Eau (rivières et lacs collinaires)	0	160	100
Sol nu et lits de rivières	1.408	44.377	3.000
<b>Total</b>	<b>291.941</b>	<b>291.941</b>	

Source : Données LANDSAT, 2001 et ERES, 1972 + nos calculs

#### 2.4. Analyse de la dynamique de la végétation

Compte tenu de la nature de la zone essentiellement occupée par l'Alfa (*Stipa tenacissima*), il s'avère important de suivre l'évolution des superficies de l'Alfa selon les trois niveaux de densité (bon, moyen et faible) et de traduire cette évolution en termes de superficies occupées. Les écarts de superficies enregistrés entre les différents niveaux de densité de l'Alfa sur la période 1988 à 2007 (20 ans) permettent de connaître les niveaux de dégradation de la végétation sur l'ensemble de la zone (faciès dominant et typique).

Pour permettre une meilleure comparaison des résultats, la classification a été réalisée en se basant sur 6 grandes classes (agrégation des classes les moins représentées (< 1%) avec les classes les plus importantes) à savoir :

- *Stipa tenacissima* dense ;
- *Stipa tenacissima* moyennement dense ;
- *Stipa tenacissima* de faible densité ;
- Faciès chénopodiacées ;
- Faciès surfaces irriguées, affleurement rocheux et *Stipa* très dense ;
- Sol et lits de rivières.

L'évaluation de la précision des classifications (annexe 8) a été faite à l'aide d'une matrice de confusion (Story et Congalton, 1986). Pour chaque classe, elle indique le pourcentage de pixels de l'ensemble de référence qui est classé correctement ainsi que le taux de pixels dont la classe résultante diffère de la classe de référence. La précision moyenne des classifications est de l'ordre de 75% avec un coefficient Kappa toujours supérieur à 0,68.



D'après Landis et Koch (1977) ce taux correspond à une précision de classification pouvant être considérée comme bonne (entre 0,61 et 0,80).

A cause de l'indisponibilité de données concernant l'occupation du sol au cours de la période 1988 à 2001, nous avons procédé préalablement à des classifications non supervisées (algorithme ISODATA) en vue de ne garder que les points de contrôle qui n'ont pas changés de classes par rapport à l'année de référence de 2007.

Les résultats obtenus avec les classifications supervisées finales (algorithme de maximum de vraisemblance), malgré une petite baisse de la précision des classifications entre 2007 et 1988 (77 à 73%), montrent un coefficient Kappa toujours supérieur à 0,68. Le nombre de points de contrôle retenu est ainsi passé de 57 en 2007 à 49 en 2001 et à 46 en 1988.

En absence de cartes ou d'informations pertinentes sur l'occupation du sol au cours de la période 1988 à 2001, cette approche, un peu discutable de point de vue méthodologique, est restée la seule voie possible pour pouvoir évaluer la dynamique spatio-temporelle de la végétation à l'échelle de la région étudiée.

Pour l'ensemble des classes, les précisions producteurs et utilisateur dépassent toujours 60%. Les résultats de la classification semblent corrects pour les trois dates, puisque les zones alfatières de faible à forte densité correspondent bien à la réalité de terrain.

En général, les valeurs des différents indicateurs de précision des classifications supervisées pour les différentes dates, témoignent d'une part, de la bonne qualité des échantillons et d'autre part, de la bonne correspondance entre le résultat de la classification et la réalité terrain.

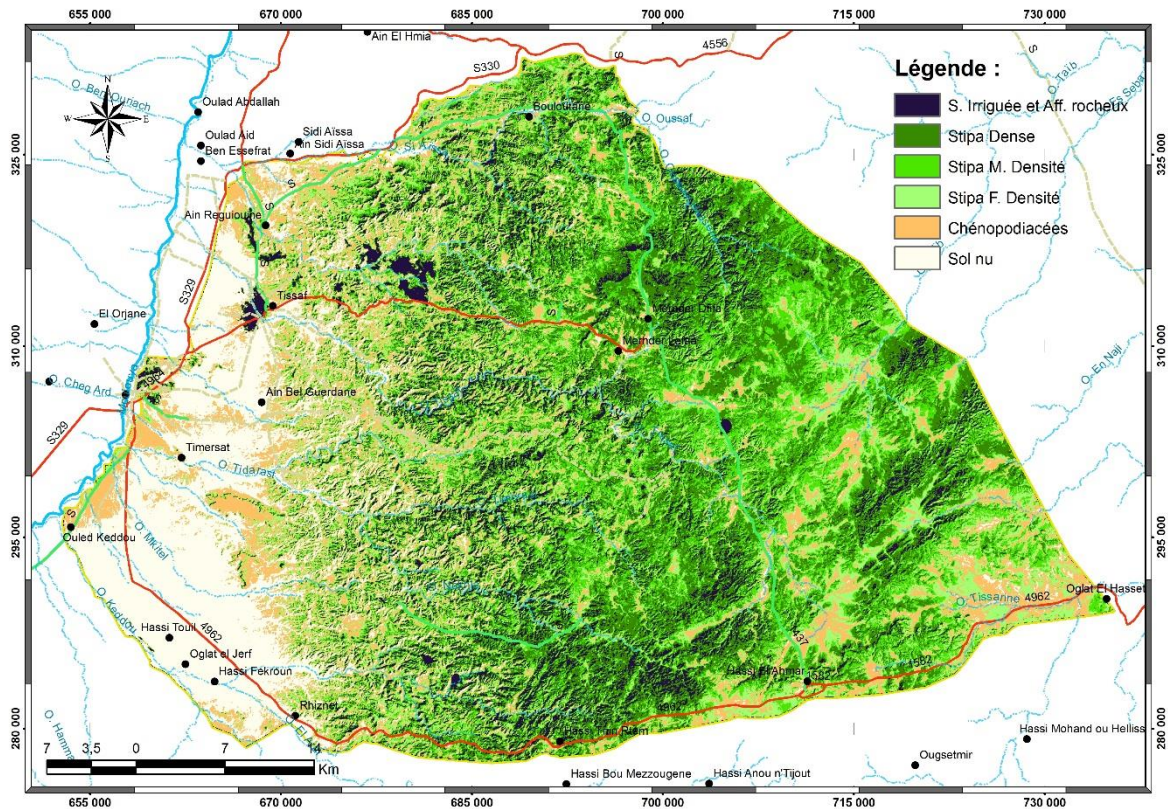
#### 2.4.1. Occupation du sol entre 1988 et 2007

Les résultats de la classification des données satellites du mois de mars 1988 montrent que l'Alfa occupe une superficie de l'ordre de 196.000 ha (y compris la classe d'Alfa très dense et surfaces irriguées), soit environ 67% de la superficie de la commune, le reste étant occupé par le faciès chénopodiacées pour une superficie de 48.228 ha et le sol nu avec 47.539 ha.

**Tableau 52 : Importance des occupations du sol de la CR de Tissaf (classification 1988)**

Faciès	Superficie (ha)	%
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Dense	65.819	22,55
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Moyenne densité	57.379	19,65
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Faible densité	46.208	15,83
Faciès à chénopodiacées	48.228	16,52
Sol nu et lits de rivières	47.539	16,28
S. Irriguée, affleurement rocheux et Alfa très dense	26.768	9,17
<b>Total</b>	<b>291.941</b>	<b>100</b>

Source : Données LANDSAT, 1988 + nos traitements



**Figure 113 : Carte d'occupation du sol de la CR de Tissaf (classification 1988)**

Source : Données LANDSAT, 1988 + nos traitements

Ces résultats sont très différents de ceux avancés par l'étude ERES, essentiellement à cause de la non prise en compte du sol nu qui représente à lui seul plus de 16% de la superficie et de la sous-estimation de l'importance du faciès des chénopodiacées (48.228 au lieu de 41.704 ha).

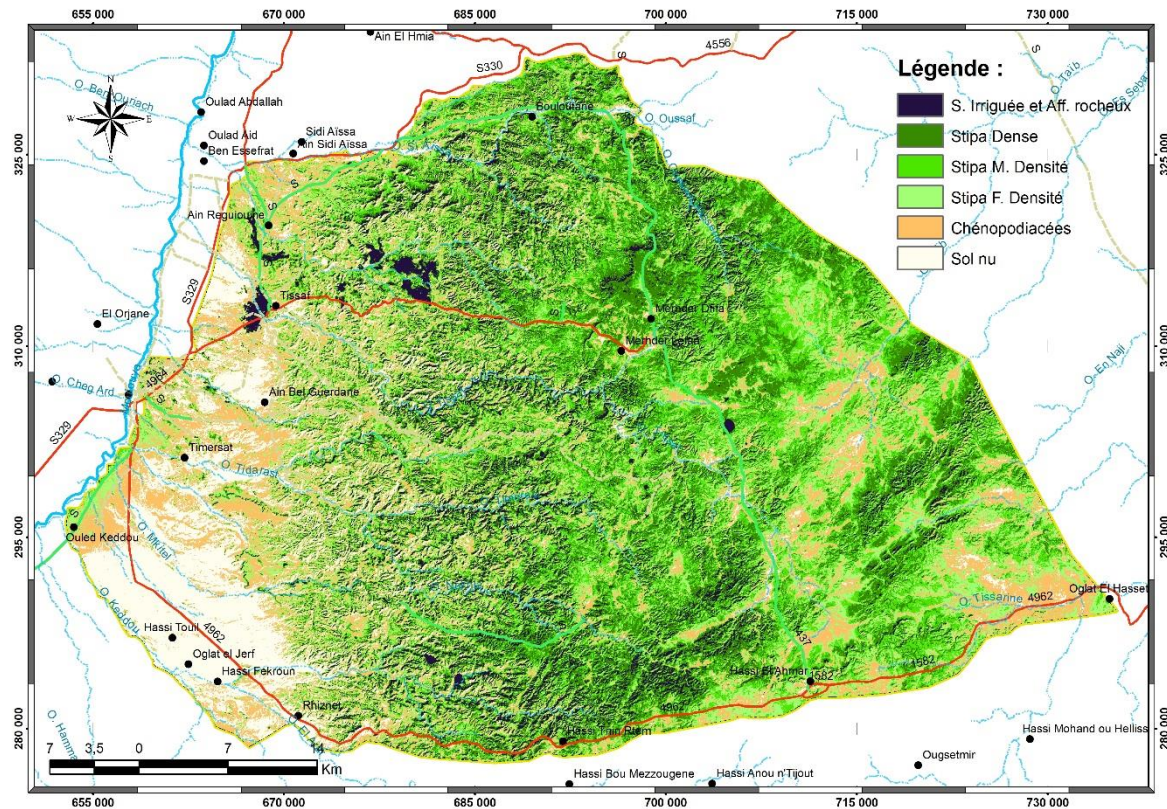
Concernant l'année 2001, la classification, sur la base des 6 grandes classes, montre que l'Alfa occupe une superficie de l'ordre de 197.271 ha, soit environ 67% de la superficie de la commune, le reste étant occupé par le faciès chénopodiacées pour une superficie de 56.231 ha et le Sol nu (recouvrement non significatif) avec 38.439 ha.

**Tableau 53 : Importance des occupations du sol de la CR de Tissaf (classification 2001)**

Faciès	Superficie (ha)	%
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Dense	58.054	19,89
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Moyenne densité	58.246	19,95
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Faible densité	56.803	19,46
Faciès à chénopodiacées	56.231	19,26
Sol nu et lits de rivières	38.439	13,17
S. Irriguée, affleurement rocheux et Alfa très dense	24.167	8,28
<b>Total</b>	<b>291.941</b>	<b>100</b>

Source : Données LANDSAT, 2001 + nos traitements





**Figure 114 : Carte d'occupation du sol de la CR de Tissaf (classification 2001)**

Source : Données LANDSAT, 2001 + nos traitements

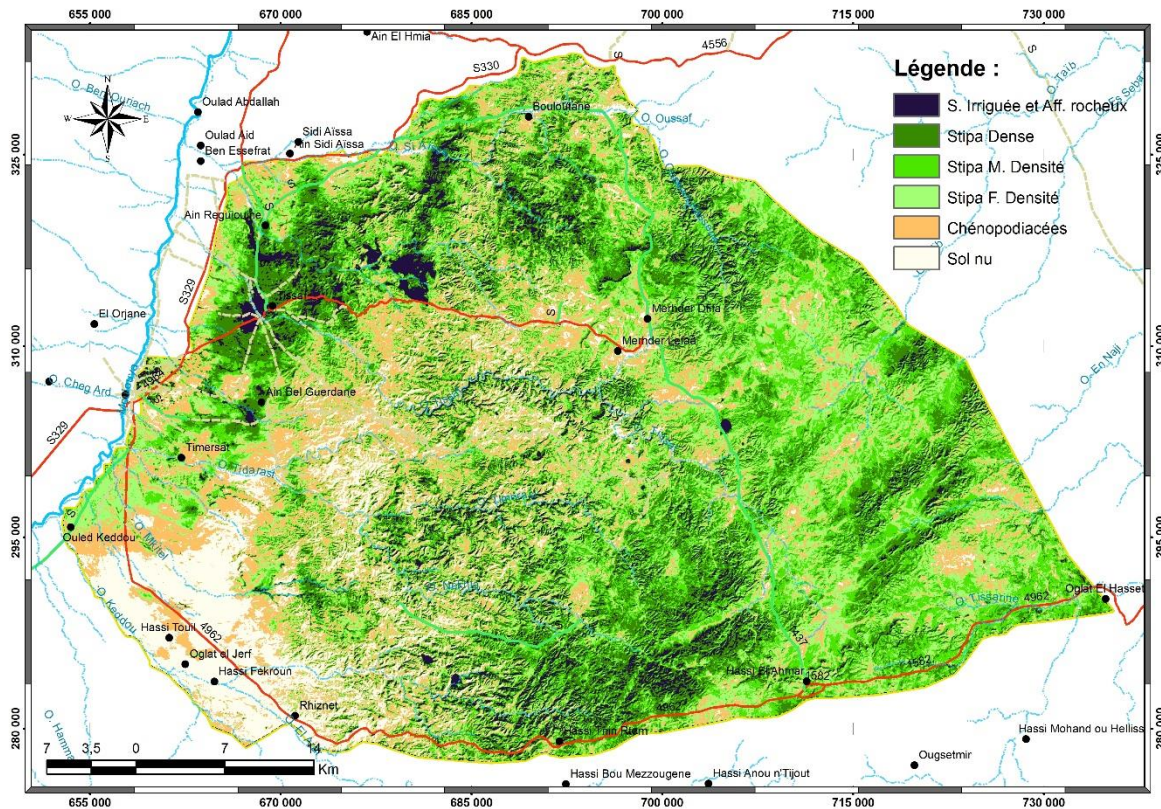
La comparaison des résultats de la classification 1988 et 2001 montre que la superficie de l'Alfa est restée pratiquement constante, mais les pourcentages des niveaux de densité ont changé pour passer de 22% pour l'Alfa dense en 1988 à 19% en 2001, par contre l'Alfa de faible densité est passée de 15,83% à 19,46%. Ceci implique une dégradation progressive de l'Alfa entre 1988 et 2001 sans que cela n'affecte la superficie totale occupée (diminution progressive de la densité).

Pour l'année 2007, la classification montre que l'Alfa occupe une superficie de l'ordre de 202.539 ha, soit environ 69% de la superficie de la commune, le reste étant occupé par le faciès chénopodiacées pour une superficie de 58.469 ha et le Sol nu (recouvrement non significatif) avec 30.933 ha.

**Tableau 54 : Importance des occupations du sol de la CR de Tissaf (classification 2007)**

Faciès	Superficie (ha)	%
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Dense	56.537	19,37
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Moyenne densité	62.301	21,34
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i> –Faible densité	63.850	21,87
Faciès à chénopodiacées	58.469	20,02
Sol nu et lits de rivières	30.933	10,60
S. Irriguée, affleurement rocheux et Alfa très dense	19.852	6,80
<b>Total</b>	<b>291.941</b>	<b>100</b>

Source : Données LANDSAT, 2007 + nos traitements



**Figure 115 : Carte d'occupation du sol de la CR de Tissaf (classification 2007)**

Source : Données LANDSAT, 2007 + nos traitements

### 2.4.2. Evaluation de la dynamique de la végétation

La comparaison des résultats des différentes classifications pour les différentes années sélectionnées montre que le faciès *Stipa tenacissima* n'a pas subi un changement quantitatif significatif du point de vue superficie occupée entre 1988 et 2007, sa superficie est restée pratiquement de l'ordre de 200.000 ha, soit environ 70% de la superficie de la commune (+ ou - 300.000 ha). Par contre du point de vue densité, on note une diminution de la classe de bonne densité au profit de la classe de faible densité alors que la classe moyenne densité est restée pratiquement constante et peut être considérée comme classe relais entre la forte et la faible densité. Le tableau suivant donne la répartition des superficies entre les 3 années et les différences de superficies enregistrées entre 1988 et 2001.

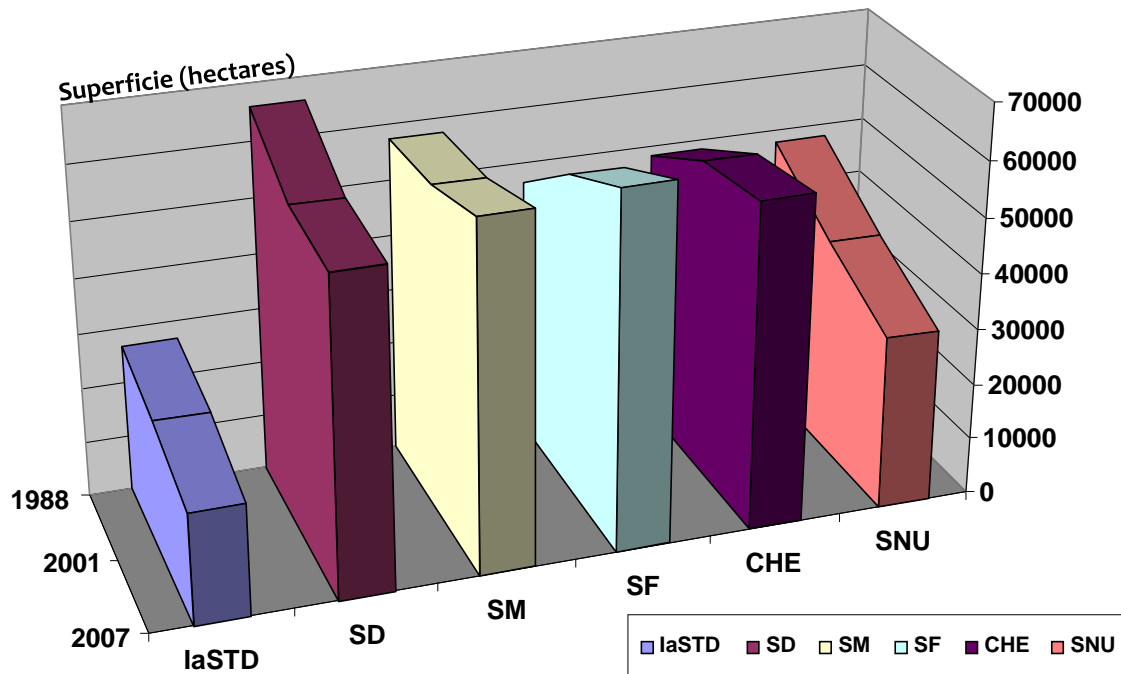
**Tableau 55 : Superficies des classes entre 1988 et 2007**

Faciès	1988	2001	2007	Différence
Faciès à <i>Stipa T.</i> – Dense	65.819	58.054	56.537	-9.283
Faciès à <i>Stipa T.</i> – Moyenne densité	57.379	58.246	62.301	4.921
Faciès à <i>Stipa T.</i> – Faible densité	46.208	56.803	63.850	17.642
Faciès à chénopodiacées	48.228	56.231	58.469	10.240
Sol nu et lits de rivières	47.539	38.439	30.933	-16.610
Sl, roches et Alfa très dense	26.768	24.167	19.852	-6.916
<b>TOTAL</b>	<b>291.941</b>	<b>291.941</b>	<b>291.941</b>	

Source : Données LANDSAT + nos traitements



Concernant le sol nu et le faciès chénopodiacées on note que le sol nu a diminué progressivement entre 1988 à 2007 pour passer de 47.539 ha à 38.439 puis à 30.933 ha en 2007, ceci peut être expliqué par la bonne compensation entre la végétation constituée par les annuelles et les chénopodiacées et le sol nu au gré des précipitations de la période (sachant que 2007 est relativement meilleure que 2001 et 1988 : voir valeurs NDVI fin avril).



Snu : Sol nu, CHE : Chénopodiacées, SF : Alfa faible densité, SM : Alfa Moyenne densité, SD : Alfa dense, laSTD : Surfaces Irrigués affleurement rocheux et Alfa T. Dense

**Figure 116 : Evolution des superficies des classes entre 1988 et 2007**

Source : Données LANDSAT 1988 à 2007 + nos calculs

Se référant à l'année 1988, on note ainsi que la superficie de l'Alfa dense et très dense a enregistré une diminution de l'ordre de 16.199 ha sur 20 ans, soit une diminution de l'ordre de 800 ha annuellement au profit de l'Alfa de faible densité qui a gagné une superficie de l'ordre de 17.642 ha. Mais cette diminution de la densité ne s'est pas traduite par un changement dans l'occupation du sol puisque les superficies occupées par l'Alfa sont restées pratiquement constantes au cours de la même période.

## D. CONCLUSION

La région de Tissaf est une zone caractérisée par une forte aridité, les précipitations ne dépassent que très rarement le seuil des 120 mm au niveau de la vallée de la Moulouya à 200 mm en amont. A l'échelle interannuelle, la pluviométrie est également très variable et les précipitations de l'année pluvieuse peuvent atteindre 3 fois celles de l'année sèche.

La végétation naturelle de la zone est particulièrement dominée par l'Alfa (*Stipa tenacissima*), elle est localisée sur les plateaux, les collines et glacis ou sur les massifs montagneux et caractérisée par une plus forte vigueur en hautes altitudes et par une dégradation plus prononcée dans les basses altitudes.

La classification de l'occupation du sol montre que le faciès d'Alfa reste dominant avec une superficie de l'ordre de 200.000 ha, soit 68% de la surface de la commune. Le faciès chénopodiacées occupe entre 50.000 et 70.000 ha selon les années, le reste étant pratiquement du sol nu.

Concernant la dynamique de la végétation on remarque que l'Alfa conserve un grand potentiel d'adaptation aux conditions du milieu (végétation climacique) et que sa superficie totale n'a pas subi un changement significatif entre 1988 à 2007. Par contre, du point de vue qualitatif, de grandes superficies d'Alfa dense à très dense se sont dégradées pour se retrouver dans la classe d'Alfa faiblement dense. Cette dégradation a une direction Est Ouest en se dirigeant vers les hautes altitudes, soit une diminution de l'ordre de 16.199 ha sur 20 ans.

Les espèces pastorales dans la zone, comme celles constituant leur cortège floristique sont menacées par la surexploitation. Cette dégradation subie par l'Alfa ne peut être expliquée que par l'intensité d'utilisation des parcours et le surpâturage. L'effectif du cheptel utilisant les ressources fourragères de la zone, estimé à 105.000 têtes de petits ruminants, montre la pression qu'exerce l'activité de pâturage sur les ressources disponibles déjà fortement fragilisées par les conditions de sécheresse des dernières années.

La situation, in situ, des taxons pastoraux steppiques est très critique. Le surpâturage réduit la qualité et l'extension spatiale des pérennes et empêche la floraison et la fructification des annuelles palpables et ce malgré leur grand potentiel de régénération et leur adaptation aux conditions climatiques du milieu. Cette dégradation du capital biophysique se traduit globalement par un changement de la physionomie des parcours (composition floristique et quantité de biomasse) et par l'exposition du sol à l'érosion éolienne et hydrique.

Les résultats montrent, par ailleurs, que dans les zones non pâturées, la végétation garde, malgré la succession des années de sécheresse, une bonne vigueur et maintient sa qualité biophysique intrinsèque.

En conclusion, le choix de la commune de Tissaf comme zone d'intérêt a permis de révéler une dégradation qualitative de la végétation à travers l'analyse des images satellites à haute résolution (LANDSAT) et confirme les résultats de l'approche MEDALUS. Par contre, on note que, dans notre cas particulier, les données NDVI NOAA/AVHRR et SPOT végétation n'ont pas permis de révéler ces changements sur l'échelle du bassin versant à cause de leur faible résolution spatiale mais aussi en raison de l'effet des plantes annuelles sur les valeurs moyennes du NDVI.

## CHAPITRE 6. ANALYSE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DE LA PRODUCTIVITÉ DES PARCOURS DE LA COMMUNE DE TISSAF

---

Ce chapitre présente les résultats obtenus concernant l'évaluation de la productivité technico-économique des parcours de la commune de Tissaf et l'évaluation des spécificités et des contraintes de l'élevage dans la zone. Le travail est réalisé à travers l'étude d'un échantillon aléatoire de 50 éleveurs de la commune, ce qui représente environ 5% de l'effectif des éleveurs de la zone.

### A. IMPORTANCE DE L'ÉLEVAGE AU MAROC

Au Maroc, le secteur d'élevage occupe une place importante dans l'agriculture ; l'effectif ovin est estimé à plus de 17 millions de têtes, soit le 12<sup>ème</sup> effectif ovin au monde (Srairi, 2011), ce qui fait du Maroc un pays moutonnier par excellence en plus des caprins dont l'effectif est estimé à plus de 5 millions de têtes.

L'activité d'élevage fournit 33% du total de la valeur ajoutée du secteur agricole et contribue pour 25 à 30% au PIBA, selon les résultats des campagnes agricoles (MADREF, 2002). Cependant la rentabilité du secteur de l'élevage de petits ruminants est largement liée aux ressources alimentaires des parcours. Durant les dernières années ces parcours ont subi une dégradation sévère dont les principales causes sont le surpâturage (durée de pâturage élevée et forte charge animale) et la succession des années de sécheresse avec comme répercussion des réductions sévères des effectifs de petits ruminants à l'échelle nationale.

La commune de Tissaf est un domaine pastoral par excellence, l'effectif des petits ruminants, selon les chiffres du recensement général de l'Agriculture de 1996, est de l'ordre de 71.000 têtes, principalement dominé par les ovins. Ce chiffre est moins élevé que celui de la DPA pour la campagne 2007-2008 ce qui traduit une augmentation significative des effectifs au niveau de la zone entre 1996 et 2007.

### B. OBJECTIFS ET CONTENU DE L'ANALYSE

La commune rurale de Tissaf, territoire à vocation pastorale, a connu ces dernières décennies une dégradation importante des parcours à cause de la succession de plusieurs années de sécheresse, du surpâturage, de la mise en culture des terres et de l'absence de gestion collective des terres de parcours. Ainsi le présent chapitre vise à :

1. Déterminer la contribution des parcours dans la satisfaction des besoins des petits ruminants ;
2. Dégager des systèmes de conduites adoptées par les éleveurs ;
3. Estimer la productivité des petits ruminants ;
4. Etudier la rentabilité économique des élevages de la commune ;
5. Analyser les déterminants de la productivité des élevages ;
6. Evaluer les déterminants de la dégradation des parcours.

#### 1. CONTENU DE L'ENQUETE

Les données collectées s'intéressent aux aspects suivants :



### **Données sociodémographiques de l'éleveur :**

- Identification de l'éleveur ;
- Caractéristiques de la famille de l'éleveur (taille, NMAF,..) ;
- Activités effectuées.

### **Caractéristiques de la production animale :**

- Effectifs de différentes espèces exploitées ;
- Structure du cheptel ;
- Mode de conduite alimentaire du troupeau :  
(types d'aliments, calendrier alimentaire, supplémentation... ) ;
- Mode de conduite de la reproduction (lutte, préparation des reproducteurs,..) ;
- Etat sanitaire du troupeau (vaccination, traitement,..).

## **2. METHODE D'ECHANTILLONNAGE**

Etant donné l'indisponibilité de données de base pour la réalisation d'une stratification de l'échantillon d'éleveurs à enquêter, un échantillon aléatoire et simple de 50 éleveurs a été retenu ; ceci représente 5% de la totalité des éleveurs de la zone d'étude qui est de l'ordre de 1.000 éleveurs.

L'enquête s'est déroulée entre Avril et Juin de l'année 2011 et correspond à la période pendant laquelle les éleveurs sont présents sur les pâturages de la commune et où ils sont plus disposés à participer à l'enquête car elle correspond à la saison la plus favorable du point de vue qualité de l'espace pastoral et connue par la faible mobilité des éleveurs et des troupeaux.

## **3. ANALYSE STATISTIQUE**

Pour la caractérisation des élevages de petits ruminants conduits sur les parcours de la commune, les données collectées ont concerné les variables suivantes :

### **3.1. Variables sur les données sociodémographiques de l'éleveur**

- Age des éleveurs ;
- Taille de la famille et taille active ;
- Type de gardiennage.

### **3.2. Variables liées à l'effectif du cheptel**

- Taille d'effectif ovin ;
- Taille d'effectif caprin ;
- Taille d'effectif bovin.

### **3.3. Variables liées à la dynamique spatiale de l'éleveur**

- Rayon de déplacement ;
- Durée de déplacement.

### **3.4. Variables de conduite alimentaire**

- Durée d'exploitation des parcours de la commune ;
- Durée de supplémentation ;
- Quantité de supplémentation.

### 3.5. Variables de conduite de reproduction

- Nombre de femelles (chèvres ou brebis) mises à la lutte ;
- Ratio de reproduction ovine ;
- Ratio de reproduction caprine.

### 3.6. Variables liées à la valeur du parcours

- Valeur d'achat du droit d'usage des parcours ;
- Valeur de location annuelle.

## 4. ANALYSE STATISTIQUE

Le traitement statistique, y compris les statistiques élémentaires, a été effectué moyennant le logiciel SPSS (test de corrélations, analyses en composantes principales).

## 5. ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE

Les performances économiques ont été dérivées à partir des résultats techniques (bilan fourrager, flux et mouvements des unités zootechniques, indice de transformation).

Les dépenses ont concerné les charges d'alimentation des troupeaux, les dépenses en soins vétérinaires et frais de déplacement des troupeaux. Tandis que les recettes ont concerné la vente et l'autoconsommation des différentes catégories de petits ruminants exploités.

## C. RESULTATS DE L'ANALYSE

### 1. TYPOLOGIE DES SYSTEMES D'ELEVAGE

L'étude des corrélations de l'ensemble des variables utilisées aux fins d'établir la typologie des élevages enquêtés a permis de retenir les variables suivantes :

- Age de l'éleveur (Age) ;
- Niveau d'instruction de l'éleveur (Instr) ;
- Nombre des membres actifs de la famille (Actifs) ;
- La taille du troupeau ovin (EO) ;
- La taille du troupeau caprin (EC) ;
- La taille du troupeau bovin (EB) ;
- La durée d'utilisation des parcours (DUP) ;
- Durée de déplacement du troupeau (DuDep) ;
- Distance de déplacement du troupeau (DisDep) ;
- Coût de déplacement du troupeau (CouDep).

La typologie des systèmes d'élevage a été bâtie par l'application d'une analyse en composantes principales (ACP). Chaque ligne du fichier des données correspond à un éleveur ; quant aux colonnes, chacune représente une variable sélectionnée.

Au total, dix variables quantitatives ont été retenues. Pour l'exécution de l'analyse multidimensionnelle les données des 50 éleveurs enquêtés ont été retenues. Le cheptel total touché par l'enquête est de l'ordre de 9.980 têtes dont 8.043 têtes ovines et 1.758 têtes caprines, le restant étant des bovins.

L'analyse a montré que les trois premiers axes principaux contribuent à l'explication de 68,55% de la variabilité totale.

Le premier axe principal CP1 contribue à l'explication de 32,77% de la variabilité totale ; il est formé par les variables : Durée d'utilisation des parcours (0,80), Durée de déplacement (0,60), Distance de déplacement (0,78) et Coût de déplacement (0,80). Cet axe oppose les éleveurs sédentaires aux éleveurs transhumants ou nomades.

Le deuxième axe principal CP2 explique 21,51% de la variabilité totale ; il est expliqué par les variables suivantes : Effectif Ovin (0,65), Effectif Caprin (0,36), Effectif Bovin (r=0,59) et le niveau d'instruction (0,33). Cet axe permet de différencier les élevages selon la taille de troupeau.

Le troisième axe principal CP3 contribue avec 13,91% à l'explication de la variabilité totale ; il est expliqué par l'âge de l'éleveur (0,41), le nombre des actifs de la famille (0,66). Cet axe oppose les éleveurs selon l'âge et le nombre d'actifs familiaux.

**Tableau 56 : Paramètres et définitions des trois premiers axes principaux**

Axe	Valeur Propre	Contribution	Variables actives
1	34,89	32,77	Durée utilisation parcours, Durée déplacement, Distance déplacement, Coût déplacement
2	0,59	21,51	Effectif ovin, Effectif caprin, Effectif bovin
3	17,91	13,91	Age, Nombre d'actifs familiaux

Source : Nos enquêtes et calculs

Pour réaliser les représentations graphiques des résultats de l'ACP, les deux premiers axes ont été retenus pour construire un plan orthogonal. Sur ce plan les variables actives ont été projetées en fonction de leurs coordonnées respectives. Ce plan factoriel a permis de définir les principaux systèmes d'élevage et de désigner leurs caractéristiques (annexe 7).

## 2. CARACTERISATION DES SYSTEMES D'ELEVAGE

L'analyse en composantes principales a distingué, principalement, trois systèmes d'élevage :

Un premier système (11 éleveurs) caractérisé par les meilleures performances de reproduction et de productivité des troupeaux, localisé généralement dans les zones favorables. Ce mode d'élevage utilise les ressources des parcours et l'apport de la supplémentation selon une conduite opportuniste qui permet de réaliser de bonnes performances cohérentes avec les ressources disponibles. Il s'agit d'éleveurs sédentaires ou semi-nomades dont les effectifs dépassent 200 têtes ovines.

Le deuxième système (24 éleveurs) se base essentiellement sur la supplémentation et n'utilise les parcours que durant la saison favorable lorsque les apports des parcours deviennent abondants. Il s'agit d'éleveurs sédentaires possédant généralement de faibles effectifs, qui sont les moins performants techniquement et économiquement car ne disposant pas d'une trésorerie suffisante pour pallier les besoins du cheptel durant toute l'année surtout en année de sécheresse (stratégie de dormance). En année de sécheresse, les jeunes sont généralement vendus à un âge précoce pour faire face aux dépenses de supplémentation.

Le dernier système (15 éleveurs) se situe au niveau des zones moins favorables, il se base essentiellement sur la transhumance et ne fait appel à la supplémentation que lorsque les apports des parcours deviennent très rares, essentiellement en hiver. Il s'agit d'éleveurs caractérisés par une forte mobilité mais qui sont moins performants économiquement car ne disposant pas d'une trésorerie suffisante pour pallier les besoins du cheptel en cas de sécheresse (stratégie de survie).

Les effectifs des troupeaux sont moins importants que ceux du premier groupe mais très variables en fonction des capacités techniques et des conditions climatiques.

Ces troupeaux exploitent des zones très difficiles sur les plans climatiques et pastoraux, ce qui oblige les éleveurs à augmenter le rythme de transhumance vers les parcours mieux équipés en points d'eau et à vendre les jeunes animaux à un âge précoce pour faire face aux dépenses de supplémentation et de gardiennage.

On note finalement l'existence de trois modes de conduite qui varient de l'élevage semi-nomade à grand effectif situé dans les zones de parcours généralement favorables et disposant de moyens financiers pour subvenir aux besoins d'alimentation du cheptel au petit élevage sédentaire disposant de peu de moyens financiers et moins performant économiquement.

En général, la typologie des systèmes d'élevage obtenue met en exergue l'imbrication forte entre l'espace pastoral, la taille du troupeau et les contraintes d'élevage pour chaque groupe d'éleveurs.

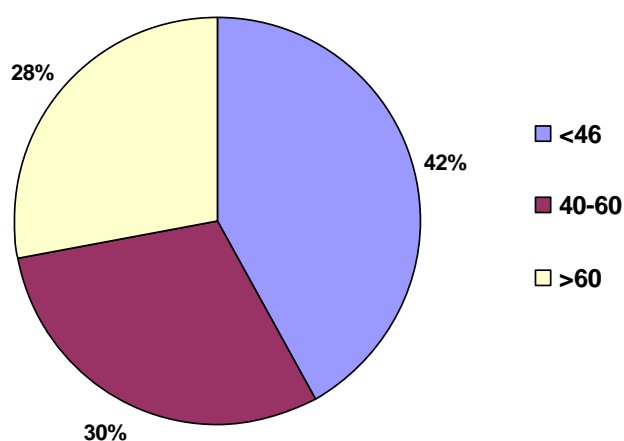
### 3. CARACTERISTIQUES SOCIO-DEMOGRAPHIQUES

#### 3.1. Age des enquêtés

La répartition des éleveurs de la commune selon les tranches d'âge montre que 50% d'entre eux dépassent 50 ans et la moyenne sur toute la zone est de 51 ans. L'âge minimum est de 25 ans et celui maximum est de 80 ans.

Selon la typologie précédente, la comparaison des âges a permis de noter que les éleveurs appartenant aux groupes II et III sont les plus âgés avec des moyennes respectives de 50,34 et 56,87 ans, alors que ceux du groupe I présentent une moyenne de 43,73 ans.

La figure ci-dessous montre que les jeunes éleveurs, dont l'âge est inférieur à 46 ans, représentent 42% des éleveurs de la commune. Ceci doit être pris en considération pour toute action ultérieure de développement du secteur d'élevage de petits ruminants en relation avec les modes de conduite des élevages et de gestion des parcours.



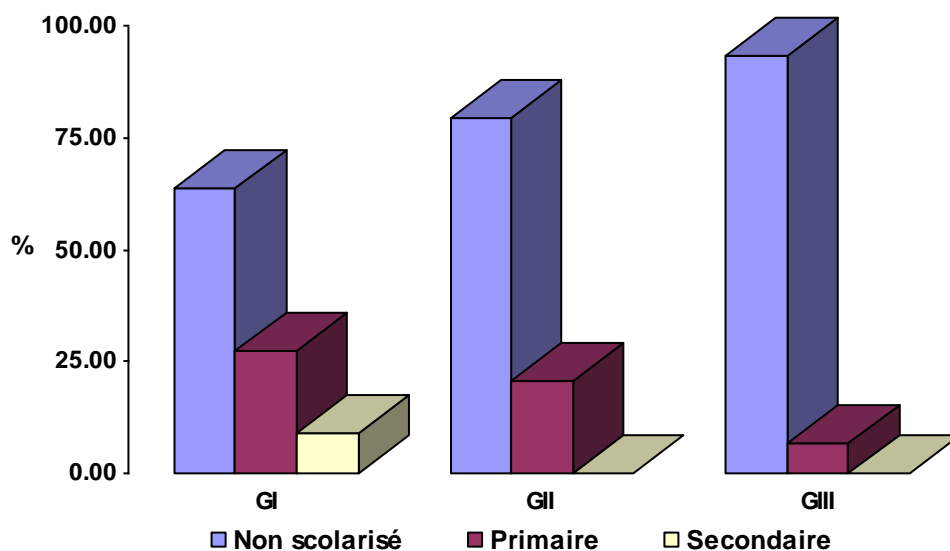
**Figure 117 : Répartition des éleveurs par classe d'âge dans la commune**

Source : Nos enquêtes

### 3.2. Niveau d'instruction

Les résultats obtenus montrent que la grande proportion, soit 80% des éleveurs enquêtés, sont des illettrés et 18% ont un niveau primaire. L'analyse par groupe montre que le taux d'analphabétisme est beaucoup plus important chez les éleveurs des groupes II et III avec des proportions respectives de 79% et 93%. En revanche pour les éleveurs du groupe I, le taux d'analphabétisme est légèrement moins important, soit 63,36%.

Il faut signaler également qu'un seul éleveur a dépassé le niveau primaire. La figure 118, illustre le niveau d'instruction par groupe d'éleveurs.



**Figure 118 : Variation des niveaux d'instruction des éleveurs par groupe**

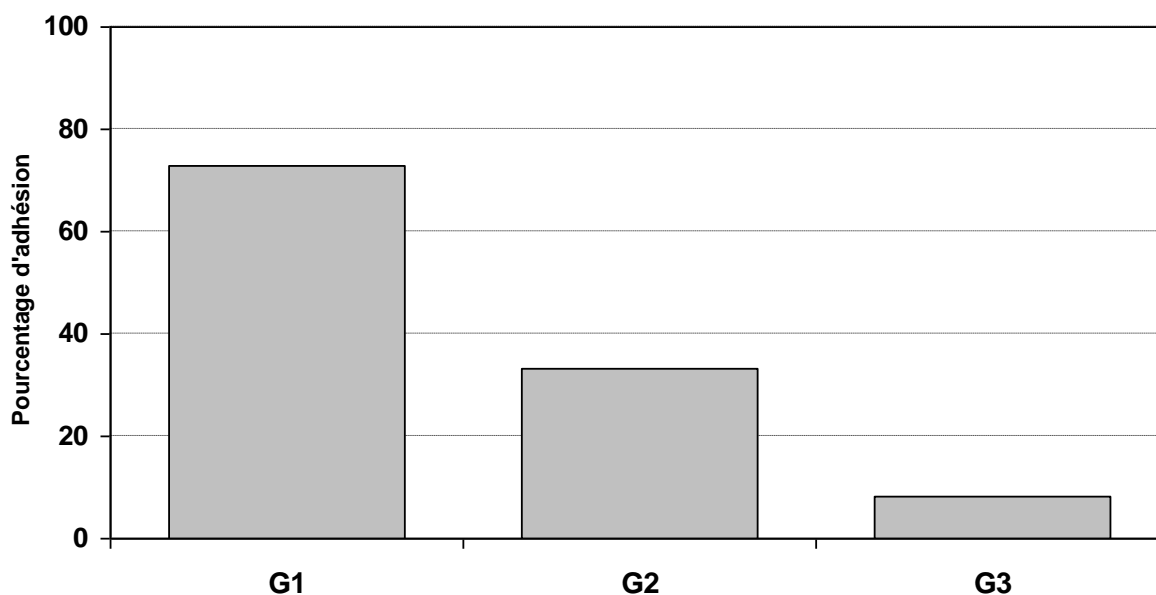
Source : Nos enquêtes

### 3.3. Niveau d'encadrement des éleveurs par l'ANOC

Le taux d'encadrement des éleveurs par l'ANOC est de 30%. Cependant une variabilité très importante apparaît entre les trois groupes d'éleveurs. En effet, ce sont seulement les éleveurs du groupe I qui bénéficient le plus de cet encadrement avec un pourcentage de 72,72%. Ce taux est respectivement seulement de 8,33% et 33,34% pour les groupes II et III.

En général, la faiblesse des effectifs d'animaux, la mobilité des éleveurs transhumants (Groupe II) ainsi que la présence des troupeaux de races hétérogènes sont les principales raisons derrière le faible niveau d'adhésion à l'ANOC. La figure suivante montre le niveau d'adhésion des éleveurs enquêtés sur toute la zone.





**Figure 119 : Taux d'adhésion des groupes d'éleveurs à l'ANOC**

Source : Nos enquêtes

### 3.4. Caractéristiques des membres actifs de la famille

Le nombre moyen des actifs de la famille est de l'ordre de 3,24 et varie d'un groupe à l'autre, il est respectivement de 2,91, 3,60 et 3,16 pour les groupes I, II et III. La proportion du sexe féminin dans les membres de la famille au niveau des trois groupes I, II et III est respectivement de 54%, 52% et 55%, ce qui montre une légère dominance des femmes dans les ménages malgré leur contribution relativement moins importante dans les activités d'élevage.

La plupart des éleveurs déclarent que leurs fils sont au chômage (54% des enquêtés) suite au manque d'opportunités de travail dans la zone, Cette situation a favorisé l'exode rural d'environ 46% des jeunes qui quittent périodiquement la commune pour chercher du travail dans les grandes agglomérations de la région de l'Oriental (Oujda et Nador).

## 4. CARACTERISTIQUES DE L'ELEVAGE

### 4.1. Importance des espèces exploitées

La répartition des effectifs d'animaux par espèce dans la commune montre que l'élevage ovin est dominant par rapport aux autres espèces ; il représente 80% de l'effectif total exploité, suivi des caprins avec un effectif de 1.758 têtes, soit 17,61%. Les bovins ne représentent que 1,8% de l'effectif total et ne sont exploités que chez 22% des éleveurs. Ceci peut être expliqué par la particularité de la zone où l'élevage pastoral ovin est dominant ; à cela s'ajoute l'exiguïté des superficies agricoles exploitées et l'absence de circuit de commercialisation du lait, destiné exclusivement à l'autoconsommation.

L'analyse des effectifs exploités par groupe d'éleveurs montre que les ovins représentent pour les trois groupes entre 82% et 78% de l'effectif exploité.

**Tableau 57 : Importance des espèces animales exploitées par groupe**

Espèce	GI		GII		GIII	
	Moyenne	CV	Moyenne	CV	Moyenne	CV
Ovine	401	43,97	129	77,01	71	71,13
Caprine	80	41,43	30	93,24	18	92,62
Bovine	9	44,24	3	105,05	1,5	114,63
<b>Total</b>	<b>490</b>	<b>29,90</b>	<b>161</b>	<b>116,22</b>	<b>90</b>	<b>68,72</b>

Source : Nos enquêtes

## 4.2. Composition des troupeaux ovins et caprins

### 4.2.1. Composition des troupeaux

L'ensemble des éleveurs enquêtés possèdent un effectif ovin. Les caprins et les bovins sont exploités respectivement par 86% et 78% des éleveurs.

Le tableau ci-dessous permet de dégager les aspects suivants sur le type d'élevages existant au niveau de la zone d'étude :

- L'association des trois ruminants (ovin, caprin et bovin) est l'élevage le plus dominant au niveau de la commune avec des proportions de 100%, 73% et 50% respectivement pour les groupes I, II et III. Autrement dit 68% de l'ensemble des enquêtés adoptent la conduite simultanée des trois espèces.
- L'élevage mixte d'ovins et caprins vient en deuxième place ; il est adopté par 18% des éleveurs de la commune, il représente 6,67% des éleveurs du groupe II et 33,34% chez les éleveurs du groupe III.
- En troisième place vient l'association d'élevage mixte ovin-bovin ; il n'est présent que chez les deux derniers groupes II et III avec des parts respectives de 13,34% et 12,5%.
- L'élevage exclusif de l'espèce ovine est présent chez deux éleveurs dans les groupes II et III, soit des parts respectives de 6,67% et 4,16%.

L'analyse globale de la composition des troupeaux d'animaux permet de constater que l'ensemble des enquêtés conduisent plus d'une espèce en vue de la valorisation de tout l'espace pastoral de la zone dont la végétation naturelle de type steppique et dominée par les formations d'Alfa (*Stipa tenacissima*) avec 70% de la superficie totale des parcours.

Par ailleurs, il est utile de signaler que les races ovines des élevages enquêtés sont dominées par la race Bni Guil, soit 84% du cheptel, en raison de sa bonne adaptation au milieu ; le reste des éleveurs possèdent des ovins de la race Bni Guil croisée à la race Ouled Djellal, d'origine algérienne (appelée localement Sefra ou Rhiembi) ou la race Ouled Jellal pure.

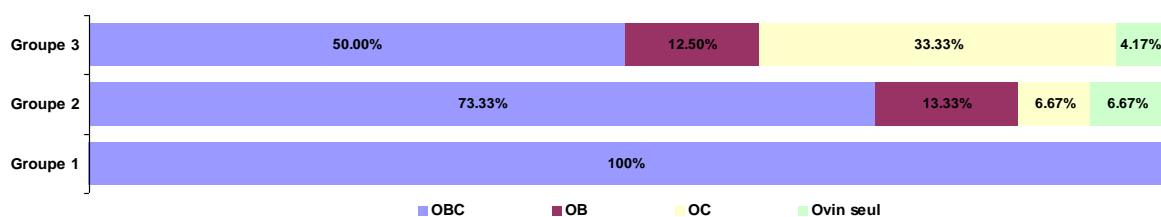
Pour l'espèce caprine la race locale, appelée Kahla, de couleur noire et à poils longs est la plus exploitée.

**Tableau 58 : Composition des troupeaux d'animaux par groupe**

Type Élevage	GI		GII		GIII	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
OBC	11	100%	11	73,33%	12	50,00%
OB	0	0%	2	13,33%	3	12,50%
OC	0	0%	1	6,67%	8	33,33%
Ovin seul	0	0%	1	6,67%	1	4,17%
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>

OBC : Ovins, bovins et caprins ; OB : Ovins et bovins ; OC : Ovins et caprins.

Source : Nos enquêtes



**Figure 120 : Composition des troupeaux d'animaux par groupe**

Source : Nos enquêtes et calculs

## 4.2.2. Structure d'âge

### 4.2.2.1. Ovins

La structure d'âge des animaux du troupeau est élaborée selon les cinq catégories retenues (agneaux ou agnelles < 12 mois, antenais, antenaises, brebis, béliers) selon le tableau ci-dessous et permet de relever les éléments suivants :

- Les brebis représentent 48,71% de l'effectif total des ovins, avec un minimum de 41% chez le groupe I, 57% et 58,4% respectivement chez les groupes II et III. Ces valeurs montrent l'intérêt qu'accordent les éleveurs à la reproduction et la reconstitution du cheptel et donnent aussi une idée sur les stratégies de vente. Le groupe I, étant constitué de grands éleveurs, préserve un effectif équilibré, alors que les éleveurs des groupes II et III possèdent des effectifs plus faibles avec un pourcentage plus élevé et plus âgé de brebis.
- L'effectif moyen des béliers est de l'ordre de 3,87%, avec une borne supérieure chez le groupe I de 5,35%. Par contre chez les groupes II et III ce pourcentage ne dépasse pas 2,30%. Ceci peut être expliqué par la vente précoce des ovins chez les groupes II et III contrairement au groupe I, constitué d'éleveurs relativement plus riches, pratiquant une vente sélective et saisonnière.
- Pour les antenais, on note un pourcentage moyen de 1,15% de l'effectif total. Cette catégorie d'animaux est destinée au marché surtout lors des fêtes religieuses.
- Pour les antenaises, elles représentent 15,61% de l'effectif total et respectivement 17,91%, 13,23% et 12,48% chez les groupes I, II et III, ce qui montre l'intérêt que portent les éleveurs au renouvellement.
- En ce qui concerne les jeunes animaux de 0 à 12 mois, ils représentent en moyenne 30,67% de l'effectif avec un maximum de 34,89% chez le groupe I, 26,93% et 24,29% respectivement chez les groupes II et III. Ces valeurs montrent l'intérêt qu'accordent les éleveurs au renouvellement du troupeau et à la reconstitution du capital productif.

**Tableau 59 : Structure d'âge des ovins pour chaque groupe**

Groupe	GI	GII	GIII
% Jeunes	34,89	26,93	24,29
% Antenais	0,59	0,54	2,94
% Antenaises	17,91	13,23	12,48
% Brebis	41,26	57,00	58,43
% Béliers	5,35	2,30	1,86
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

#### 4.2.2.2. Caprins

Le tableau n° 60 permet de constater une plus grande dominance dans tous les groupes des chèvres dans le troupeau caprin, soit une proportion moyenne de l'ordre de 73,53% par rapport à l'effectif total. Les mâles reproducteurs représentent environ 4% de l'effectif.

Les chevreaux et chevrettes de moins de 12 mois représentent 22,90% de l'effectif total caprin.

A signaler que 14% des éleveurs ne possèdent pas d'élevage caprin.

**Tableau 60 : Structure d'âge des caprins pour chaque groupe**

Groupe	GI	GII	GIII
% Jeunes	24,46	18,12	13,62
% mâles < 12 mois	0,23	0,00	2,68
% femelles < 12 mois	0,23	1,18	6,03
% Chèvres	70,24	76,47	73,88
% Boucs	4,85	4,24	3,79
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

## 5. CONDUITE DES PETITS RUMINANTS SUR PARCOURS

La commune de Tissaf est dominée par l'élevage ovin. La quasi-totalité des éleveurs de la zone possèdent un cheptel ovin se basant essentiellement sur les apports fourragers des parcours où les éleveurs adoptent un système de conduite généralement en relation avec la taille du troupeau et la mobilité.

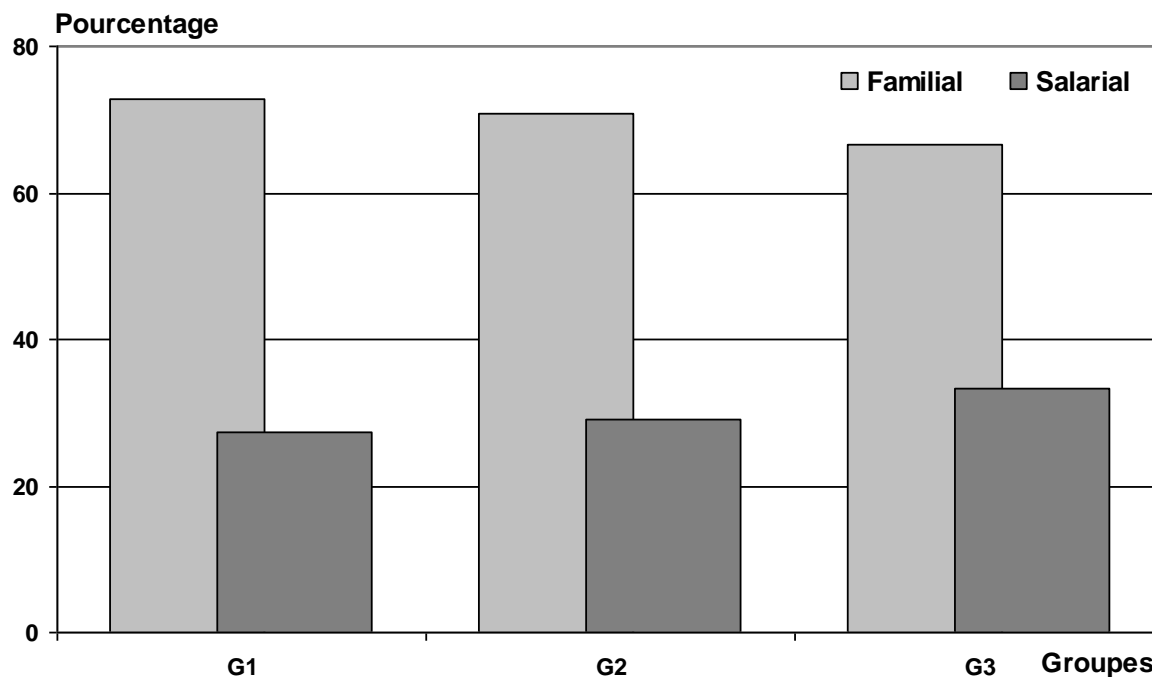
Afin de cerner ce système de conduite de l'élevage, nous avons étudié le système de conduite alimentaire du troupeau, durant la campagne agricole 2010-2011. Ceci a permis d'évaluer la contribution fourragère des parcours dans la ration alimentaire pour chaque groupe d'éleveurs.

### 5.1. Gardiennage des troupeaux

L'analyse de la figure ci-après montre l'existence de deux types de gardiennage des troupeaux : le gardiennage familial et le gardiennage salarial. Le gardiennage familial est dominant dans 70% des élevages enquêtés, il est assuré par l'éleveur lui-même ou l'un des membres de sa famille.

L'analyse par groupe montre que le gardiennage salarié est important chez les éleveurs du groupe III. Ainsi un tiers des éleveurs du groupe fait appel à la main-d'œuvre extérieure pour le gardiennage du cheptel. Ceci s'explique par l'effet de la transhumance qui nécessite le recours à la main-d'œuvre salariale pour le gardiennage du troupeau contrairement aux groupes I et II constitués de grands ou de petits éleveurs sédentaires.

Le gardiennage salarial tient une place moins importante chez les éleveurs des groupes I et II respectivement avec des proportions de 27% et 29%.



**Figure 121 : Importance des deux types de gardiennage d'animaux par groupe**

Source : Nos enquêtes et calculs

## 5.2. Etude de la conduite alimentaire

### 5.2.1. Les ressources alimentaires

Les principales ressources alimentaires des petits ruminants de la zone d'étude sont les suivantes :

- Les apports de parcours collectifs de la commune qui se caractérisent par la présence de grands espaces pastoraux collectifs (superficie parcours) ;
- Les apports de quelques exploitations dont les superficies cultivées restent faibles, essentiellement luzerne, orge et paille ;
- Les approvisionnements du marché : orge en grain, le son, la pulpe sèche de betterave, et les aliments composés.

### 5.2.2. Calendrier alimentaire des petits ruminants

#### 5.2.2.1. Parcours

Durant les deux dernières années caractérisées par la sécheresse, une surexploitation des parcours collectifs a été constatée. La durée moyenne d'exploitation des parcours collectifs de la commune est de 9 mois (septembre à mai). Cette durée élevée peut s'expliquer par l'absence de toute autre ressource fourragère au niveau de la zone (jachère ou chaumes).



### 5.2.2.2. Aliments achetés

Les achats hebdomadaires des aliments du bétail sont une pratique habituelle des éleveurs enquêtés en vue de satisfaire les besoins des animaux (même les besoins d'entretien) à cause du manque d'herbe sur les parcours suite à la succession de plusieurs années de sécheresse.

Les principaux aliments achetés sont l'orge, le son, la pulpe sèche de betterave (PSB), les aliments composés (AC) ainsi que la paille et la luzerne en plus faibles quantités.

- Le mélange orge et son : utilisé par la totalité des éleveurs enquêtés de la zone durant toutes les périodes de supplémentation, sauf que les quantités varient selon les besoins des animaux et le prix du marché.

- La pulpe sèche de betterave (PSB) : utilisée également par la totalité des enquêtés sauf deux éleveurs ; un du groupe II et l'autre du groupe III.

- Les aliments composés : 34% des éleveurs enquêtés achètent les aliments composés, mais le recours à cet aliment varie d'un groupe à l'autre, il est utilisé principalement chez les grands éleveurs (Groupe I), soit 45% de l'effectif, tandis que seulement 29% et 35% des groupes II et III l'utilisent. Cette différence peut être expliquée par le fait que les grands éleveurs sont des adhérents à l'ANOC et profitent, par conséquence, d'un meilleur encadrement technique.

- La luzerne : cet aliment est utilisé, en faible quantité, par une minorité des éleveurs, soit 24% des enquêtés. Elle est utilisée surtout par les éleveurs du groupe I disposant de superficies irriguées, soit 36% de l'effectif, alors que pour les deux autres groupes ce pourcentage est de l'ordre de 20%. La luzerne est essentiellement un produit issu de l'exploitation et n'est acheté que rarement par les éleveurs.

- La paille : 45% des éleveurs utilisent cet aliment, les quantités distribuées restent minimales comparativement à l'effectif des animaux. C'est sa disponibilité et son prix sur le marché local (souk hebdomadaire d'Outat Lhaj) qui régulent son incorporation dans les rations des petits ruminants.

La durée de supplémentation est variable selon les disponibilités alimentaires sur parcours, avec la succession de mauvaises années. Cette durée est en moyenne de 10,5 mois avec un minimum de 6 et un maximum de 12 mois.

L'analyse des calendriers alimentaires des petits ruminants permet de relever les constats suivants :

- Une surexploitation des parcours malgré leur offre pastorale limitée suite aux dernières années de sécheresse. L'Alfa (*Stipa tenacissima*) constitue la ressource pastorale qui domine la végétation des parcours de la commune, tandis que les plantes pastorales annuelles ayant une appétibilité élevée (graminées et légumineuses) demeurent rares et saisonnières.
- La supplémentation des animaux sur une longue durée.

Groupe	Ressource alimentaire	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	%
GI	Parcours	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-		100
	Paille	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		9
	Orge	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		100
	Son	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		100
	PSB*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		100
	Luzerne	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		36
	AC*		--	--										45
GII	Parcours	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-	100
	Paille	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		42
	Orge	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		100
	Son	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		100
	PSB*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		96
	Luzerne	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		20
	AC*	--	--	--										29
GIII	Parcours	--	--	--	--	--	--	--	--	-				100
	Paille	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		27
	Orge	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		100
	Son	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		100
	PSB*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		93
	Luzerne	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		20
	AC*		--	--										33

(\*) PSB : Pulpe sèche de betterave, AC : Aliments composés

**Figure 122 : Calendriers alimentaires adoptés par les éleveurs de chaque groupe**

Source : Nos enquêtes

### 5.3. Importance de la supplémentation

Etant donné l'apport limité des parcours, la totalité des éleveurs enquêtés supplémentent leurs animaux. Cependant, la non-maîtrise de la supplémentation et le manque de capital n'ont pas permis d'améliorer d'une manière significative la rentabilité de l'activité surtout au cours des stades physiologiques sensibles (lutte, fin de gestation, début de lactation). Sauf pour quelques grands éleveurs du groupe I qui bénéficient généralement d'un encadrement technique.

#### 5.3.1. Cas des ovins

- **Durant la lutte** : les apports de parcours constituent la ressource alimentaire des brebis pendant toute la période de lutte. La supplémentation des femelles durant 3 semaines avant et après la lutte ne se pratique pas par tous les éleveurs ; seulement 85% des éleveurs procèdent à cette préparation. Normalement, durant cette période, les besoins doivent être majorés par 25% par rapport aux besoins d'entretien (INRA, 1988).

Par contre la préparation des béliers à la lutte se fait par la totalité des éleveurs durant 1,5 mois, sauf que les quantités distribuées demeurent faibles : 1,2 à 1,5 kg/bélier/jour.

- **Fin de gestation et début de lactation** : seulement 68% des éleveurs pratiquent la préparation des brebis à la mise-bas, pendant une durée moyenne de deux mois à raison d'un mois avant agnelage et un mois après. La quantité distribuée en supplémentation varie de 1 kg à 1,5 kg/brebis/jour.

### 5.3.2. Cas des caprins

- **Durant la lutte** : la ressource alimentaire se limite également aux apports de parcours, aucune supplémentation n'est effectuée à ce cheptel durant cette période.

- **Fin de gestation et début de lactation** : les apports sont les mêmes que ceux des ovins puisque les éleveurs n'isolent pas les petits ruminants ; il s'agit donc d'une supplémentation commune des troupeaux.

## 6. DETERMINATION DU BILAN FOURRAGER

L'objectif de cette partie est de déterminer la contribution des différentes ressources alimentaires pour la couverture des besoins du cheptel. La démarche retenue est la suivante :

- Détermination des besoins énergétiques des petits ruminants ;
- Evaluation des apports énergétiques des quantités distribuées pour les ovins et les caprins (achats des aliments du bétail) ;
- Calcul du déficit en UF supposé être apporté par les parcours collectifs de la commune ainsi que les apports de parcours hors commune ;
- Pour cette dernière composante on procède à la pondération selon la durée de présence des éleveurs à l'intérieur de la commune et ailleurs.

L'unité zootechnique correspond à une femelle reproductrice accompagnée des animaux satellites qui lui correspondent dans le fonctionnement du troupeau (Coleau, 1972).

L'unité zootechnique est calculée par pondération des différentes catégories ovines par rapport à l'effectif des brebis à partir de la structure des troupeaux ovins et caprins pour chaque groupe d'éleveurs.

### 6.1. Cas des ovins

Le tableau ci-dessous illustre les besoins énergétiques annuels en UF de l'UZO chez les groupes d'éleveurs enquêtés.

**Tableau 61 : Besoins énergétiques annuels en UF de l'Unité Zootechnique ovine**

Catégorie	Besoins (UF)	GI		GII		GIII	
		Nombre	Besoin	Nombre	Besoin	Nombre	Besoin
Brebis	308,0	1,00	308,00	1,00	308,00	1,00	308,00
Béliers	267,0	0,09	24,03	0,05	13,35	0,07	18,69
Agneaux 6 mois	54,0	0,25	13,50	0,14	7,56	0,13	7,02
Agnelles 6 mois	59,6	0,24	14,30	0,15	8,94	0,12	7,15
Antenais 12 mois	139,0	0,03	4,17	0,08	11,12	0,01	1,39
Antenaises 12 mois	134,0	0,07	9,38	0,13	17,42	0,05	6,70
<b>Total</b>		<b>1,68</b>	<b>373,38</b>	<b>1,56</b>	<b>366,39</b>	<b>1,37</b>	<b>348,95</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Pour calculer l'apport de la supplémentation dans l'alimentation du cheptel pour chacun des trois groupes, nous avons calculé le taux d'incorporation moyen des six aliments utilisés par les éleveurs de la zone en se basant sur les quantités moyennes achetées. Les résultats montrent que l'orge représente environ 38% de la supplémentation pour l'ensemble des trois groupes, suivi du son de blé avec 26,5% et la pulpe sèche de betterave avec un taux d'incorporation de 22,5%. Les autres aliments à savoir la luzerne, la paille et les aliments composés ne dépassent généralement pas 5% de la ration.

A signaler, que le groupe I, constitué de grands éleveurs, bénéficiant de plus d'encadrement de l'ANOC, utilise moins de paille et plus d'aliments composés que les deux autres groupes, ce qui montre l'effet de l'adhésion aux structures d'encadrement sur l'amélioration des techniques d'élevage et par conséquent sur la productivité.

Le tableau ci-après résume les taux d'incorporation des six aliments pour les trois groupes d'éleveurs.

**Tableau 62 : Taux d'incorporation par groupe des aliments distribués**

Groupe	GI	GII	GIII
Orge	39,71	37,57	37,96
Son	27,40	25,18	27,36
PSB*	23,40	22,90	22,32
Paille	0,47	5,91	5,12
Luzerne	1,24	3,03	1,94
AC*	7,78	5,41	5,30
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

(\*) PSB : Pulpe sèche de betterave, AC : Aliments composés

Source : Nos enquêtes et calculs

A partir des apports énergétiques de la ration moyenne par unité zootechnique pour chaque groupe d'éleveurs calculés en utilisant les tables de référence de l'INRA (1988), nous avons restitué le bilan énergétique des ovins pour les trois groupes.

Les résultats montrent que les petits éleveurs sédentaires du groupe II, ne disposant pas de parcours de qualité, supplémentent relativement plus leurs troupeaux que les deux autres groupes des grands éleveurs et des petits éleveurs transhumants ; ainsi l'apport des parcours pour ce groupe ne dépasse pas 26%.

Par contre, les éleveurs transhumants et les grands éleveurs, profitant de la mobilité du troupeau, ne supplémentent que 50% à 55% des besoins du troupeau, le reste est prélevé directement sur les parcours.

En général, pendant l'année 2011, considérée comme année de sécheresse, la supplémentation est très importante en termes de couverture des besoins du troupeau même pour les éleveurs transhumants. Elle couvre entre 50 et 75% des besoins selon le type de conduite d'élevage au niveau de la zone.

**Tableau 63 : Bilan alimentaire des ovins par groupe**

Intitulé	GI	GII	GIII
Besoin Total (UF)	981.415,00	415.979,80	485.821,40
Apport de la supplémentation (UF)	548.116,40	308.775,12	242.261,01
Contribution des parcours (UF)	433.298,60	107.204,68	243.560,39
Taux couverture Supplémentation (%)	<b>55,85 %</b>	<b>74,23 %</b>	<b>49,87 %</b>
Taux couverture Parcours (%)	<b>44,15 %</b>	<b>25,77 %</b>	<b>50,13 %</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

## 6.2. Cas des caprins

Le tableau ci-dessous illustre les besoins énergétiques annuels en UF de l'UZC chez les groupes d'éleveurs enquêtés.

**Tableau 64 : Besoins énergétiques annuels en UF de l'Unité Zootechnique caprine**

Catégorie	Besoins (UF)	GI		GII		GIII	
		Nombre	Besoin	Nombre	Besoin	Nombre	Besoin
Chèvres	275,0	1,00	275,00	1,00	275,00	1,00	275,00
Boucs	199,0	0,07	14,02	0,11	21,80	0,05	10,63
Chevreaux 6 mois	32,8	0,15	4,88	0,13	4,42	0,07	2,42
Chevrettes 6 mois	31,2	0,17	5,34	0,13	4,01	0,09	2,96
Chevreaux 12 mois	99,8	0,01	1,21	0,00	0,00	0,04	4,41
Chevrettes 12 mois	95,4	0,01	1,16	0,03	2,39	0,10	2,96
<b>Total</b>		<b>1,41</b>	<b>301,60</b>	<b>1,40</b>	<b>307,61</b>	<b>1,37</b>	<b>305,01</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

**Tableau 65 : Bilan alimentaire des caprins par groupe**

Intitulé	GI	GII	GIII
Besoin Total (UF)	176.513,00	84.575,00	89.152,00
Apport de la supplémentation (UF)	98.551,95	68.210,80	51.996,39
Contribution des parcours (UF)	77.961,05	16.364,20	37.155,61
Taux couverture Supplémentation (%)	<b>56 %</b>	<b>81 %</b>	<b>44 %</b>
Taux couverture Parcours (%)	<b>44 %</b>	<b>19 %</b>	<b>42 %</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

L'analyse des deux tableaux du bilan alimentaire permet de conclure ce qui suit :

- La couverture des besoins des petits ruminants chez l'ensemble des éleveurs enquêtés est assurée principalement par les apports de suppléments (50% à 60% des besoins), en raison de l'état dégradé des parcours. Ceci a incité les éleveurs à réduire les effectifs du cheptel en procédant à des ventes importantes d'animaux en vue d'assurer le maintien du reste du cheptel productif.
- La part des unités fourragères provenant des parcours dans l'alimentation des troupeaux est différente entre les différents modes de conduite des élevages au



niveau de la zone. Ainsi, on note que pour les petits éleveurs sédentaires (groupe II), cette part ne dépasse pas 26% pour les ovins et 20% pour les caprins, le reste des besoins du troupeau est assuré par la supplémentation. Par contre, pour les grands éleveurs semi-nomades ou sédentaires et les petits éleveurs transhumants, l'apport des parcours est plus ou moins équilibré par rapport à la supplémentation.

## **7. ABREUVEMENT DES ANIMAUX**

L'abreuvement des animaux sur les parcours de Tissaf est assuré principalement par les citernes, les puits et saisonnièrement par les cours d'eau intermittents présents dans la commune. Certains éleveurs situés dans les zones enclavées déclarent que l'eau est la principale contrainte de développement de leur élevage, ils procèdent soit à l'achat de l'eau (sédentaires) moyennant des citernes, soit ils préfèrent déplacer le troupeau vers les lieux d'abreuvement (barrages collinaires et puits). Les ressources en eau superficielles dans la zone restent très limitées et irrégulières.

## **8. CONDUITE DE LA REPRODUCTION**

### **8.1. Paramètres de reproduction**

Au niveau de toute la commune de Tissaf domine un système de conduite traditionnel des élevages ; on note ainsi la présence continue des mâles avec le reste du troupeau ce qui se traduit par un étalement des naissances sur plusieurs mois de l'année, une accélération du rythme reproductif et un étalement relatif des ventes sur l'ensemble des mois de l'année.

Pour caractériser le système de conduite de l'élevage au niveau de la zone, les performances de reproduction, à travers les taux suivants ont été étudiées : taux de fertilité, taux de prolificité, taux d'avortement, taux de productivité numérique, taux de réforme, taux de renouvellement et le taux de mortalité.

#### **8.1.1. Cas des ovins**

##### **8.1.1.1. Lutte et période d'agnelage**

La période de lutte n'est pas limitée dans la saison. La présence permanente des béliers avec le troupeau permet des agnelages fréquents en fin d'année (novembre et décembre).

Par ailleurs, certains éleveurs affirment que des naissances peuvent avoir lieu entre avril et mai issues des luttes entre Septembre et Octobre. Ce ne sont donc que des agnelages de deuxième période chez certaines brebis ayant déjà agnelé en septembre et qui donnent des deuxièmes naissances.

Les résultats obtenus permettent de conclure ce qui suit :

- 30% des agnelages ont eu lieu durant la période de Septembre-Novembre (agnelage d'automne). Ils permettent d'avoir des agneaux dits « Bekri » ou précoces, très appréciés par les éleveurs puisqu'ils profitent de l'offre alimentaire des parcours durant le printemps et se vendent mieux étant donné qu'ils arrivent très tôt sur le marché.
- Le pic des agnelages a lieu durant l'hiver avec une proportion de 62% chez tous les enquêtés. Ces agnelages coïncident avec des périodes de froid et donc des risques élevés de mortalités, mais profitent de la bonne qualité de la végétation durant le printemps dès l'âge de trois mois.

- L'agnelage de printemps (mars-mai) : le minimum des naissances a lieu durant cette période, le taux de naissance enregistré est de 10%. D'après les déclarations des enquêtés ce sont les naissances les plus difficiles à conduire à cause de la rareté et de la mauvaise qualité de la végétation pastorale durant l'été.

Cette répartition des agnelages au cours de l'année est confirmée par les travaux de El Garmāï (1989) qui note que les éleveurs au niveau de l'Oriental distinguent trois périodes d'agnelage : « Bekri » ou précoce, « Chtoul » ou hivernal et « Rabî ou Mazouzi » ou printanier.

#### **8.1.1.2. Age au premier agnelage**

L'âge moyen au premier agnelage est variable. Il se situe pour les éleveurs de la commune entre 8 et 24 mois avec une valeur moyenne de l'ordre de 17 mois. Ce paramètre diffère significativement entre les deux premiers groupes puisqu'il est respectivement de 18, 19 mois par rapport à celui du groupe III qui de l'ordre de 14 mois. Dans ce sens, il paraît que la précocité de l'âge d'agnelage chez les éleveurs du groupe III, est plutôt liée au mode de conduite de l'élevage. L'élevage transhumant et extensif sur le parcours avec une faible supplémentation permettrait plus de contact et de mobilité du cheptel et est donc plus favorable à une précocité de l'âge du premier agnelage.

#### **8.1.1.3. Taux de fertilité**

Il est défini comme étant le nombre de femelles gestantes par rapport au nombre de femelles mises à la lutte. Ce taux est un bon indicateur de la réussite de la saillie et traduit aussi l'aptitude des femelles à donner ou non des naissances.

Le taux de fertilité moyen est de 71%. Il ne diffère pas d'un groupe à l'autre avec 72%, 70% et 71% respectivement pour les groupes I, II et III. Ce taux implique que 30% des brebis n'ont pas agnelé en raison probablement de la malnutrition durant la période de lutte et/ou le début de gestation. Ce résultat reste insatisfaisant si on tient compte du potentiel de la race Bni Guil, en se référant aux valeurs obtenues par d'autres études qui donnent des taux de fertilité entre 86 et 91% (Caidi, 1995 ; El Ghazi, 2003 ; El Fadili, 2009) mais peut être satisfaisant si on tient compte des conditions de sécheresse de l'année 2011.

#### **8.1.1.4. Taux de prolificité**

Le taux de prolificité est défini comme étant le rapport entre le nombre d'agneaux nés sur le nombre de brebis ayant agnelé. Il est de 1 chez l'ensemble des éleveurs enquêtés. Comparé aux résultats des autres études, ce taux est similaire à celui rapporté par Caidi (1995) et légèrement inférieur à celui rapporté par Achbani (1997), El Ghazi (2003) et Ibnelbachyr et al. (2009) qui sont respectivement 1,025, 1,048 et 1,020.

#### **8.1.1.5. Taux de productivité numérique**

Il exprime le nombre d'agneaux ou agnelles sevrés par brebis mise à la lutte par an. Ceci traduit le niveau de fertilité et le taux de mortalité des produits. Il est en moyenne de 90% chez tous les élevages étudiés. Les taux enregistrés consécutivement pour les groupes I, II et III sont 94%, 84% et 83%. On note que les grands éleveurs du groupe I présentent des taux de prolificité numérique plus élevés par rapport aux éleveurs des deux autres groupes possédant des effectifs moins importants. Ceci peut être expliqué par le taux de mortalité des produits et les avortements pour les groupes II et III constitués de petits éleveurs qui se basent plus sur les apports des parcours ou ne maîtrisant pas la supplémentation.

La comparaison de ce taux avec celui obtenu par d'autres études montre que celui-ci reste bien supérieur à celui rapporté par Caidi (1995) qui est de 73,1% et similaire à celui enregistré par Achbani (1997) dans l'Oriental, soit 89%.

#### **8.1.1.6. Taux de réforme**

Le taux de réforme enregistré chez les éleveurs de la commune est de l'ordre de 15%. Il nous renseigne sur l'importance des brebis vendues ou autoconsommées par rapport à celles mises à la lutte. Les valeurs enregistrées pour chaque catégorie d'éleveurs sont 13%, 26%, 18% respectivement pour les trois groupes d'éleveurs I, II, III.

Ce taux de réforme, relativement plus élevé chez le groupe II (petits éleveurs sédentaires), peut être interprété par l'effet du manque de trésorerie pendant l'année de sécheresse plutôt que par les stratégies d'amélioration de la productivité. En effet, pour sauvegarder un effectif minimal du cheptel productif, les éleveurs sédentaires, ne disposant pas d'argent liquide, procèdent à la vente précoce des brebis jugées relativement moins productives pour financer l'achat des aliments du bétail pour les besoins du reste du cheptel, quitte à sanctionner l'appareil de production de l'année à venir.

#### **8.1.1.7. Taux de renouvellement**

Le taux moyen de renouvellement est de 5,7%, il est même nul chez quelques petits éleveurs. Ceci peut être attribué, comme pour le taux de réforme, à la vente massive des antenaises pour financer l'achat des aliments du bétail et maintenir un minimum de cheptel productif en année de sécheresse.

Cette stratégie des éleveurs se traduit par un vieillissement du cheptel et la pénalisation de la productivité des élevages. Ces taux de renouvellement et de réforme, surtout pour les petits éleveurs sédentaires, impliquent une dégradation du capital productif et l'augmentation de la vulnérabilité de leur activité d'élevage.

Les résultats par groupe montrent que pour le groupe I, constitué de grands éleveurs, ce taux est plus élevé, soit 8,24% alors qu'il est respectivement pour les groupes II et III de l'ordre de 4,25 et 5,38%.

El Ghazi (2003), Caidi (1995) et El Garmai (1989) ont rapporté que les taux de renouvellement optimaux sont respectivement de l'ordre de 22,81%, 13,6% et 16%.

A travers les résultats obtenus on peut noter que pendant les années de sécheresse, les éleveurs les plus vulnérables ne diminuent pas seulement l'effectif du cheptel mais ils procèdent également à une restructuration du cheptel en vendant les catégories d'animaux les plus appréciées par le marché, tout en gardant des catégories les moins valorisées par celui-ci.

#### **8.1.1.8. Taux de mortalité**

C'est le rapport entre les agneaux morts ou avortés par rapport au nombre de brebis gestantes. Ce taux est de 14% pour l'ensemble des enquêtés. La valeur maximale est enregistrée chez les éleveurs des groupes II et III avec un pourcentage de 16% et 17% par contre pour le groupe I ce taux est de 6% (inversement proportionnel à la taille du troupeau).

Les mortalités durant la période naissance-sevrage représentent 90,35% des mortalités dont 43,5% sont des mortinatalités ou mortalités à la naissance. Par contre les mortalités après sevrage demeurent faibles avec un pourcentage de 9,65%.

Pour les mortalités des adultes (brebis et béliers), le taux de mortalité ne varie pas significativement d'un groupe à l'autre, il est en moyenne de l'ordre de 2% pour l'ensemble de l'échantillon étudié et respectivement de l'ordre de 1,76, 1,85 et 2,3% pour les groupes I, II et III.

Les causes déclarées par les éleveurs sont d'ordre hygiénique (maladies) et climatique (froid) surtout au cours de la période de décembre à janvier durant laquelle le pic des agnelages est enregistré.

**Tableau 66 : Performances de reproduction ovine par groupe d'éleveurs**

Groupe	TF	TPN	Taux de mortalité		
			NS	AS	Adultes
Groupe I	72,31	93,65	5,85	0,50	1,76
Groupe II	69,84	84,17	14,32	1,51	1,85
Groupe III	71,16	83,14	15,26	1,60	2,3
<b>Moyenne</b>	<b>70,78</b>	<b>89,75</b>	<b>12,74</b>	<b>1,31</b>	<b>2,02</b>

TF : Taux de fertilité (%) ; TPN : Taux de productivité numérique (%) ; NS : Naissance-Sevrage ; AS : Après Sevrage.  
Source : Nos enquêtes et calculs

## 8.1.2. Cas des caprins

### 8.1.2.1. Lutte et périodes de chevrotage

Comme pour le cas des ovins, l'étalement des chevrotages sur une longue partie de l'année est la conséquence directe de la présence quasi-permanente des boucs dans les troupeaux. Le sex ratio moyen adopté par les éleveurs de la région est de l'ordre de 22 chèvres/bouc.

Ce ratio chèvres/boucs reste un ratio apparent car 24% des éleveurs enquêtés procèdent à l'emprunt des reproducteurs chez les voisins ce qui augmente les risques de consanguinité des élevages dans la zone.

L'analyse de l'évolution des naissances au cours de l'année montre l'existence de deux grandes périodes de chevrotage : une période précoce s'étalant d'octobre à février avec un pic entre décembre et janvier avec 70% des naissances, qui coïncide avec la période du froid, et une deuxième période, dite tardive ou printanière, qui va d'avril à juin et concerne environ 13% des naissances.

### 8.1.2.2. Age du premier chevrotage

L'âge moyen au premier chevrotage chez les éleveurs enquêtés est de 14,5 mois. Cependant, ce paramètre de reproduction est difficile à cerner avec précision car il varie de 7 à 24 mois entre les élevages, soit un coefficient de variation de l'ordre de 30% entre les élevages enquêtés.

### 8.1.2.3. Taux de fertilité

Le taux moyen de fertilité des caprins dans la commune de Tissaf est de 61,68%. Le taux de fertilité le plus élevé (75,15%) est enregistré chez les petits éleveurs transhumants du groupe III, alors que pour les deux groupes I et II il ne présente pas une grande différence et ne dépasse pas 57,50%. Ce taux, surtout pour les deux premiers groupes, reste loin du potentiel reproductif des caprins en raison de la faible supplémentation des chèvres en élevage sédentaire ce qui traduit les taux d'avortement déclarés par les éleveurs.

L'espèce caprine, mieux adaptée à l'élevage extensif sur parcours, paraît donc mieux valoriser les parcours à faible productivité que l'élevage ovin. La conduite des caprins en élevage sédentaire, avec une faible supplémentation sanctionne les performances des animaux, surtout lorsqu'il est économiquement moins rentable en termes de valorisation de l'apport alimentaire de la supplémentation que pour les ovins.

#### **8.1.2.4. Taux de prolificité**

Le taux de prolificité moyen obtenu est de 1,18. Il ne diffère pas d'un groupe à l'autre.

#### **8.1.2.5. Taux de productivité numérique**

Le taux moyen de productivité numérique est de 37,39%, avec une grande hétérogénéité intergroupe. Un maximum a été enregistré au niveau du groupe I (39,40%) et un minimum (35,09%) chez le groupe III. Ces différences peuvent être expliquées par l'attention que les éleveurs donnent aux chevreaux après la naissance. En effet, il semble pour le groupe III, constitué d'éleveurs transhumants, que ce sont les mortalités des jeunes qui sont la cause de la chute des performances en raison du froid et du manque d'apport de supplémentation en hiver. Ainsi, malgré un taux de fertilité de l'ordre de 75%, les mortalités des jeunes sont très élevées et sont de l'ordre de 32,34% des naissances. Alors que pour les grands éleveurs pratiquant la supplémentation, le taux de mortalité est de l'ordre de 13,42%. Par contre, et pour ces mêmes éleveurs, c'est le taux de fertilité, plus faible, qui diminue la productivité (57,45%).

Le taux de productivité numérique enregistré dans la zone reste faible par rapport aux performances enregistrées dans la région qui varient entre 50,2 et 61,12% (Caidi, 1995 et El Yassenasni, 1999).

#### **8.1.2.6. Taux de réforme**

Le pourcentage de chèvres réformées dans les élevages enquêtés est de 13,10%, il est relativement inférieur à la norme recommandée en élevage extensif, soit 1/6 de l'effectif (El Yassenasni, 1999). Cette valeur varie de 11,32% pour le groupe I à respectivement 15,17% et 14,62% pour les groupes II et III. Ce sont donc les petits éleveurs qui réforment le plus grand pourcentage de chèvres par rapport aux grands éleveurs. L'âge moyen de réforme est de 7,5 ans chez l'ensemble de l'échantillon enquêté.

#### **8.1.2.7. Taux de renouvellement**

Un très faible taux de renouvellement (0,5%) caractérise l'élevage caprin de la commune étudiée avec une valeur nulle au niveau du groupe III et un maximum de 0,7% chez le groupe I. Ceci renforce davantage le constat énoncé plus haut concernant la réduction sévère des effectifs caprins durant l'année de sécheresse. L'écart enregistré entre le taux de réforme et le taux de renouvellement donne une idée précise sur la décapitalisation de l'élevage caprin au niveau de la zone.

#### **8.1.2.8. Taux de mortalité**

Le taux de mortalité des chevreaux est calculé sur la base du rapport entre les chevreaux morts ou avortés par rapport au nombre de chèvres gestantes.

Ce taux est en moyenne de 18,58% pour tous les troupeaux caprins, les valeurs enregistrées pour les groupes I, II et III sont respectivement de 13,42%, 27,28% et 22,72%. Concernant la distribution des mortalités selon les âges, on note que :



- Les mortalités naissance-sevrage représentent 76,88% des mortalités totales dont 42,50% considérées comme des mortinatalités ou des mortalités durant les premiers 10 jours de naissance. Ces mortalités sont liées essentiellement à l'état de santé des chèvres gestantes pendant la période d'hiver (froid et manque de pâturage).
- Le reste des mortalités, soit 23,13%, est enregistré en post-sevrage. Ce taux reste relativement élevé et causé principalement par la mauvaise conduite technique des produits sevrés.
- Les mortalités des adultes (chèvres et boucs) ne dépassent pas 3%. Le tableau ci-après résume les performances de reproduction caprine des trois groupes.

**Tableau 67 : Performances de reproduction caprine par groupe d'éleveurs**

Groupe	TF	TPN	Taux de mortalité		
			NS	AS	Adultes
Groupe I	57,45	39,40	9,93	3,49	1,56
Groupe II	57,02	35,67	21,02	6,25	3,19
Groupe III	75,15	35,09	21,06	1,67	2,56
<b>Moyenne</b>	<b>61,68</b>	<b>37,39</b>	<b>14,29</b>	<b>4,30</b>	<b>3,01</b>

TF : Taux de fertilité (%); TPN : Taux de productivité numérique (%); NS : Naissance-Sevrage; AS : Après Sevrage.

Source : Nos enquêtes et calculs

## 9. EVOLUTION ANNUELLE DES EFFECTIFS

Les résultats obtenus concernant l'évolution des effectifs entre les campagnes 2008/2009 et 2010/2011, sachant que la campagne 2008/2009 est jugée favorable et que les deux autres campagnes suivantes sont considérées comme défavorables (sécheresse), montrent une réduction de l'effectif ovin et caprin et illustrent bien l'impact négatif de la sécheresse sur le patrimoine des éleveurs de la zone.

Ainsi, pour les ovins, la diminution moyenne de l'effectif dans la zone est de l'ordre de 44% sur deux campagnes agricoles, ce qui implique une décapitalisation de l'élevage ovin de l'ordre de 22% annuellement. Néanmoins, cette réduction du cheptel ovin n'est pas uniforme entre les groupes, elle est respectivement de 30%, 53% et 38% pour les groupes I, II et III.

Pour les groupes I et III des grands éleveurs semi-nomades ou sédentaires et des éleveurs transhumants, cette réduction est moins importante, soit respectivement 30 et 38%. Tandis que pour le groupe II, formé de petits éleveurs sédentaires, la diminution de l'effectif du cheptel est de l'ordre de 53% sur les deux dernières campagnes agricoles; ceci traduit l'effet de la charge de la supplémentation sur les stratégies de maintien du cheptel ovin.

Concernant les caprins, on note que les diminutions des effectifs vont dans le sens inverse de la taille du cheptel. En effet, les réductions les plus élevées sont enregistrées chez les éleveurs des groupes II et III (petits éleveurs sédentaires et transhumants) avec des taux de l'ordre de 63% et 62% respectivement. Alors que pour les grands éleveurs semi-nomades ou sédentaires ce taux est de l'ordre de 45%. Ceci peut être expliqué par deux éléments importants à savoir :

- Pour les petits éleveurs (GII et GIII), l'effectif caprin constitue un placement traditionnel et une source de financement alternative de l'élevage ovin pendant les années de sécheresse. Les petits éleveurs ont, en effet, tendance à vendre plus facilement les caprins que les ovins étant donné leur faible productivité.

- Pour les grands éleveurs sédentaires ou semi-nomades du groupe I, l'effectif caprin a diminué moins rapidement que les deux autres groupes, soit 45%. Ceci peut être attribué à la relative « richesse » des grands éleveurs, pour lesquels le rythme de décapitalisation de l'élevage est en général moins élevé que celui des autres groupes (effet de la taille du troupeau).

Ces différences de comportement des éleveurs vis-à-vis de la réduction des effectifs des ovins et caprins sont dues essentiellement à la rentabilité économique de l'élevage ovin et à la vocation naturelle de la zone pour cet élevage. Dans ce sens, le cheptel caprin constitue une alternative de financement de l'élevage ovin en année de sécheresse.

Le niveau de richesse et l'impact de la supplémentation dans le coût de la ration alimentaire en relation avec le mode de conduite (sédentaires/transhumants) semblent être les facteurs qui expliquent cette diminution de l'effectif du cheptel, sachant que la décapitalisation de l'élevage ne se fait pas seulement à travers la réduction des effectifs, mais aussi à travers la diminution de qualité du cheptel en termes de valeur zootechnique (% des différentes catégories d'animaux).

## 10. PRODUCTIVITE PONDERALE DE L'UNITE ZOOTECHNIQUE

La productivité pondérale du troupeau est exprimée en kilogramme de poids vif par unité zootechnique et par année.

### 10.1. Cas des ovins

Pour le calcul de productivité pondérale de l'unité zootechnique ovine on s'est basé sur le poids moyen des agneaux, agnelles, antenais et antenaises à l'âge moyen de vente et le poids moyen des brebis et des béliers de réforme à l'âge de vente. Le tableau suivant illustre la productivité pondérale annuelle brute de l'UZO par groupe d'éleveurs.

**Tableau 68 : Productivité pondérale brute de l'UZ ovine par groupe**

Catégorie	PVM (kg)	GI		GII		GIII	
		UZ	PVM	UZ	PVM	UZ	PVM
Brebis de réforme	45	0,129	5,79	0,262	11,77	0,181	8,15
Béliers de réforme	60	0,013	0,78	0,017	1,00	0,020	1,17
Agneaux 6 mois	25	0,095	2,39	0,219	5,49	0,181	4,53
Agnelles 6 mois	22	0,099	2,18	0,211	4,64	0,159	3,51
Antenais 12 mois	34	0,230	7,83	0,114	3,88	0,103	3,50
Antenaises 12 mois	32	0,158	5,07	0,040	1,26	0,076	2,43
<b>Productivité brute</b>			<b>24,03</b>		<b>28,04</b>		<b>23,30</b>

PVM : Poids moyen à la vente

Source : Nos enquêtes et calculs

L'analyse des résultats bruts obtenus permet de constater que la productivité pondérale de l'UZ ovine varie significativement entre les éleveurs sédentaires du groupe II et les groupes I et III relatifs aux grands éleveurs et aux éleveurs transhumants. Les valeurs calculées sont de l'ordre de 23 à 24 kg PV respectivement pour les groupes I et III et de 28 kg PV pour le groupe II. La valeur moyenne est de l'ordre de 25,74 kg PV.

Vu l'importance des ventes relatives à la diminution des effectifs pour les trois groupes et considérant les conditions de sécheresse de la campagne agricole 2010-2011, la productivité pondérale brute moyenne de l'unité zootechnique est de 25,74 kg PV. Elle est

élevée par rapport à la valeur moyenne de la région qui est de l'ordre de 20 kg PV/UZO (Caidi, 1995).

En effet, on note que les éleveurs de la zone, compte tenu des conditions de sécheresse de la campagne agricole, n'ont pas procédé au remplacement des ventes du cheptel réformé par son renouvellement par un nouvel effectif à partir des jeunes adultes. Ceci a certes permis aux éleveurs, sachant leur manque de trésorerie, de financer la supplémentation en aliments pour le reste du cheptel productif en se basant sur la diminution du capital (diminution des effectifs les moins rentables) mais a biaisé le calcul de la productivité de l'unité zootechnique ovine compte tenu de la vente exceptionnelle relative à cette diminution conjoncturelle des effectifs.

Ainsi, et en se référant aux écarts enregistrés entre le taux de réforme et celui de renouvellement, il est possible de calculer le taux de productivité réelle en supposant un taux de réforme fictif égal à celui de renouvellement en vue de maintenir le capital productif au même niveau. Ceci permet de ne pas tenir compte de la vente exceptionnelle des brebis et béliers réformés dans le calcul de la productivité pondérale de l'unité zootechnique ovine.

**Tableau 69 : Productivité pondérale nette de l'UZ ovine par groupe**

Catégorie	PVM (kg)	GI		GII		GIII	
		UZ	PVM	UZ	PVM	UZ	PVM
Brebis de réforme	45	0,082	3,71	0,042	1,90	0,054	2,41
Béliers de réforme	60	0,008	0,46	0,002	0,11	0,006	0,35
Agneaux 6 mois	25	0,095	2,39	0,219	5,49	0,181	4,53
Agnelles 6 mois	22	0,099	2,18	0,211	4,64	0,159	3,51
Antenais 12 mois	34	0,230	7,83	0,114	3,88	0,103	3,50
Antenaises 12 mois	32	0,158	5,07	0,040	1,26	0,076	2,43
<b>Productivité nette</b>			<b>21,63</b>		<b>17,27</b>		<b>16,73</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

La productivité pondérale de l'unité zootechnique corrigée donne des valeurs respectives pour les groupes I, II et III de l'ordre de 21,63, 17,27 et 16,73 kg PV. Ceci montre que les grands éleveurs ont une productivité technique plus élevée que les petits éleveurs sédentaires ou transhumants dont la valeur ne dépasse pas 17,3 kg PV. Ceci peut s'expliquer par la non satisfaction des besoins alimentaires du cheptel des deux derniers groupes.

En effet, malgré les apports en supplémentation relativement plus élevés pour les éleveurs sédentaires du groupe II, les apports des parcours restent très limités et ne permettent pas de combler le déficit alimentaire évalué à 20%. Alors que pour les éleveurs du groupe III, constitué de transhumants, l'apport de supplémentation ne se fait pas de manière systématique et ne permet donc que de maintenir l'effectif par des apports d'appoint, il est loin de combler le manque engendré par la faiblesse de l'apport des parcours durant l'année, ce qui pénalise les performances de productivité.

Par contre, pour le groupe I, constitué de grands éleveurs, l'apport de supplémentation permet une bonne couverture des besoins des animaux et favorise la productivité et les performances des animaux. Les éleveurs du groupe I semblent mieux maîtriser la supplémentation et ne semblent pas être sévèrement soumis au manque de trésorerie ce qui leur permet de subvenir aux besoins d'alimentation du bétail et garder les niveaux de

performances zootechniques plus élevées que la moyenne de la zone (20 kg PV/an) et ce, malgré la conjoncture climatique défavorable.

Il est utile de noter que dans notre cas, les éleveurs ne sont pas distingués en fonction du nombre d'animaux détenus mais par leur capacité à subvenir aux besoins de leur cheptel par l'apport de la supplémentation nécessaire. Ceci, signifie la possibilité pour l'éleveur de mobiliser des fonds propres pour l'achat de la supplémentation sur le marché en vue de maintenir les niveaux de productivité du cheptel sans procéder ni à la diminution de l'effectif ni à la diminution des rations alimentaires à distribuer aux animaux. En réalité, les éleveurs qui disposent d'un capital propre satisfaisant cherchent à optimiser l'effectif du cheptel pour bénéficier au maximum des externalités liées à l'utilisation du parcours collectif tout en préservant les possibilités et les moyens pour procéder à l'achat de la supplémentation nécessaire en cas d'année de sécheresse (optimisation des effectifs en tenant compte du risque climatique).

En réalité les petits éleveurs, par manque de trésorerie, visent à maintenir un effectif minimal de cheptel en utilisant les fonds provenant des ventes d'une partie du cheptel jugé moins productif ou dont la valeur marchande est plus intéressante. La supplémentation minimale issue de ces ventes ne permet pas de maintenir la productivité à des niveaux optimaux en relation avec le potentiel génétique de la race Bni Guil en raison de la non maîtrise de l'évolution à moyen terme des coûts de production en relation avec la qualité des parcours (stratégie de survie minimale) et les fonds disponibles ou mobilisables.

## 10.2. Cas des caprins

Pour le calcul de productivité pondérale de l'unité zootechnique caprine on s'est basé sur le poids moyen des chevreaux et des chevrettes de 6 et 12 mois à l'âge moyen de vente et le poids moyen des chèvres et des boucs de réforme à l'âge de vente. Le tableau suivant détaille la productivité pondérale brute annuelle de l'UZ caprine par groupe d'éleveurs.

**Tableau 70 : Productivité pondérale brute de l'UZ caprine par groupe**

Catégorie	PVM (kg)	GI		GII		GIII	
		UZ	PVM	UZ	PVM	UZ	PVM
Chèvres de réforme	24	0,114	2,74	0,151	3,62	0,145	3,48
Boucs de réforme	32	0,008	0,26	0,009	0,30	0,009	0,29
Chevreaux 6 mois	15	0,080	1,20	0,074	1,11	0,145	2,18
Chevrettes 6 mois	13	0,080	1,04	0,046	0,60	0,166	2,16
Chevreaux 12 mois	19	0,159	3,02	0,129	2,46	0,142	2,70
Chevrettes 12 mois	16	0,156	2,49	0,160	2,56	0,130	2,08
<b>Productivité brute</b>			<b>10,75</b>		<b>10,64</b>		<b>12,88</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Les résultats bruts obtenus montrent que la productivité pondérale de l'UZ caprine varie significativement entre les éleveurs des groupes I et II et le groupe III, constitué de petits éleveurs transhumants. Les valeurs enregistrées sont de l'ordre de 10,75 et 10,64 kg PV/an respectivement pour les groupes I et II et 12,88 kg PV pour le groupe III. La valeur moyenne est de l'ordre de 11,42 kg PV.

L'examen de ces résultats permet de constater que ce sont les petits éleveurs transhumants qui réalisent les productivités pondérales les plus élevées de la zone. Ceci peut être expliqué

par un taux de fertilité plus élevé chez le groupe III (75% contre 57% pour les 2 autres groupes). Mais ces performances de fertilité ont été réduites par un taux de mortalité des chevreaux relativement plus élevé que celui du groupe I (23% contre 11%).

Il paraît, pour le groupe III constitué de petits éleveurs transhumants, que l'apport des parcours et la mobilité du cheptel caprin permettent une meilleure couverture des besoins des animaux et favorisent les performances contrairement aux groupes sédentaires ou semi-nomades pour lesquels les apports en supplémentation et le manque de mobilité semblent avoir sévèrement diminué les niveaux de productivité.

Comme pour les ovins, et en se référant aux écarts enregistrés entre le taux de réforme et celui de renouvellement, il est possible de calculer le taux de productivité réelle en supposant un taux de réforme fictif égal à celui du renouvellement en vue de maintenir le capital productif caprin au même niveau initial.

**Tableau 71 : Productivité pondérale nette de l'UZ caprine par groupe**

Catégorie	PVM (kg)	GI		GII		GIII	
		UZ	PVM	UZ	PVM	UZ	PVM
Chèvres de réforme	24	0,006	0,15	0,006	0,15	0,145	3,48
Boucs de réforme	32	0,000	0,00	0,000	0,00	0,009	0,29
Chevreaux 6 mois	15	0,080	1,20	0,074	1,11	0,145	2,18
Chevrettes 6 mois	13	0,080	1,04	0,046	0,60	0,166	2,16
Chevreaux 12 mois	19	0,143	3,02	0,129	2,46	0,133	2,53
Chevrettes 12 mois	16	0,048	2,49	0,160	2,56	-0,015	-0,24
<b>Productivité nette</b>			<b>7,91</b>		<b>6,87</b>		<b>10,39</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

La productivité pondérale de l'unité zootechnique caprine corrigée donne des valeurs respectives pour les groupes I, II et III de l'ordre de 7,91, 6,87 et 9,11 kg PV/an. Ceci montre que les éleveurs transhumants ont une productivité caprine plus élevée que les éleveurs sédentaires ou semi-nomades dont la productivité ne dépasse pas 8 kg PV/an. Ceci, peut s'expliquer par la non satisfaction des besoins alimentaires du cheptel des deux premiers groupes moyennant l'apport de la supplémentation. En effet, malgré les apports en supplémentation relativement plus élevés pour les éleveurs des groupes I et II (56% et 81%), les apports des parcours restent nécessaires, malgré leur faiblesse. Ceci signifie que les caprins n'arrivent pas à combler le déficit de la supplémentation distribuée par l'apport des parcours pour ces deux groupes. Alors que pour le groupe III des transhumants, l'apport de la supplémentation permet relativement de mieux combler le déficit alimentaire évalué à 42%.

Ceci montre que l'élevage caprin est plus adapté à la transhumance en période de sécheresse que l'élevage ovin. La mobilité du cheptel caprin dans le cas de transhumance permet de mieux valoriser l'espace pastoral et améliore la productivité des caprins contrairement à l'élevage sédentaire.

Globalement, les résultats obtenus restent très faibles par rapport aux valeurs enregistrées dans la région qui sont de l'ordre de 13 kg PV (Caidi, 1995).

On peut noter aussi, que la décapitalisation de l'élevage caprin par opposition à l'élevage ovin en année de sécheresse, sanctionne les performances de l'espèce et réduit davantage



la productivité. En effet, en raison de sa faible productivité relative par rapport aux ovins, les éleveurs préfèrent mieux compléter les ovins dont le prix de vente et la productivité sont plus élevés.

### Indice de transformation par unité zootechnique :

L'indice de transformation de l'unité zootechnique (ITZ) est calculé pour mesurer l'efficacité de la conversion des apports alimentaires en kilogrammes de poids vif de l'unité zootechnique. Au sens strict, il exprime le rapport entre la quantité d'énergie digestible consommée mesurée en unités fourragères et la quantité de production exprimée en kilogrammes de poids vif par unité zootechnique.

**Tableau 72 : Indice de transformation de l'UZ par groupe**

Groupe	GI	GII	GIII	Moyenne
Ovins	17,26	21,22	20,86	19,78
Caprins	38,13	44,78	29,36	37,42

Source : Nos enquêtes et calculs

On note que l'indice de transformation des ovins est meilleur que celui des caprins, ceci explique les préférences des éleveurs pour l'élevage ovin en cas de distribution de la supplémentation car ceux-ci valorisent mieux la ration distribuée.

En général, l'indice de transformation moyen des ovins est presque la moitié de celui des caprins ce qui montre l'aptitude de productivité de la race Bni Guil, sachant que les valeurs trouvées ont été sanctionnées par la conjoncture climatique défavorable et restent en deçà des valeurs moyennes de la zone qui sont de l'ordre de 15,80 UF/kg PV (Caidi, 1995).

On note que les petits éleveurs transhumants (groupe III) sont plus performants dans l'élevage caprin que les deux autres groupes. Alors que les grands éleveurs sédentaires et semi-nomades du groupe I sont plus performants dans l'élevage ovin. Le groupe II, constitué de petits éleveurs sédentaires paraît avoir les performances les plus faibles dans les deux élevages.

Le mode de conduite (sédentaires/transhumants) et les moyens de financement de la supplémentation des animaux en cas d'année défavorable apparaissent être des facteurs clés de la réussite de l'élevage au niveau de la zone. En effet, les petits éleveurs transhumants sont moins affectés par les conditions climatiques défavorables que les petits éleveurs sédentaires grâce à leur mobilité. Par contre, concernant l'élevage ovin, ils sont moins performants que les grands éleveurs sédentaires et semi-nomades car ils ne disposent pas de moyens financiers suffisants pour couvrir convenablement l'achat de la supplémentation ; en plus, le mode de conduite en transhumance n'est pas adapté à l'apport régulier de la supplémentation (problème d'approvisionnement et d'enclavement des parcours).

## D. CALCUL DE LA RENTABILITE DE L'ELEVAGE

Le calcul de la rentabilité de l'élevage concerne l'évaluation de la marge brute des élevages ovins et caprins par unité zootechnique.

Les charges et les produits d'élevage pris en compte dans le calcul de la rentabilité sont regroupés comme suit :

**Tableau 73 : Composition du compte élevage**

Charges	Produits
<ul style="list-style-type: none"><li>- Coût des aliments produits</li><li>- Coût des aliments achetés</li><li>- Frais de la main-d'œuvre</li><li>- Frais vétérinaires</li><li>- Achats d'animaux</li><li>- Pertes dues aux mortalités</li><li>- Coût d'approvisionnement en eau</li><li>- Charges de transport</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vente animaux</li><li>- Vente laine</li><li>- Valeur de l'autoconsommation</li><li>- Variation du capital</li></ul>

### 1. Evaluation des coûts de production sur parcours

#### 1.1. Cas des ovins

##### 1.1.1. Les charges

##### 1.1.1.1. Charges liées à l'alimentation

Il est important de noter que l'alimentation du troupeau au niveau de la zone se fait essentiellement à travers l'utilisation des parcours et l'achat de la supplémentation sur le marché. Les aliments produits par les éleveurs pour eux-mêmes restent limités à quelques éleveurs disposant de petites superficies agricoles.

##### a. Alimentation produite sur l'exploitation

La production des aliments par les éleveurs eux-mêmes reste limitée en raison de la faible possession des terres au niveau de la commune. En effet, la plupart des terres sont collectives et les terres privées restent très limitées et de faible superficie. Ainsi, 42% des éleveurs enquêtés ne possèdent pas de terres cultivables, 14% exploitent des superficies ne dépassant pas 1 ha, 30% ont des superficies de moins de 5 ha, le reste, soit 3 éleveurs, possède une superficie agricole totale de 25 ha.

Les productions agricoles en relation avec l'élevage sont essentiellement la luzerne et l'orge. Le total des superficies cultivées est respectivement de 22,25 et 8 ha pour la luzerne et l'orge pour l'ensemble de l'échantillon enquêté.

L'alimentation produite est limitée par la faiblesse des rendements. Ainsi, en se basant sur les coûts de production et les rendements moyens au niveau de la région, nous avons calculé les charges liées à l'apport des produits d'exploitation pour l'élevage ovin par unité zootechnique et par groupe d'éleveurs.

**Tableau 74 : Charges et produits de l'alimentation produite sur l'exploitation**

Groupes	Charges (Dirhams)			Produits (Dirhams)		
	Orge	Luzerne	Total	Orge	Luzerne	Total
Groupe I	0	6.900	6.900	0	13.800	13.800
Groupe II	1.000	4.800	5.800	2.400	9.600	12.000
Groupe III	1.000	1.650	2.650	2.400	3.300	5.700
<b>Total</b>	<b>2.000</b>	<b>13.350</b>	<b>15.350</b>	<b>4.800</b>	<b>26.700</b>	<b>31.500</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

En considérant que l'alimentation produite est répartie équitablement entre les trois espèces d'élevage (ovins, bovins et caprins), en relation avec leurs besoins d'entretien, il est possible de calculer la part distribuée pour chaque élevage.

Pour l'élevage ovin on note que la distribution des aliments produits reste minime, elle ne dépasse pas 1 DH/UZO pour la luzerne et moins de 0,16 DH/UZO pour l'orge. Les besoins du cheptel sont quasiment assurés par la supplémentation achetée et par l'apport des parcours.

Pour le groupe III, constitué d'éleveurs transhumants, les charges de l'alimentation produite est la plus faible car ils disposent de moins de terres cultivées par rapport à l'effectif du cheptel possédé. Pour les grands éleveurs et les petits éleveurs sédentaires, le coût de la distribution de l'alimentation produite est de l'ordre de 0,5 DH/UZO.

**Tableau 75 : Structure des charges de l'alimentation produite en DH/UZ ovine**

Groupes	Orge	Luzerne	Total
Groupe I	0,00	0,52	0,52
Groupe II	0,08	0,40	0,48
Groupe III	0,08	0,14	0,22
<b>Total</b>	<b>0,16</b>	<b>1,06</b>	<b>1,22</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

### b. Alimentation achetée

L'achat des aliments, surtout en année de sécheresse, constitue l'essentiel du coût de la production animale sur parcours dans la zone. Ainsi, en raison de la faible production fourragère des parcours de la campagne 2010-2011, la distribution des aliments achetés s'est étalée sur une longue période et a engendré une augmentation considérable des charges de production pour tous les modes de conduite d'élevage.

L'analyse des charges des aliments distribués par unité zootechnique et par année, sur la base des taux d'incorporation dans les rations, montre que l'orge est le principal aliment acheté et pourvoyeur d'unités fourragères du cheptel et constitue à lui seul environ 40% des charges de l'alimentation achetée, suivi de la pulpe sèche de betterave et du son de blé avec des taux respectifs de 25,6% et 22,40% pour l'ensemble des éleveurs enquêtés.

L'approvisionnement en concentré reste faible et ne dépasse pas 10% des charges de l'alimentation achetée. Le concentré est plus utilisé chez les gros éleveurs du groupe I et représente 13% des charges de l'alimentation contre moins de 9% pour les deux groupes relatifs aux petits éleveurs.

**Tableau 76 : Structure des charges de l'alimentation achetée en DH/UZ ovine**

Groupes	Orge	Son	PSB*	AC*	Luzerne	Paille	Total
Groupe I	245,71	129,72	141,86	80,75	5,74	1,00	604,77
Groupe II	299,86	161,93	210,85	63,19	9,10	17,22	762,15
Groupe III	210,02	127,06	124,86	34,28	10,03	12,42	518,67
<b>Moyenne</b>	<b>260,99</b>	<b>144,39</b>	<b>169,87</b>	<b>58,38</b>	<b>8,64</b>	<b>12,21</b>	<b>654,48</b>

(\*) PSB : Pulpe sèche de betterave, AC : Aliments composés

Source : Nos enquêtes et calculs

Globalement, les charges de l'alimentation achetée sont plus élevées chez le groupe II, constitué des petits éleveurs sédentaires, et sont de l'ordre de 762,15 DH/UZO et par an contre seulement 518,67 DH/UZO et par an pour les petits éleveurs transhumants, soit une augmentation de l'ordre de 47%. Ceci traduit l'effet de l'apport fourrager des parcours pour le groupe III qui est de l'ordre de 50% contre seulement 26% pour le groupe II.

Vu l'importance de la rubrique relative à l'achat des aliments du bétail dans la structure des charges de production, il est nécessaire pour les éleveurs de la zone de chercher un meilleur rationnement alimentaire permettant une satisfaction des besoins à moindre coût et d'étudier les possibilités d'amélioration des conditions d'acquisition et de stockage des aliments du bétail (groupement des approvisionnements et des livraisons).

#### 1.1.1.2. Charges de main-d'œuvre

Les charges de la main-d'œuvre concernent le calcul des charges relatives au gardiennage et aux bergers engagés par les éleveurs durant l'année à titre occasionnel ou permanent pour les besoins du cheptel par unité zootechnique produite, sachant que le travail salarié est distribué entre les différentes espèces élevées (ovins, caprins, bovins) en relation avec leurs besoins nutritionnels.

Etant donné le manque d'opportunités de travail au niveau de la zone et les faibles effectifs détenus par les éleveurs, surtout des groupes II et III, les charges de la main-d'œuvre familiale n'ont pas été comptabilisées dans le calcul des charges de main-d'œuvre, sachant finalement, que l'ensemble des membres actifs de la famille vivent sous le même toit et tirent avantage du revenu agricole obtenu d'une façon équitable et sans distinction entre les sexes.

Les résultats obtenus montrent que le groupe I, compte tenu des grands effectifs d'animaux dont il dispose, réalise des rendements d'échelle et présente les charges de main-d'œuvre les plus faibles de l'ordre de 9,78 DH/UZO contre 50,78 et 50,27 DH/UZO respectivement pour les groupes II et III.

#### 1.1.1.3. Frais vétérinaires

Les frais vétérinaires concernent les charges engagées à l'occasion de l'achat des produits vétérinaires. Seuls 68% des éleveurs achètent des produits vétérinaires ou bénéficient gratuitement de campagnes de vaccination fournies par l'ANOC ou par l'Etat. Les charges vétérinaires restent très faibles et expliquent les taux de mortalité enregistrés surtout chez les animaux adultes.

Les résultats montrent que le groupe I, malgré le nombre et la fréquence de vaccination plus élevés ne dépense en moyenne que 1,03 DH/UZO contre 2,32 DH/UZO pour les éleveurs sédentaires du groupe II et 1,75 DH/UZO pour les transhumants. Ces valeurs moyennes

restent faibles et sont influencées par la non-pratique de la vaccination chez certains éleveurs et la gratuité de la vaccination pour les adhérents à l'ANOC.

#### 1.1.1.4. Achats d'animaux

L'acquisition des ovins est réalisée par certains éleveurs exclusivement pour les béliers de lutte en vue d'améliorer le potentiel de reproduction du troupeau.

Les résultats obtenus montrent que 9 éleveurs, soit 18% de l'échantillon enquêté, ont procédé à l'achat de 20 béliers de reproduction à un prix moyen par bélier de l'ordre de 1.027,50 DH.

Les dépenses par unité zootechnique et par an donnent des charges respectives de 3,36, 3,07 et 5,87 DH/UZO pour les groupes I, II et III. Il paraît donc que la mobilité de l'élevage dans le cas du groupe III, constitué d'éleveurs transhumants, oblige les éleveurs à acquérir leurs propres béliers de reproduction, contrairement aux sédentaires qui peuvent se contenter d'emprunter, à titre temporaire, des géniteurs chez leurs voisins.

#### 1.1.1.5. Pertes dues aux mortalités

Les charges dues aux mortalités des animaux par unité zootechnique représentent une perte sèche pour l'éleveur, surtout pour les adultes qui constituent le capital de production.

En termes d'effectif, les pertes relatives aux agneaux morts ou avortés représentent la plus grande partie des charges de mortalité car les taux de mortalité des jeunes sont plus élevés que ceux des adultes et tournent autour de 14% pour l'ensemble des enquêtés. La valeur maximale est enregistrée chez les éleveurs des groupes II et III avec un pourcentage de 16% et 17% ; par contre pour le groupe I ce taux est de 6% (inversement proportionnel à la taille du troupeau).

Le calcul des pertes par unité zootechnique et par an montre que le groupe I enregistre les charges les plus faibles, soit un montant de l'ordre de 13,10 DH/UZO, contre respectivement 16,20 et 17,32 DH/UZO pour les groupes II et III.

La répartition des charges relatives aux pertes de mortalité montre que la mortalité des adultes représente environ 63% des charges de mortalité par UZ, compte tenu de la valeur marchande des animaux adultes par rapport aux jeunes. Le tableau suivant résume les pertes dues aux mortalités par unité zootechnique ovine et par an pour chaque groupe d'éleveurs.

**Tableau 77 : Pertes dues aux mortalités de l'UZ ovine par groupe (Dirhams)**

Catégorie	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Adultes	9,96	76,03	10,54	65,06	8,70	50,23
Agneaux	1,46	11,15	2,50	15,43	4,46	25,75
Agnelles	1,68	12,82	3,16	19,51	4,16	24,02
<b>Total</b>	<b>13,10</b>	<b>100,00</b>	<b>16,20</b>	<b>100,00</b>	<b>17,32</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs



### 1.1.1.6. Coût d'approvisionnement en eau

Pour les éleveurs ne disposant pas de ressources en eau gratuites et proches des lieux de pâturage, l'achat de l'eau pour l'abreuvement du troupeau et également pour les besoins domestiques de la famille est nécessaire et constitue une contrainte au développement de l'élevage surtout dans les zones enclavées qui ne disposent pas de ressources en eau gratuite à proximité.

Dans le cas de la commune de Tissaf, plusieurs éleveurs déclarent procéder à l'acquisition de l'eau moyennant des camions citernes et à son stockage selon des fréquences en relation avec les besoins de l'effectif du cheptel détenu.

Le prix de l'eau varie en fonction de la distance entre le lieu d'approvisionnement en eau le plus proche et le lieu de pâturage et de la difficulté d'accès à ce lieu. Globalement, le prix du litre d'eau varie de 0,075 DH à 0,125 DH.

Ainsi, 16% des éleveurs enquêtés déclarent acheter l'eau nécessaire pour les besoins d'approvisionnement de leur cheptel. L'analyse des coûts d'approvisionnement en eau par groupe et par unité zootechnique, montre que ce sont les petits éleveurs sédentaires qui supportent les plus fortes charges d'approvisionnement en eau, soit 1,27 DH/UZO. Alors que pour les éleveurs du groupe I, constitué de grands éleveurs, ils disposent tous de ressources en eau pour l'abreuvement de leur cheptel et ne supportent pas de type de charges. Pour les petits éleveurs transhumants les charges d'approvisionnement sont faibles et sont de l'ordre de 0,78 DH/UZO.

### 1.1.1.7. Coût de transport

Les coûts de transport concernent les charges relatives au transport du bétail de et vers le marché. Ces charges sont généralement liées à la distance parcourue entre le lieu de pâturage et le marché hebdomadaire de la zone (Outat Lhaj).

Les coûts de transport pour l'échantillon enquêté montrent que ces charges sont liées à l'effectif des animaux vendus et à la distance à parcourir entre le point de collecte des animaux (route accessible et pistes) et le marché local. En général, on note une forte corrélation entre la distance parcourue et le coût de transport, sachant que les prix de transport changent en passant de la route bitumée à la piste. Le modèle de régression pour les ovins, montre que le coût de transport par tête est en relation avec trois variables à savoir la distance totale parcourue entre le lieu de campement et le marché local, le pourcentage de route non bitumée (pistes et sentiers), le pourcentage de distance parcourue par ses propres moyens jusqu'au lieu de collecte par l'engin motorisé (déplacement du cheptel entre le lieu de pâturage et la piste accessible aux engins de transport).

**Tableau 78 : Modèle linéaire de coût de transport du bétail**

Source	Valeur	Ecart type	Test T	Probabilité
Constante	-1,687	0,699	-2,413	0,020
Distance	0,130	0,009	14,214	< 0,0001
% Piste	0,049	0,007	7,389	< 0,0001
% Moyens propres	-0,069	0,010	-6,664	< 0,0001
<b>R<sup>2</sup> : 0,860</b>		<b>Test F : 101,212 Probabilité &lt; 0,0001</b>		

Source : Nos enquêtes et calculs

La valeur négative de la constante est due à l'existence d'une catégorie d'éleveurs ne supportant pas de coût de transport car, étant donné la faible distance qui les sépare du marché local, ils préfèrent conduire par eux-mêmes le cheptel jusqu'au lieu de vente. Le modèle est plus sensible à la distance totale parcourue qu'à la qualité de la route, car les frais engagés sont en relation plutôt avec l'éloignement qu'avec la qualité du trajet ; d'où une plus forte liaison avec la distance totale parcourue.

Le modèle montre que l'éloignement et l'enclavement des zones de pâturage constituent des contraintes au développement de l'élevage au niveau de la zone. L'absence de routes bitumées à l'intérieur de la commune augmente les trajets à parcourir et les difficultés d'accès au marché et affecte sensiblement les coûts de production.

Les charges de transport par unité zootechnique et par an montrent que ces coûts sont plus faibles pour les grands éleveurs et ne dépassent pas 2,95 DH/UZO contre 3,93 et 3,65 DH/UZO respectivement pour les groupes II et III constitués de petits éleveurs. Il paraît donc que les grands éleveurs réalisent des économies d'échelle en relation avec l'effectif des ovins transportés et procèdent à des ventes moins fréquentes que les deux autres groupes (vente d'effectifs plus consistants à des fréquences plus faibles).

### 1.1.2. Les recettes

#### 1.1.2.1. Vente d'animaux

La vente des ovins concerne l'ensemble de l'effectif ovin écoulé sur le marché, elle touche toutes les catégories d'animaux écoulés durant la campagne agricole.

L'analyse des ventes par groupe d'éleveurs et par unité zootechnique a permis de dégager les recettes réalisées pour chaque type d'élevage et montre, comme pour l'analyse de la productivité brute, que les ventes d'animaux rapportent en moyenne une recette de l'ordre de 869,59 DH/UZO pour le groupe II, constitué d'éleveurs sédentaires. Alors que pour les petits éleveurs transhumants du groupe III les ventes ont été moins élevées, soit un montant de 723,25 DH/UZO.

Il est utile de signaler que les ventes des brebis de réforme représentent respectivement 24%, 43% et 36% du montant des ventes des groupes I, II et III, ce qui donne une idée sur la réduction des effectifs chez chacun des trois groupes.

**Tableau 79 : Ventes d'animaux par UZ ovine par groupe et par catégorie**

Catégorie	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Brebis de réforme	185,22	24,35	376,75	43,33	260,87	36,07
Béliers de réforme	17,59	2,31	25,29	2,91	20,87	2,89
Agneaux 6 mois	76,34	10,03	175,59	20,19	144,93	20,04
Agnelles 6 mois	69,86	9,18	148,34	17,06	112,23	15,52
Antenais 12 mois	249,58	32,81	103,16	11,86	106,43	14,72
Antenaises 12 mois	162,20	21,32	40,46	4,65	77,91	10,77
<b>Total</b>	<b>760,78</b>	<b>100,00</b>	<b>869,59</b>	<b>100,00</b>	<b>723,25</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.1.2.2. Vente de laine

La vente de laine rapporte une contribution relativement faible par rapport à la vente des animaux ; il s'agit des toisons des ovins de plus de six mois récoltées une fois par année. Etant donné que le prix de la toison ne diffère pas sensiblement entre les éleveurs, la valeur des ventes réalisées est fonction du nombre de têtes des différentes catégories d'animaux détenus hors agneaux et agnelles de moins de 6 mois.

L'analyse des ventes par unité zootechnique montre des valeurs allant de 26,80 DH/UZO pour le groupe II à 18,13 DH/UZO pour le groupe III.

**Tableau 80 : Ventes de laine par UZ ovine par groupe et par catégorie**

Catégorie	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Brebis	15,00	72,98	15,00	55,94	15,00	82,75
Béliers	1,33	6,47	0,82	3,08	0,98	5,41
Antenaises 12 mois	0,80	3,87	1,56	5,82	0,65	3,54
Antenais 12 mois	3,43	16,68	9,42	35,16	1,50	8,30
<b>Total</b>	<b>20,56</b>	<b>100,00</b>	<b>26,80</b>	<b>100,00</b>	<b>18,13</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.1.2.3. Valeur de l'autoconsommation

L'autoconsommation est évaluée moyennant l'utilisation des prix de vente du marché moins les coûts unitaires de transport. Les effectifs autoconsommés par les éleveurs restent faibles et concernent essentiellement les ovins sacrifiés à l'occasion des fêtes religieuses.

L'analyse des valeurs de l'autoconsommation par unité zootechnique montre que ce sont les éleveurs du groupe I qui ont les valeurs les plus faibles par unité zootechnique, soit 8,16 DH/UZO, compte tenu des effectifs qu'ils détiennent. La valeur la plus élevée est enregistrée chez les petits éleveurs transhumants avec une valeur de 22,22 DH/UZO.

**Tableau 81 : Valeur de l'autoconsommation par UZ ovine par groupe et par catégorie**

Catégorie	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Béliers	7,33	89,82	6,46	37,04	16,70	75,16
Antenais 12 mois	0,83	10,18	10,98	62,96	5,52	24,84
<b>Total</b>	<b>8,16</b>	<b>100,00</b>	<b>17,44</b>	<b>100,00</b>	<b>22,22</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.1.2.4. Variation négative de l'inventaire ovine

En année défavorable du point de vue conditions de production animale, les éleveurs et surtout les plus petits d'entre eux, par manque de trésorerie, visent à maintenir un effectif minimal du cheptel en utilisant les fonds provenant des ventes d'une partie du cheptel jugé moins productif ou dont la valeur marchande est plus intéressante. Dans ce sens, pour le cas particulier de la campagne agricole 2010-2011, l'ensemble des éleveurs de la zone ont

procédé à la vente d'un effectif ovin (brebis et béliers de production) pour financer les charges relatives à l'achat des aliments du bétail.

Les recettes issues de ces ventes ne sont pas liées à la production de l'année et constituent des recettes exceptionnelles inhérentes à la diminution des effectifs ovins initialement détenus. La différence de l'inventaire des effectifs entre le début et la fin de la campagne constitue une rente et doit être comptabilisée comme recette exceptionnelle.

En vue de dégager cette rente nous avons calculé la productivité nette du cheptel en se référant aux écarts enregistrés entre le taux de réforme et celui de renouvellement. Ainsi, en supposant un taux de réforme fictif égal à celui de renouvellement, il est possible de maintenir le capital productif ovin au même niveau initial.

Les écarts des ventes entre la productivité réelle calculée plus haut et la productivité nette relative à un taux fictif de réforme égal au taux de renouvellement permettent de dégager les écarts d'inventaire en termes de valeur par unité zootechnique.

Les résultats obtenus montrent qu'une part importante des ventes est issue des ventes des stocks de début de la campagne et constitue des recettes exceptionnelles de l'ordre de 69 DH/UZO pour le groupe I, formé de grands éleveurs, à 337,98 DH/UZO pour les petits éleveurs sédentaires.

Les petits éleveurs transhumants semblent être moins affectés que les sédentaires par la sécheresse de la campagne agricole, car ils n'ont pas mobilisé autant de stocks productif que le groupe II, ceci indique leur meilleure résistance aux conditions climatiques que les sédentaires.

Malgré cette décapitalisation, la supplémentation issue de ces ventes semble ne pas avoir permis de maintenir la productivité à des niveaux optimaux en relation avec le potentiel génétique de la race Bni Guil en raison de la non-maîtrise de l'évolution à moyen terme des coûts de production en relation avec la qualité des parcours et les disponibilités de trésorerie.

**Tableau 82 : Variation des stocks par UZ ovine par groupe et par catégorie**

Catégorie	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Brebis	66,50	95,78	316,07	93,52	183,65	94,96
Béliers	2,93	4,22	21,91	6,48	9,74	5,04
<b>Total</b>	<b>69,43</b>	<b>100,00</b>	<b>337,98</b>	<b>100,00</b>	<b>193,39</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.1.3. Rentabilité de l'élevage ovin

La rentabilité de l'élevage ovin est évaluée moyennant le calcul des marges brutes par différence entre les charges réelles et les produits bruts ovins.

#### 1.1.3.1. Les recettes

Le montant des recettes réalisées pour les trois groupes d'éleveurs montre l'effet de la diminution des stocks d'animaux (écart d'inventaire) sur la valeur annuelle des recettes réalisées par unité zootechnique. Ainsi, on note pour le groupe II, constitué de petits éleveurs sédentaires, que les recettes relatives à la vente d'animaux en stock au début de

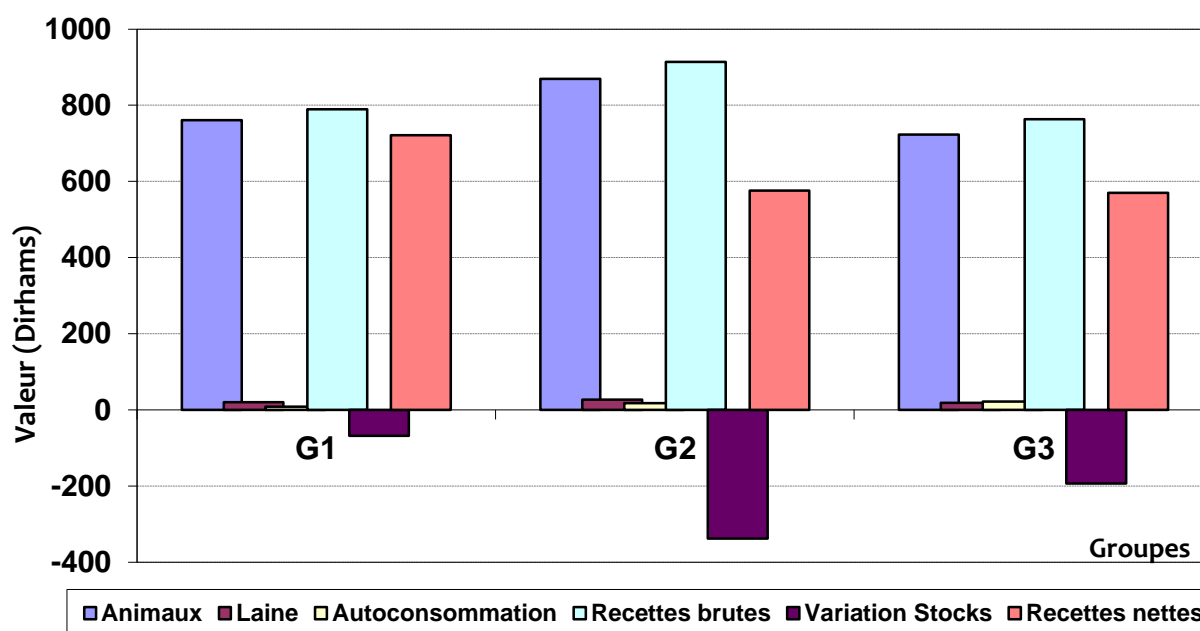
l'année représentent 37% du total des ventes, contre 27 et 9% respectivement pour les groupes III et I.

**Tableau 83 : Montant des recettes brutes et nettes par UZ ovine et par groupe**

Produits	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Animaux	760,78	96,36	869,59	95,16	723,25	94,72
Laine	20,56	2,60	26,80	2,93	18,13	2,37
Autoconsommation	8,16	1,03	17,44	1,91	22,22	2,91
<b>Recettes brutes</b>	<b>789,50</b>	<b>100,00</b>	<b>913,83</b>	<b>100,00</b>	<b>763,60</b>	<b>100,00</b>
Variation stocks	- 68,43	8,67	- 337,98	36,98	- 193,39	25,33
<b>Recettes nettes</b>	<b>721,07</b>	<b>91,33</b>	<b>575,85</b>	<b>63,02</b>	<b>570,21</b>	<b>74,67</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Les recettes brutes de l'année se situent globalement entre 913,83 DH/UZO pour le groupe II et 763,60 DH/UZO pour le groupe III. Alors que les recettes nettes tenant en compte les variations de l'inventaire des animaux ne dépassent pas 576 DH/UZO pour les petits éleveurs et 721 DH/UZO pour les grands éleveurs.



**Figure 123 : Structure des recettes par groupe d'éleveurs et par UZ ovine**

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.1.3.2. Les charges

L'analyse de la structure des charges montre que les charges relatives à l'achat des aliments pour les besoins de la supplémentation représentent en moyenne 89% à 97% du montant des charges selon le mode de conduite de l'élevage. Ainsi, pour les éleveurs transhumants, les charges relatives à l'achat des aliments du bétail représentent 89% du montant total des charges, alors que pour les grands éleveurs du groupe I, ce pourcentage est de l'ordre de 97%.



Les autres charges sont essentiellement constituées de la main-d'œuvre avec des pourcentages respectifs pour les groupes I, II et III de l'ordre de 1,57, 6,16 et 8,65% du montant total des charges.

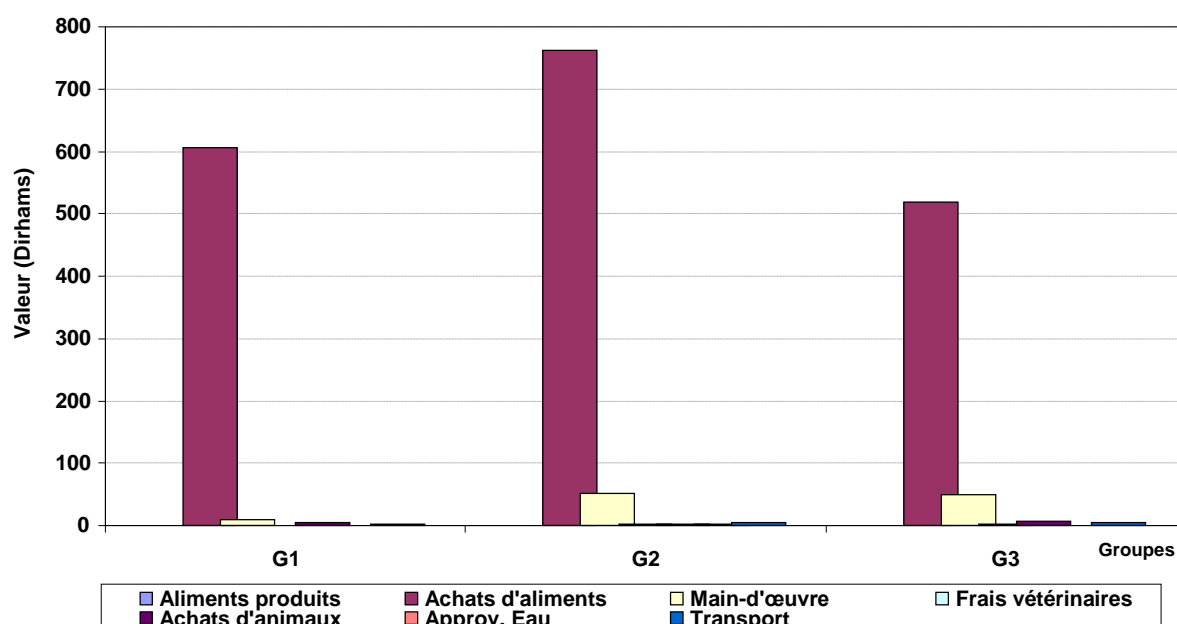
Ainsi, on note que pendant une année de sécheresse les charges relatives à la supplémentation du cheptel augmentent considérablement pour constituer l'essentiel du coût de production et influencer significativement les marges brutes et la rentabilité de l'élevage.

**Tableau 84 : Montant des charges de production ovine par UZ par groupe**

Charges	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Aliments produits	0,52	0,08	0,22	0,03	0,48	0,08
Aliments achetés	604,77	97,17	762,15	92,52	518,67	89,20
Main-d'œuvre	9,78	1,57	50,78	6,16	50,27	8,65
Frais vétérinaires	1,03	0,17	2,32	0,28	1,75	0,30
Achat animaux	3,36	0,54	3,07	0,37	5,87	1,01
Achat eau	0,00	0,00	1,27	0,15	0,78	0,13
Transport	2,95	0,47	3,93	0,48	3,65	0,63
<b>Total</b>	<b>622,41</b>	<b>100,00</b>	<b>823,74</b>	<b>100,00</b>	<b>581,47</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Dans ce sens, les éleveurs enquêtés affirment que les charges de la supplémentation de la campagne agricole ont été exceptionnellement élevées à cause de la succession de deux années de sécheresse ce qui a influencé la productivité des parcours au niveau de la zone. En année favorable, les éleveurs notent que la supplémentation de l'ensemble du troupeau est apportée seulement pendant la période de soudure entre juillet et septembre ; pour le reste de l'année, ce sont les parcours qui apportent la quasi-totalité des besoins alimentaires des animaux.



**Figure 124 : Structure des charges par groupe d'éleveurs et par UZ ovine**

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.1.3.3. Les marges brutes

L'analyse des produits et des charges de production ovine des éleveurs de la zone a permis de dégager les marges brutes en prenant en compte l'ensemble des ventes réalisées au cours de l'année sans considération des écarts d'inventaire des animaux entre le début et la fin de la campagne et en évaluant les ventes des animaux déjà disponibles au début de la campagne (écart d'inventaire).

#### a. Marge brute fictive

La marge brute fictive a été calculée par simple soustraction entre la valeur des ventes et de l'autoconsommation et la valeur des charges engagées par unité zootechnique produite et par groupe d'éleveurs.

**Tableau 85 : Marge brute fictive par UZ ovine par groupe**

Intitulé	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Charges	622,41	823,74	581,47
Recettes	789,50	913,83	763,60
<b>Marge brute</b>	<b>167,09</b>	<b>90,09</b>	<b>182,13</b>
<b>Rentabilité brute (%)</b>	<b>26,85</b>	<b>10,94</b>	<b>31,32</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

L'analyse des marges brutes obtenues montre que pour le groupe II, la marge brute est faible et ne dépasse pas 90 DH/UZO, contre 167,09 et 182,13 DH/UZO pour respectivement les groupes I et III. Les taux de rentabilité par rapport au montant des charges engagées montre des valeurs allant de presque 11% pour le groupe II jusqu'à 31% pour le groupe III des éleveurs transhumants.

#### b. Marge brute réelle

La marge brute réelle a été calculée en prenant en ligne de compte la valeur des ventes d'animaux existant en stock en début de la campagne et qui n'ont pas été remplacés par les naissances de l'année (variation des effectifs d'animaux en stocks).

La marge brute réelle est égale à la marge brute fictive moins la valeur des ventes d'animaux en stock au début de l'année et non remplacés par les nouvelles naissances.

**Tableau 86 : Marge brute réelle par UZ ovine par groupe**

Intitulé	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Marge brute fictive	167,09	90,09	182,13
Variation des stocks	- 68,43	- 337,98	- 193,39
<b>Marge brute réelle</b>	<b>98,66</b>	<b>- 247,89</b>	<b>- 11,26</b>
<b>Rentabilité nette (%)</b>	<b>15,85</b>	<b>- 30,09</b>	<b>- 1,94</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Les résultats du calcul de la rentabilité nette de l'élevage ovin montrent que les éleveurs du groupe II (petits éleveurs sédentaires) ont réalisé des marges brutes négatives compte tenu de la valeur des effectifs en stock vendus au cours de la campagne. Il semble que la stratégie de ce groupe d'éleveurs vise avant tout le maintien de l'activité d'élevage aux dépens de la rentabilité annuelle.

En effet, il semble, qu'en année défavorable, les éleveurs sédentaires ne disposant pas d'une trésorerie suffisante pour l'achat de la supplémentation nécessaire pour atteindre une rentabilité satisfaisante, visent en premier lieu, le maintien d'un effectif minimal d'animaux, pour pouvoir relancer l'activité d'élevage lorsque les conditions du milieu redeviennent plus favorables (stratégie de dormance).

Le groupe III, constitué de petits éleveurs transhumants, semble avoir mieux résisté aux conditions de sécheresse que les éleveurs sédentaires du groupe II, car ils ont vendu moins d'animaux en stock et ont enregistré une rentabilité presque nulle. Ceci peut être expliqué par l'intérêt de la mobilité du cheptel qui permet de minimiser l'apport de la supplémentation en valorisant l'ensemble de l'espace pastoral traversé contrairement à l'élevage sédentaire exclusivement tributaire des apports en aliments du bétail achetés (stratégie de résistance).

Pour le groupe I, constitué de grands éleveurs et malgré la conjoncture défavorable, il semble que la variation de stock des animaux a été minimale et a permis de maintenir la rentabilité à des niveaux appréciables, soit un taux de rentabilité de l'ordre de 16% en conditions défavorables.

En général, ce sont des éleveurs disposant d'une trésorerie suffisante pour pouvoir financer partiellement ou totalement l'achat des aliments du bétail pendant une bonne période de l'année quand l'apport fourrager des parcours ne permet pas de fournir ces besoins qui réalisent les meilleures performances économiques. Ces éleveurs sont peu dépendants des apports des parcours en cas de conditions climatiques défavorables et peuvent mobiliser d'importants fonds propres pour l'achat de la supplémentation.

Ce groupe exploite mieux les apports des parcours lorsque les conditions redeviennent plus favorables en libérant sur ces parcours des effectifs plus consistants et en bonne santé (stratégie opportuniste). Ainsi, en relâchant un effectif maximum d'animaux pendant la période favorable, ils réalisent une rente plus élevée sur les parcours collectifs que les petits éleveurs.

## **1.2. Cas des caprins**

### **1.2.1. Les charges**

#### **1.2.1.1. Charges liées à l'alimentation**

##### **a. Alimentation produite sur l'exploitation**

Sachant que l'alimentation produite est répartie équitablement entre les trois espèces d'élevage (ovins, bovins et caprins) en relation avec leurs besoins d'entretien, il est possible de calculer la part distribuée pour chaque élevage. Pour les caprins, la distribution des aliments produits sur l'exploitation reste très faible, elle ne dépasse pas 0,30 DH/UZC pour la luzerne et atteint moins de 0,10 DH/UZC pour l'orge. Les besoins du cheptel sont quasiment assurés par la supplémentation achetée et par l'apport des parcours.

Le groupe III, constitué d'éleveurs transhumants, représente les charges de l'alimentation produite les plus faibles, car il dispose de moins de terres cultivées par rapport à l'effectif du cheptel possédé. Pour les petits éleveurs sédentaires, le coût de la distribution de l'alimentation produite est de l'ordre de 0,24 DH/UZC.

**Tableau 87 : Structure des charges de l'alimentation produite en DH/UZ caprine**

Groupes	Orge	Luzerne	Total
Groupe I	0,00	0,30	0,30
Groupe II	0,04	0,20	0,24
Groupe III	0,04	0,08	0,12
<b>Total</b>	<b>0,08</b>	<b>0,58</b>	<b>0,66</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

### b. Alimentation achetée

Comme pour les ovins, les charges de l'alimentation achetée pour les caprins sont plus élevées chez le groupe II, constitué de petits éleveurs sédentaires, et sont de l'ordre de 365,76 DH/UZC/an contre seulement 247,43 DH/UZC/an pour les éleveurs transhumants.

**Tableau 88 : Structure des charges de l'alimentation achetée en DH/UZ caprine**

Groupes	Orge	Son	PSB*	AC*	Luzerne	Paille	Total
Groupe I	120,85	52,12	68,21	40,10	0,00	1,00	282,28
Groupe II	145,20	78,42	103,10	31,02	0,00	8,02	365,76
Groupe III	108,27	58,54	60,30	15,20	0,00	5,12	247,43
<b>Moyenne</b>	<b>124,77</b>	<b>63,03</b>	<b>77,20</b>	<b>28,77</b>	<b>0,00</b>	<b>4,71</b>	<b>298,49</b>

(\*) PSB : Pulpe sèche de betterave, AC : Aliments composés

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.2.1.2. Autres Charges

En se basant sur les résultats obtenus pour les ovins et en considérant que l'ensemble des autres charges sont distribuées entre les différentes espèces élevées (ovins, caprins, bovins) d'une manière équitable en relation avec leurs besoins nutritionnels, les résultats obtenus montrent que le groupe I, compte tenu des grands effectifs d'animaux dont il dispose, réalise des économies d'échelle et présente les charges de main-d'œuvre et de transport les plus faibles de l'ordre respectivement de 3,56 et 1,50 DH/UZC.

**Tableau 89 : Montant des charges hors alimentation par UZ caprine et par groupe**

Charges	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Main-d'œuvre	3,56	51,15	22,45	81,61	24,00	81,74
Frais vétérinaires	0,70	10,06	0,56	2,04	0,60	2,04
Achat animaux	1,20	17,24	1,50	5,45	2,30	7,83
Achat eau	0,00	0,00	1,20	4,36	0,56	1,91
Transport	1,50	21,55	1,80	6,54	1,90	6,47
<b>Total</b>	<b>6,96</b>	<b>100,00</b>	<b>27,51</b>	<b>100,00</b>	<b>29,36</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

## 1.2.2. Les recettes

### 1.2.2.1. Vente d'animaux

La vente concerne l'ensemble de l'effectif caprin écoulé sur le marché durant la campagne agricole. L'analyse des ventes par groupe d'éleveurs montre que les ventes de caprins rapportent en moyenne une recette de l'ordre de 360,60 DH/UZC pour le groupe III, constitué d'éleveurs transhumants. Alors que pour les petits éleveurs sédentaires du groupe II et les grands éleveurs, les ventes ont été moins élevées, soit un montant moyen de l'ordre de 295 DH/UZC.

**Tableau 90 : Ventes d'animaux par UZ caprine par groupe et par catégorie**

Catégorie	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Chèvres de réforme	76,61	25,82	101,47	34,65	97,44	27,02
Boucs de réforme	7,17	2,42	8,06	2,75	8,06	2,24
Chevreaux 6 mois	33,60	11,32	31,08	10,61	60,90	16,89
Chevrettes 6 mois	29,12	9,81	16,74	5,72	60,42	16,76
Chevreaux 12 mois	80,33	27,07	63,84	21,80	75,54	20,95
Chevrettes 12 mois	69,89	23,56	71,68	24,47	58,24	16,14
<b>Total</b>	<b>296,72</b>	<b>100,00</b>	<b>292,87</b>	<b>100,00</b>	<b>360,60</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.2.2.2. Valeur de l'autoconsommation

L'autoconsommation est évaluée moyennant l'utilisation des prix de vente du marché moins les coûts unitaires de transport. Les effectifs de caprins autoconsommés concernent exclusivement les chevreaux de 12 mois et restent très faibles.

L'analyse des valeurs de l'autoconsommation par unité zootechnique montre que les éleveurs du groupe III n'ont pas utilisé la production caprine pour la consommation familiale. Pour les deux autres groupes, ce sont les éleveurs du groupe II qui enregistrent les valeurs les plus élevées, soit 4,91 DH/UZC.

**Tableau 91 : Valeur de l'autoconsommation par UZ caprine par groupe et par catégorie**

Catégorie	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Chevreaux 12 mois	4,270	100,00	4,911	100,00	0,00	100,00

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.2.2.3. Variation négative de l'inventaire caprin

En année défavorable du point de vue productivité des parcours, les éleveurs visent à maintenir moyennant la supplémentation un effectif minimal de cheptel en utilisant les fonds provenant des ventes d'une partie du cheptel jugé moins productif. La différence de l'inventaire des effectifs entre le début et la fin de la campagne constitue une décapitalisation et doit être comptabilisée comme recette exceptionnelle.



**Tableau 92 : Variation des stocks par UZ caprine par groupe et par catégorie**

Catégorie	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Chèvres	72,27	90,95	97,18	92,16	97,45	92,31
Boucs	7,19	9,05	8,27	7,84	8,12	7,69
<b>Total</b>	<b>79,46</b>	<b>100,00</b>	<b>105,45</b>	<b>100,00</b>	<b>105,57</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

On note à travers cette décapitalisation que 11 à 14% des effectifs caprins qui ont été détenus par les éleveurs ont été liquidés au cours de la campagne agricole essentiellement pour renflouer la trésorerie de l'éleveur en vue de subvenir aux charges de supplémentation. Les grands éleveurs ont été moins affectés par la sécheresse étant donné que la décapitalisation n'a pas dépassé 80 DH/UZC contre 105 DH/UZC pour les petits éleveurs.

### 1.2.3. Rentabilité de l'élevage caprin

Comme pour les ovins, la rentabilité de l'élevage caprin est évaluée moyennant le calcul des marges brutes par différence entre les charges réelles et les produits bruts ovins.

#### 1.2.3.1. Les recettes

Le montant des recettes réalisées pour les trois groupes d'éleveurs montre l'effet de la diminution des stocks d'animaux (écart d'inventaire) sur la valeur annuelle des recettes réalisées par unité zootechnique. Ainsi, on note pour le groupe II, constitué de petits éleveurs sédentaires, que les recettes relatives à la vente d'animaux en stock au début de l'année représentent 35% des recettes du total des ventes, contre 27 et 28% respectivement pour les groupes I et III.

**Tableau 93 : Montant des recettes brutes et nettes par UZ par groupe**

Produits	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Vente	296,72	98,58	292,87	98,35	360,60	100,00
Autoconsommation	4,27	1,42	4,91	1,65	0,00	0,00
<b>Recettes brutes</b>	<b>300,99</b>	<b>100,00</b>	<b>297,78</b>	<b>100,00</b>	<b>360,60</b>	<b>100,00</b>
Variation stocks	- 79,46	26,40	- 105,45	35,41	- 105,57	29,28
<b>Recettes nettes</b>	<b>221,53</b>	<b>73,60</b>	<b>192,33</b>	<b>64,59</b>	<b>255,03</b>	<b>70,72</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Les recettes nettes tenant compte des variations de l'inventaire des animaux ne dépassent pas 255 DH/UZC pour les petits éleveurs transhumants et 192 DH/UZC pour les petits éleveurs sédentaires.

Il paraît, d'après les résultats obtenus pour les caprins, que les éleveurs transhumants réalisent des marges nettes supérieures à celles réalisées par les deux autres groupes. Ceci peut être expliqué par le taux de fertilité plus élevé chez les éleveurs transhumants qui est de l'ordre de 75% contre environ 57% pour les deux autres groupes.

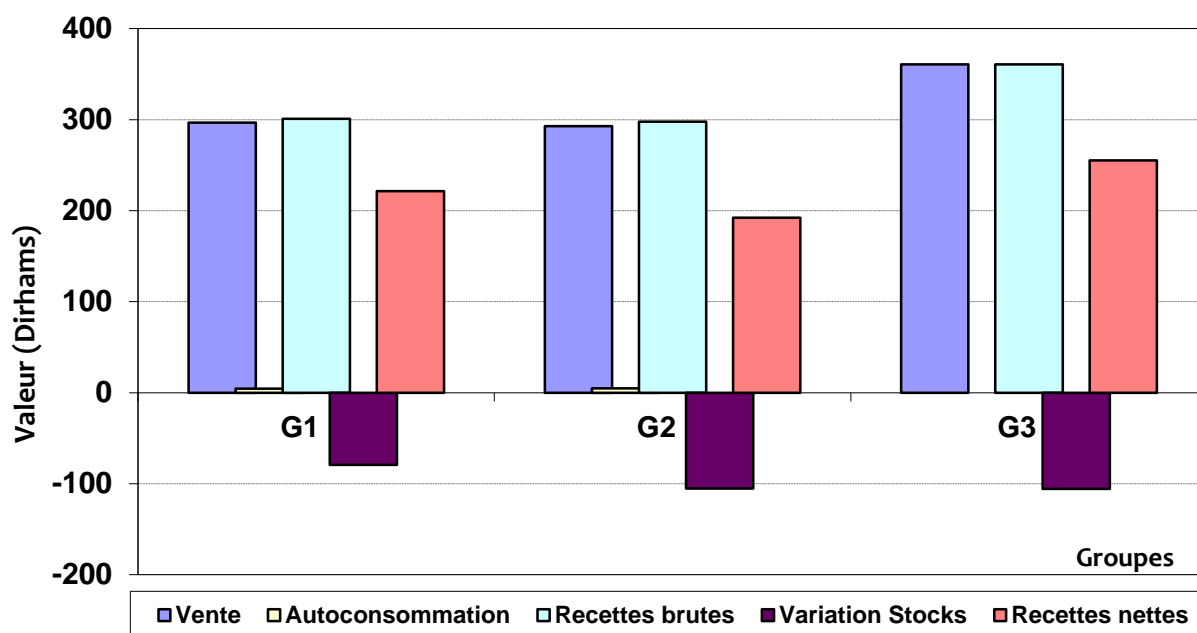


Figure 125 : Structure des recettes par groupe d'éleveurs par UZ caprine

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.2.3.2. Les charges

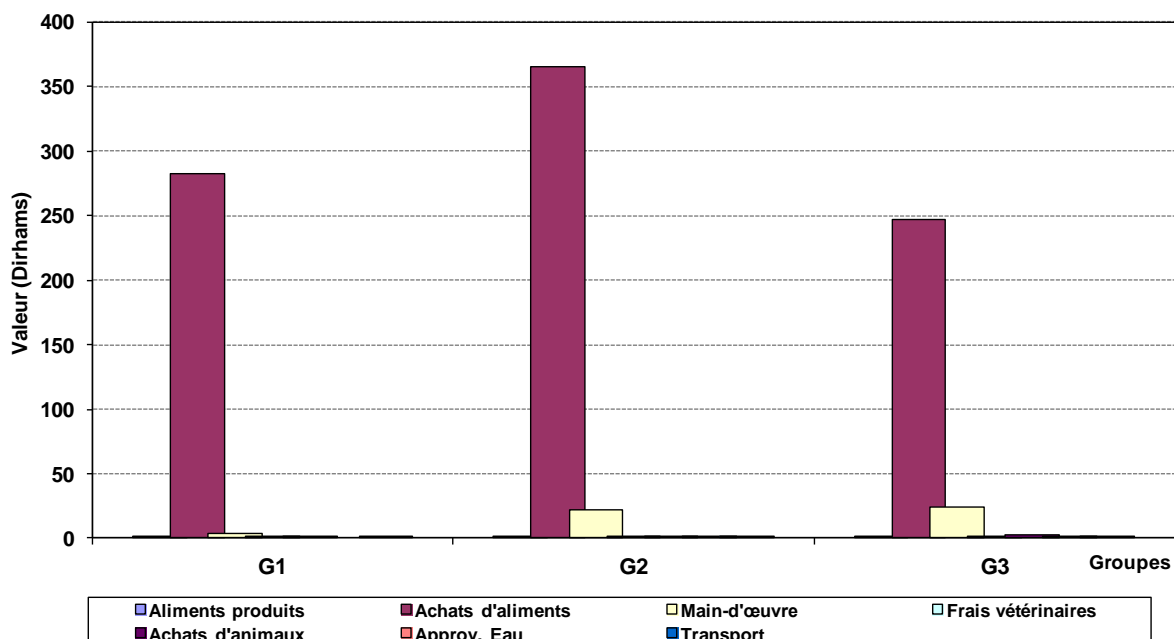
Comme pour les ovins, l'analyse de la structure des charges de production des caprins montre que les charges relatives à la supplémentation constituent l'essentiel du coût de production et influencent significativement les marges brutes et la rentabilité de l'élevage en relation avec les conditions climatiques de l'année.

On note que les charges de production caprine pour les petits éleveurs sédentaires sont plus élevées que pour les deux autres groupes. Ceci peut s'expliquer par l'effet de la supplémentation sur le montant des charges qui est de l'ordre de 365 DH/UZC pour les éleveurs du groupe II contre 275 DH/UZC en moyenne pour les deux autres groupes (-36%).

Tableau 94 : Montant des charges de production de l'UZ caprine par groupe

Charges	GI		GII		GIII	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Aliments produits	0,08	0,03	0,58	0,15	0,66	0,24
Aliments achetés	282,28	97,57	365,76	92,87	247,43	89,20
Main-d'œuvre	3,56	1,23	22,45	5,70	24,00	8,65
Frais vétérinaires	0,70	0,24	0,56	0,14	0,60	0,22
Achat animaux	1,20	0,41	1,50	0,38	2,30	0,83
Achat eau	0,00	0,00	1,20	0,30	0,56	0,18
Transport	1,50	0,52	1,80	0,46	1,90	0,68
<b>Total</b>	<b>289,32</b>	<b>100,00</b>	<b>393,85</b>	<b>100,00</b>	<b>277,39</b>	<b>100,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs



**Figure 126 : Structure des charges par groupe d'éleveurs par UZ caprine**

Source : Nos enquêtes et calculs

### 1.2.3.3. Les marges brutes

L'analyse des produits et des charges de la production caprine a permis de dégager les marges brutes en prenant en ligne de compte l'ensemble des ventes réalisées au cours de l'année sans considération des écarts d'inventaire des animaux entre le début et la fin de la campagne et en évaluant les ventes des animaux déjà disponibles au début de la campagne (écart d'inventaire).

#### a. Marge brute fictive

La marge brute fictive a été calculée par simple soustraction entre la valeur des ventes et de l'autoconsommation et la valeur des charges engagées par unité zootechnique produite et par groupe d'éleveurs.

**Tableau 95 : Marge brute fictive par UZ caprine par groupe**

Intitulé	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Charges	289,32	393,85	277,39
Recettes	300,99	297,78	360,60
<b>Marge brute</b>	<b>11,67</b>	<b>- 96,07</b>	<b>83,21</b>
<b>Rentabilité brute (%)</b>	<b>4,03</b>	<b>- 24,39</b>	<b>30,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

L'analyse des marges brutes obtenues montre que, pour le groupe II elle est négative malgré la vente d'une partie du cheptel productif (décapitalisation), soit -96,07 DH/UZC, alors que pour le groupe I, constitué de grands éleveurs, celle-ci est très faible de l'ordre de 11,67 DH/UZC, tandis que pour les petits éleveurs transhumants, elle est de l'ordre de 83,21 DH/UZC.

## b. Marge brute réelle

La marge brute réelle a été calculée en prenant en compte la valeur des ventes d'animaux existant en stock en début de la campagne et qui n'ont pas été remplacés par les naissances de l'année (variation des effectifs d'animaux en stock).

**Tableau 96 : Marge brute réelle par UZ caprine par groupe**

Intitulé	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Marge brute fictive	11,67	- 96,07	83,21
Variation des stocks	- 79,46	- 105,45	- 105,57
<b>Marge brute réelle</b>	<b>- 67,79</b>	<b>- 201,52</b>	<b>- 22,36</b>
<b>Rentabilité nette (%)</b>	<b>- 23,43</b>	<b>- 50,17</b>	<b>- 8,06</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Les résultats du calcul de la rentabilité nette de l'élevage caprin montrent que les éleveurs du groupe II (petits éleveurs sédentaires) ont réalisé des marges brutes négatives compte tenu de l'effet combiné dû aux charges relatives à la supplémentation et au taux de mortalité.

On note aussi que le groupe I, contrairement aux ovins, réalise des marges nettes négatives malgré l'apport de la supplémentation. Ceci peut être dû partiellement à la faiblesse des performances techniques, surtout en ce qui concerne les mortalités et leurs effets sur la productivité (taux de mortalité de 57% pour les Groupes I et II). Il paraît que l'élevage caprin, du moins pour la zone, est non adapté à la sédentarité ; ceci explique d'ailleurs les meilleures performances des éleveurs transhumants du groupe III, dont les marges nettes ont été les plus élevées malgré qu'elles soient négatives en relation avec les conditions exceptionnelles de sécheresse de la campagne agricole 2010-2011.

## 2. Coût virtuel du pâturage

La valeur économique de l'apport des parcours pour l'élevage ovin peut être évaluée moyennant l'estimation de la valeur de l'apport fourrager en UF pour chaque type d'élevage.

Pratiquement, l'accès aux ressources fourragères, dites gratuites, des parcours se fait sans limitation et engendre une rente spécifique pour chaque éleveur en fonction de la durée d'utilisation du parcours et de la taille du troupeau. En général, les éleveurs possédant de grands effectifs et/ou utilisant en permanence l'espace pastoral supportent un faible coût d'accès à l'herbe ce qui se traduit par des externalités sur les terres de parcours et engendre des économies sociales d'échelle liées essentiellement à la taille du troupeau.

Si on suppose que l'ensemble des éleveurs utilisent les terres de parcours pendant la même durée, chacun d'eux profite d'une rente spécifique en relation avec le prix moyen d'accès à la ressource pour l'ensemble des utilisateurs du parcours et le coût moyen d'accès à la ressource pour l'éleveur concerné.

Ainsi, profitant de l'effet de taille de leurs troupeaux, les grands éleveurs soutirent une rente positive des terres de parcours alors que les petits éleveurs soutirent une rente négative car ils profitent relativement moins de la gratuité de l'herbe.

Le coût virtuel du pâturage est calculé sur la base de l'estimation du coût de remplacement des apports fourragers des parcours par l'achat de l'aliment présentant l'apport en UF le moins cher sur le marché ; ceci suppose que si l'éleveur n'a plus accès aux ressources

fourragères gratuites à savoir les terres de parcours, il sera obligé d'acheter sur le marché l'aliment dont le rendement fourrager est le plus élevé par rapport à son prix.

En se basant sur la liste des aliments achetés sur le marché et l'apport annuel en UF des parcours, il est possible de calculer la valeur de remplacement des apports du parcours pour chaque groupe d'éleveurs.

L'orge subventionnée est l'aliment dont le coût par unité fourragère fournie est le plus faible et peut être considéré comme aliment de remplacement des apports fourragers des parcours ; sa subvention, de l'ordre de 1,8 DH/kg par rapport au prix du marché international, peut être assimilée comme une taxe sociale ou collective de la mise en défens ou de la préservation de l'ensemble ou d'une partie des parcours collectifs.

Le prix de l'unité fourragère de l'orge subventionnée est de 2 DH/UF étant donné qu'un kilogramme d'orge fournit une unité fourragère (INRA, 1988).

Les calculs par groupe d'éleveurs, présentés plus haut, montrent que les apports des parcours varient entre 50,13% pour le groupe III, constitués de petits éleveurs transhumants à 25,77% pour les petits éleveurs sédentaires. En somme, les apports des parcours sont de l'ordre de 915.544,53 UF pour l'ensemble de l'échantillon.

**Tableau 97 : Rente des parcours collectifs par groupe d'éleveurs et par élevage**

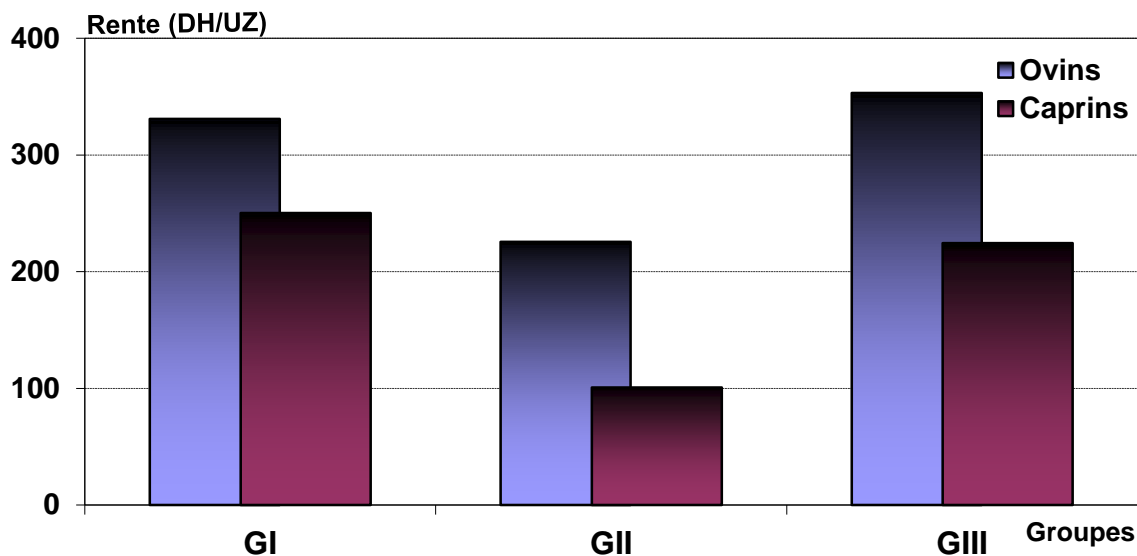
Intitulé	GI	GII	GIII
Contribution des parcours ovins (UF)	433.298,60	107.204,68	243.560,39
Contribution des parcours caprins (UF)	77.961,05	16.364,20	37.155,61
Contribution totale petits ruminants (UF)	511.259,65	123.568,88	280.716,00
Prélèvement moyen par éleveur (UF)	46.478,15	5.148,70	18.714,40
<b>Apport par UZ ovine (UF)</b>	<b>165,38</b>	<b>90,16</b>	<b>176,49</b>
<b>Apport par UZ caprine (UF)</b>	<b>125,13</b>	<b>50,35</b>	<b>112,25</b>
<b>Rente DH/UZ ovins</b>	<b>330,76</b>	<b>180,32</b>	<b>352,98</b>
<b>Rente DH/UZ caprins</b>	<b>250,28</b>	<b>100,70</b>	<b>224,51</b>
<b>Apport des parcours (DH)</b>	<b>1.022.519,30</b>	<b>247.137,76</b>	<b>561.432,00</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Le tableau ci-dessus montre que les grands éleveurs du groupe I, malgré une présence plus limitée dans le temps sur les parcours par rapport aux petits éleveurs sédentaires du groupe II, soutirent une rente individuelle moyenne de l'ordre de 165,38 UF/UZ ovine et 125,13 UF/UZ caprine, soit un apport total de l'ordre de 46.478,15 UF par éleveur contre seulement 5.148,70 UF pour les petits éleveurs sédentaires. Ceci montre l'effet de la taille des troupeaux sur la rente de l'utilisation de l'espace pastoral.

Par contre les éleveurs transhumants, utilisant un espace pastoral plus large et pendant toute l'année, gagnent une rente de l'ordre de 176,49 UF/UZ ovine et 112,25 UF/UZ caprine. Ceci montre que, malgré les apports par unité zootechnique, plus élevés pour les ovins pour les transhumants, la rente individuelle moyenne reste faible car ils ne permettent pas de compenser l'effet taille du troupeau chez les grands éleveurs, soit 18.714,40 UF contre 46.478,15 UF.





**Figure 127 : Apport des parcours collectifs par groupe et par unité zootechnique**  
 Source : Nos enquêtes et calculs

Il semble donc que la rente moyenne par éleveur est liée à trois facteurs essentiels à savoir, la taille du troupeau, sa mobilité et la durée d'utilisation des parcours. Les grands éleveurs sont moins présents sur le parcours que les éleveurs sédentaires et transhumants, mais profitent mieux de l'effet de taille pour compenser les relatives pertes en unités fourragères gagnées par les petits éleveurs suite à leur présence prolongée sur les terres de parcours (sédentaires ou transhumants).

Les coûts externes relatifs aux nuisances pour les petits éleveurs, ou externalités négatives, correspondent aux effets de la taille des troupeaux sur les prélèvements effectués par les grands éleveurs, sans qu'il y ait de compensation directe ou indirecte entre eux.

Ces coûts externes sont évalués moyennant le calcul de la différence entre la rente des parcours par unité zootechnique pour chaque éleveur et la rente moyenne de l'échantillon. Ainsi, les grands éleveurs réalisent une rente moyenne par unité zootechnique de l'ordre de 52,25 DH/UZO par rapport aux éleveurs du groupe II, constitués de sédentaires à petits effectifs d'animaux qui supportent des externalités négatives de l'ordre de - 34,03 DH/UZO. Les éleveurs transhumants, malgré les faibles effectifs qu'ils possèdent, réalisent une rente positive de l'ordre de 16,13 DH/UZO grâce à leur mobilité qui leur permet de bénéficier relativement de plus d'apport fourragère que les éleveurs sédentaires (utilisation de plus d'espace pastoral).

### 3. Evaluation de la marge brute en année favorable

Pour nous permettre d'avoir une idée précise sur les marges réalisées par les éleveurs en année favorable et sachant, selon les résultats de l'enquête, qu'en année normale les éleveurs ne pratiquent la supplémentation qu'en période de soudure, soit la période allant du début du mois de Juillet à fin Septembre, nous avons recalculé les charges relatives à la supplémentation pour la période de soudure pour les trois groupes d'éleveurs.

#### 3.1. Variation des charges de Supplémentation

##### 3.1.1. Cas des Ovins

Les résultats obtenus montrent que les charges de la supplémentation des ovins passent en moyenne pour l'ensemble de l'échantillon de 654,48 DH/UZO à 189,52 DH/UZO. Le tableau

suyant donne une idée sur la variation des charges d'alimentation achetée entre une année sèche et une année favorable pour chaque groupe d'éleveurs.

**Tableau 98 : Charges d'achat de l'alimentation ovine selon la qualité de l'année**

Intitulé	GI	GII	GIII	Moyenne
Année défavorable	604,77	762,15	518,67	654,48
Année favorable	199,57	206,30	153,55	189,52
Diminution (%)	67,00	72,93	70,39	70,10

Source : Nos enquêtes et calculs

### 3.1.2. Cas des Caprins

En année favorable, les charges de la supplémentation pour les caprins passent en moyenne de 298,49 DH/UZC à 88,49 DH/UZC, soit une chute de l'ordre de 70% ce qui représente une économie de l'ordre de 210 DH/UZC.

**Tableau 99 : Charges d'achat de l'alimentation caprine selon la qualité de l'année**

Intitulé	GI	GII	GIII	Moyenne
Année défavorable	282,28	365,76	247,43	298,49
Année favorable	93,16	99,03	73,28	88,49
Diminution (%)	67,00	72,93	70,39	70,10

Source : Nos enquêtes et calculs

## 3.2. Calcul des marges fictives et réelles

### 3.2.1. Cas des Ovins

En gardant l'ensemble des autres paramètres inchangés (charges et recettes), nous avons calculé la marge brute fictive et réelle pour chaque groupe d'éleveurs sur la base des éléments du tableau n° 99 ci-dessus.

**Tableau 100 : Marge brute fictive et réelle de l'UZ ovine en année favorable**

Intitulé	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Charges	217,21	267,88	216,35
Recettes	789,50	913,83	763,60
<b>Marge brute fictive</b>	<b>572,29</b>	<b>645,95</b>	<b>547,25</b>
<b>Rentabilité brute (%)</b>	<b>263,47</b>	<b>241,13</b>	<b>252,94</b>
Variation des stocks	- 68,43	- 337,98	- 193,39
<b>Marge brute réelle</b>	<b>503,86</b>	<b>307,98</b>	<b>353,86</b>
<b>Rentabilité nette (%)</b>	<b>231,96</b>	<b>114,96</b>	<b>163,55</b>
<b>Plus-value / défavorable</b>	<b>405,20</b>	<b>555,86</b>	<b>365,12</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Les résultats montrent qu'en année favorable les éleveurs réalisent en moyenne une marge brute de l'ordre de 389 DH/UZO. Celle-ci est plus élevée chez les grands éleveurs du groupe I qui réalisent en moyenne une marge de l'ordre de 503,86 DH/UZO, alors que pour les petits éleveurs sédentaires, elle est de l'ordre de 308 DH/UZO.

Il paraît que lorsque les conditions climatiques redeviennent favorables, ce sont plutôt les éleveurs sédentaires qui profitent plus de ce changement en réalisant une plus-value de l'ordre de 555,86 DH/UZO. Les petits éleveurs transhumants, plus résilients à la sécheresse et les grands éleveurs, grâce à leurs possibilités de mobilisation de fonds propres pour l'achat de la supplémentation lors des années sèches, profitent relativement moins du retour des conditions favorables sur les parcours.

### 3.2.2. Cas des Caprins

L'analyse de la variation des marges brutes réelles et fictives entre une année de sécheresse et une année favorable montre que lorsque les conditions de l'élevage sur les parcours redeviennent favorables, la rentabilité de l'élevage caprin est redevenue positive pour tous les groupes malgré qu'elle soit restée faible par rapport à la rentabilité de l'élevage ovin (170% contre 103%).

**Tableau 101 : Marge brute fictive et réelle de l'UZ caprine en année favorable**

Intitulé	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Charges	100,20	127,12	103,24
Recettes	300,99	297,78	360,60
<b>Marge brute fictive</b>	<b>200,79</b>	<b>170,66</b>	<b>257,36</b>
<b>Rentabilité brute (%)</b>	<b>200,39</b>	<b>134,25</b>	<b>249,28</b>
Variation des stocks	- 79,46	- 105,45	- 105,57
<b>Marge brute réelle</b>	<b>121,33</b>	<b>65,21</b>	<b>151,79</b>
<b>Rentabilité nette (%)</b>	<b>121,09</b>	<b>51,30</b>	<b>147,03</b>
<b>Plus-value / défavorable</b>	<b>189,12</b>	<b>266,73</b>	<b>174,15</b>

Source : Nos enquêtes et calculs

Lorsque les conditions climatiques redeviennent favorables, ce sont toujours les petits éleveurs sédentaires qui profitent plus de ce changement en réalisant une plus-value de l'ordre de 266,73 DH/UZC par rapport à l'année défavorable.

## **E. EVALUATION DE L'ATTRACTIVITE DES PARCOURS**

Les parcours collectifs de la commune rurale de Tissaf sont exploités selon le droit coutumier entre trois grandes fractions à savoir les Ziaina, Toual et Oulad Boukais. L'accès à ces parcours est libre pour tous les usagers avec une acceptation temporaire des éleveurs transhumants provenant des autres tribus avoisinantes.

### **1. Analyse de la répartition spatiale des éleveurs**

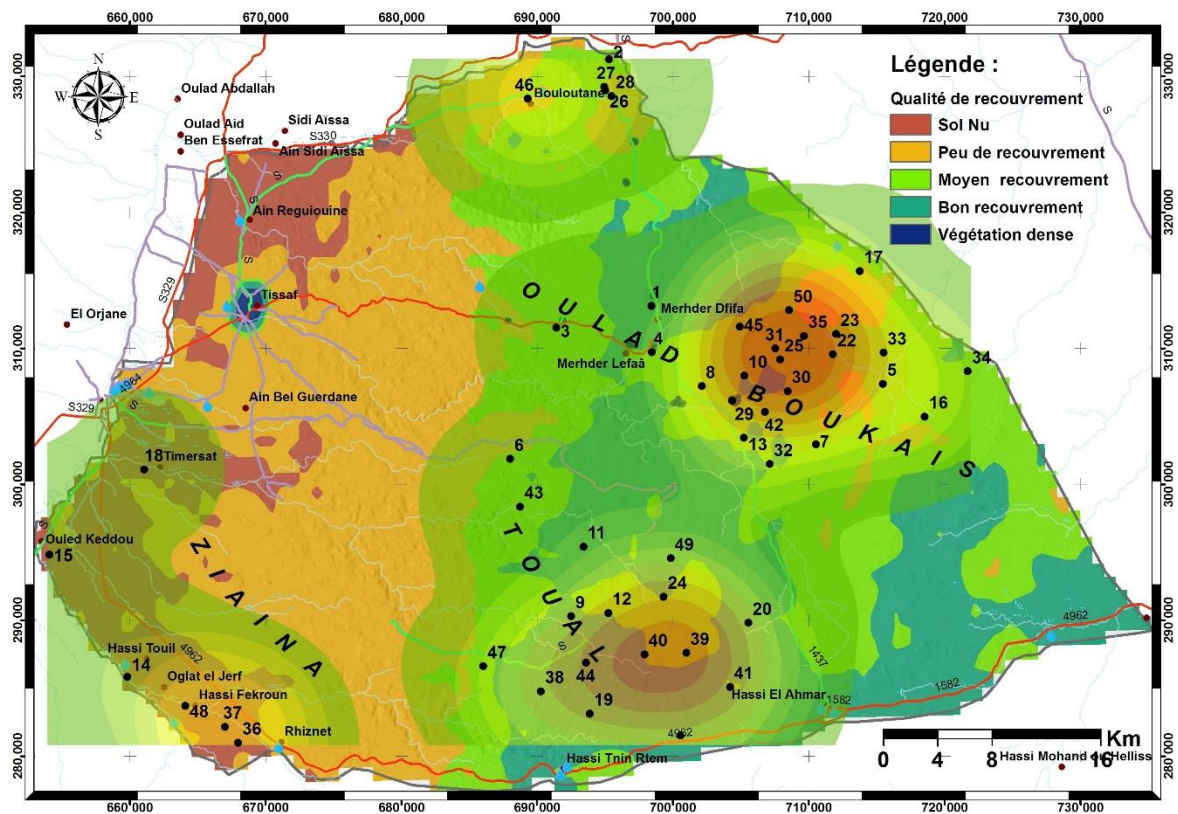
A travers les positions spatiales de l'échantillon d'éleveurs enquêtés, on remarque que les localisations spatiales des éleveurs sont sous forme de trois grands agrégats en relation avec les règles coutumières de répartition du territoire entre les trois fractions de la zone.

Le regroupement statistique des éleveurs (Grouping Analysis), en se basant uniquement sur leurs positions géographique (X et Y), montre que l'agrégation des éleveurs en trois groupes est conforme à leur appartenance ethnique, autrement dit l'ethnie influence fortement la position géographique des éleveurs. Ceci indique clairement que derrière un apparent libre accès au territoire se dissimule une forte appropriation de l'espace pastoral entre les fractions qui se traduit concrètement par une forte agrégation spatiale des lignages dans l'espace pastoral (indice d'autocorrélation spatiale de Moran = 0,7108, P value = 0,000).

Il est généralement admis que les droits de pâturage sont détenus par la tribu, mais en pratique chaque fraction possède une mouvance territoriale propre et utilise de manière privilégiée certaines zones de parcours (Mhirit et al., 1999). Ceci corrobore les résultats obtenus concernant la localisation des éleveurs de la zone de Tissaf dont l'agrégation est fortement liée à l'appartenance ethnique (fraction).

Il est important de noter que les éleveurs des lignages de montagne Oulad Boukais et Toual sont concentrés sur les hautes altitudes en relation avec la qualité de la végétation. Tandis que les éleveurs de la vallée (Ziaina) semblent éviter les terrains nus du Sud-Ouest de la commune et préfèrent rester à proximité de l'axe routier menant vers le chef-lieu de la commune d'Outat Lhaj.

Ainsi, les positions de campement ou de sédentarisation des éleveurs paraissent obéir principalement aux droits d'usage coutumiers définissant des aires de pâturage des trois grandes fractions de la zone. A l'intérieur de l'espace pastoral de chaque fraction, les éleveurs optimisent leur localisation géographique en choisissant les terrains de parcours de meilleure qualité (espèces végétales de haute valeur nutritive), mais restent aussi sensibles à leur éloignement par rapport au réseau de transport (accès au marché et aux services publics).



**Figure 128 : Position de sédentarisation des éleveurs**  
 Source : Nos enquêtes et traitements

## 2. Analyse de la répartition spatiale des groupes d'éleveurs

L'analyse de la répartition des éleveurs enquêtés dans l'espace pastoral de la commune de Tissaf moyennant l'indice de Moran (Moran, 1953) en vue de l'identification d'une éventuelle agrégation spatiale des éleveurs selon leur mode de conduite des troupeaux (groupes I, II et III), montre que les éleveurs sont répartis aléatoirement dans l'espace pastoral (Indice d'autocorrélation spatiale de Moran = 0,0008, P value = 0,835). Ceci implique que les grands éleveurs semi-nomades, les éleveurs transhumants et les petits éleveurs sédentaires se côtoient d'une manière aléatoire dans l'espace niveau de la zone sans aucune relation apparente avec les modes de conduite pratiqués.

Ainsi, on note que trois modes de conduite existent au sein de l'ensemble des lignages et que la localisation spatiale et l'appartenance ethnique n'influencent pas le mode de conduite des élevages au niveau de la zone.

La carte suivante montre la localisation géographique sur le territoire des éleveurs enquêtés selon les trois modes de conduite.



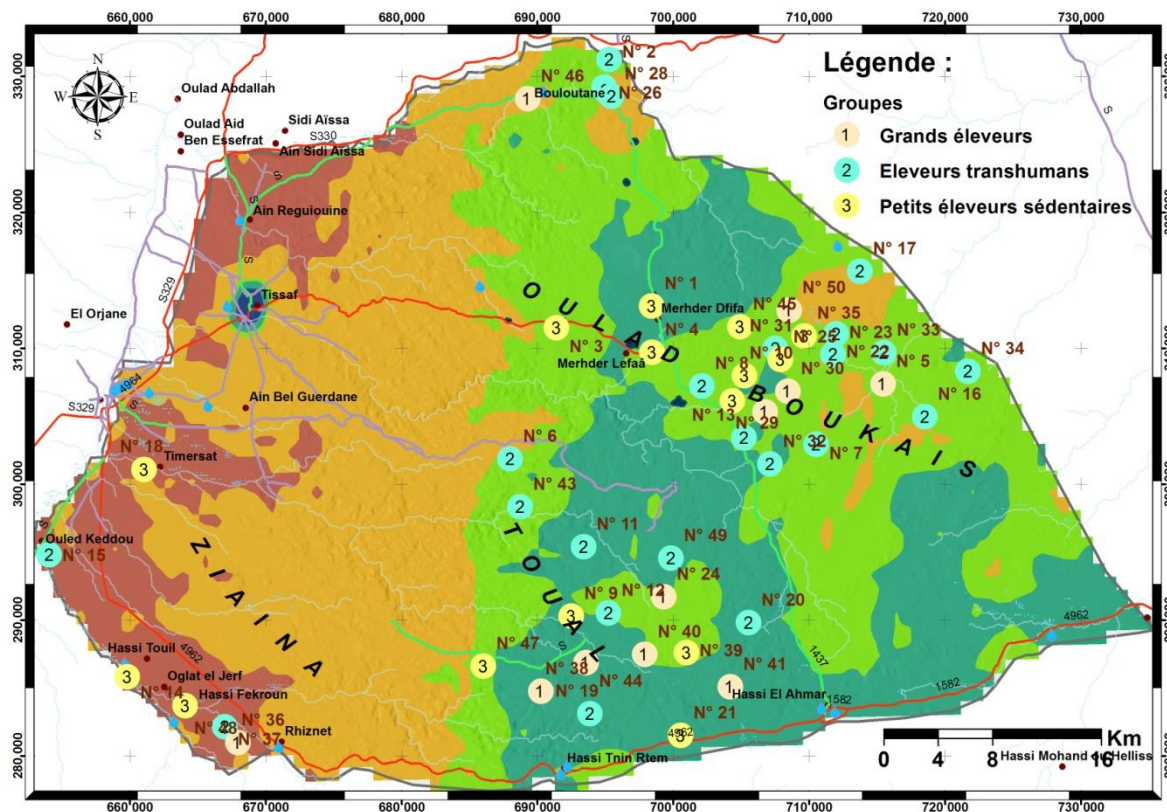


Figure 129 : Position de sédentarisation des éleveurs selon leur groupe

Source : Nos enquêtes et traitements

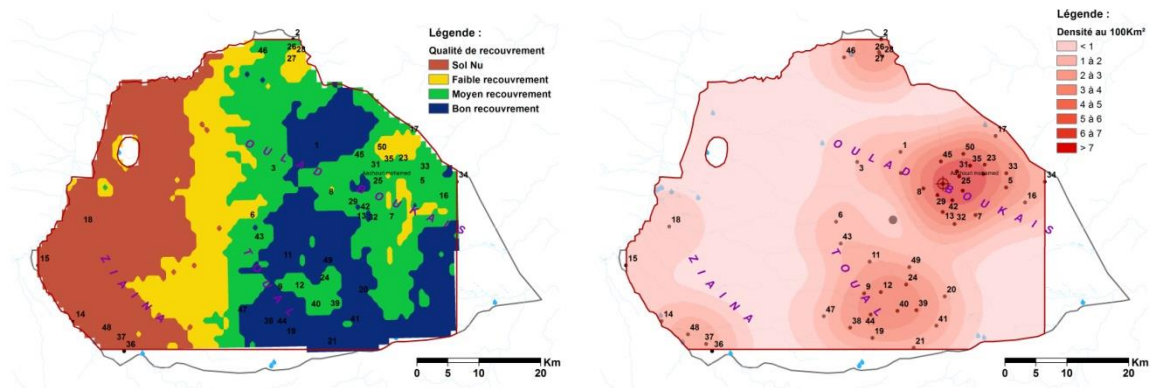
### 3. Effet de la qualité de la végétation sur la répartition spatiale des éleveurs

L'observation visuelle des positions des éleveurs dans l'espace pastoral de la commune montre une concentration des positions de campement ou de sédentarisation des éleveurs dans les zones ayant une bonne qualité de biomasse (NDVI).

En effet, l'analyse des positions des éleveurs en fonction de la qualité du recouvrement approchée moyennant la stratification en 5 classes de NDVI de l'année 2009 (année favorable), montre, sauf pour la fraction des Ziaina, située dans la vallée, que l'ensemble des éleveurs est positionné globalement sur les aires de bon à moyen recouvrement.

En vue d'étudier l'effet de la qualité de la végétation sur la répartition des éleveurs dans l'espace pastoral, la corrélation entre la densité des éleveurs pour l'échantillon étudié (Kernel Density Estimation) et les classes de qualité de végétation (classes du NDVI de 2009) a été calculée pour l'ensemble de la commune.

La corrélation spatiale entre la couche densité des éleveurs et les classes de qualité du recouvrement végétal (non compris le PMH de Tissaf) montre un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,43.



**Figure 130 : Relation entre la qualité du recouvrement et la densité des éleveurs**

Source : Données VITO/NDVI, nos enquêtes et traitements

Si on ne tient pas compte des éleveurs de la fraction des Ziaina, localisés dans la vallée compte tenu des restrictions de déplacement inhérentes à leur droit d'usage, le coefficient de corrélation entre la qualité de recouvrement végétal et la densité des éleveurs sera de l'ordre de 0,45.

Ceci montre que, malgré la différence de la qualité de la végétation entre les différentes fractions de la zone (vallée/montagne), il existe d'une manière systématique des limites implicites de déplacement des troupeaux entre les différentes fractions de la zone. Les barrières sociales et les droits d'usage semblent être les facteurs importants qui expliquent l'appropriation sociale du territoire et les dynamiques de déplacement des troupeaux.

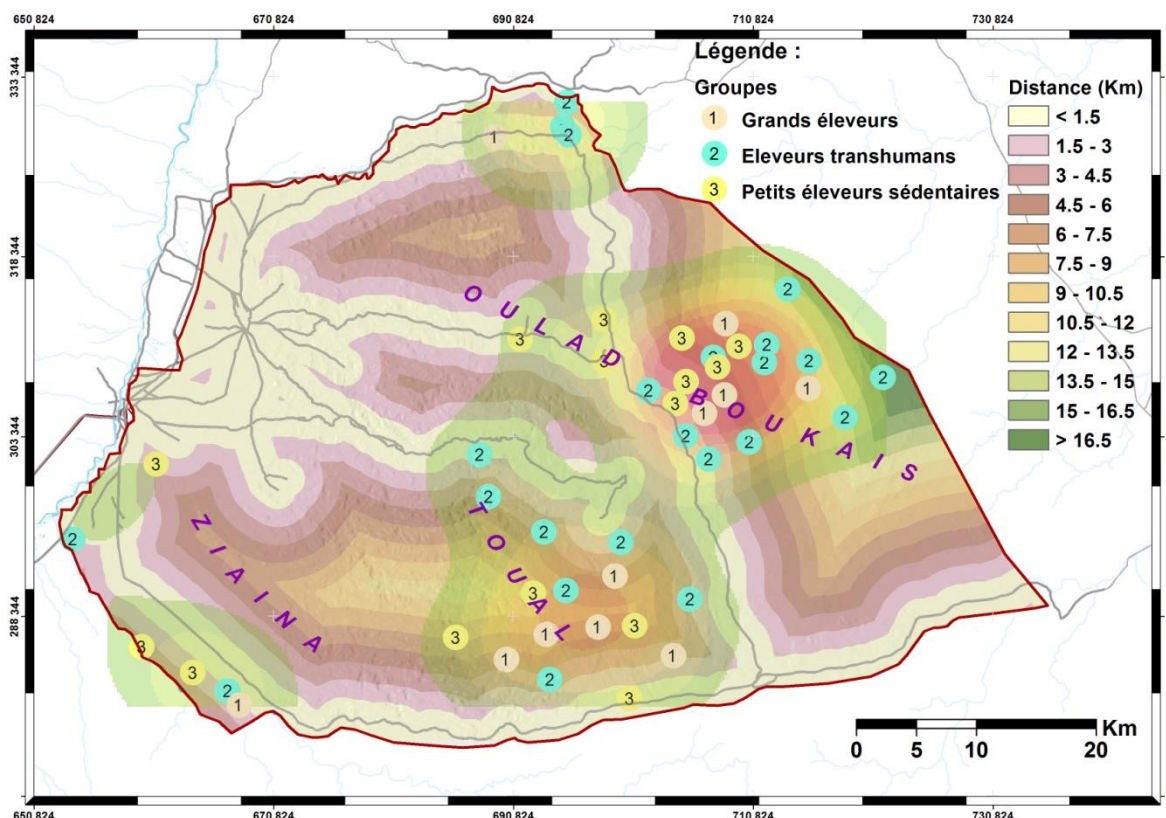
#### 4. Effet de la proximité au réseau routier

Comme signalé dans la partie descriptive, l'ensemble du réseau routier de la commune est sous forme de pistes et sentiers ruraux accessibles seulement par véhicules tout terrain et par camions.

En plus de la qualité de la végétation, la proximité du réseau routier semble jouer un rôle différencié dans le choix des points de sédentarisation ou de campement des éleveurs de la commune. Ainsi, en vue d'évaluer l'impact de cette proximité au réseau routier sur le choix des points de sédentarisation des éleveurs, nous avons évalué l'accessibilité de l'ensemble de la zone d'intérêt moyennant le calcul de la distance euclidienne par rapport au réseau routier.

Normalement, la proximité au réseau routier devrait être positivement valorisée par les éleveurs et les ordres de grandeur devraient varier selon l'attractivité des parcours et les modes de conduite des élevages au niveau de la zone. Ainsi, pour la fraction des Ziaina, où la qualité des parcours est médiocre, les éleveurs tendent à se sédentariser à proximité du réseau routier. La distance entre les points de campement et le réseau routier ne dépasse jamais 5 km. Par contre, pour les deux autres fractions où l'attractivité des parcours les plus enclavés est grande (bon recouvrement végétal), il semble que la proximité du réseau routier ne joue pas un rôle important dans les stratégies du choix des points de campement des éleveurs, surtout pour les éleveurs transhumants qui cherchent à maximiser les prélèvements sur les pâturages indépendamment de leur accessibilité.

Suite à la succession de plusieurs années de sécheresse, il semble que la distance au réseau routier (accessibilité des parcours) est de moins en moins considérée dans le processus de prise de décision quant au choix des points de campement des éleveurs.



**Figure 131 : Carte de la densité du réseau routier**

Source : Cartes topographiques du Maroc, nos enquêtes et traitements

## 5. Relation entre le rayon de déplacement et la qualité des parcours

L'analyse du rayon de déplacement des troupeaux montre que la distance journalière maximale parcourue par les troupeaux à la recherche des meilleurs pâturages est de l'ordre de 12 km (va et vient). Au-delà de cette distance les éleveurs jugent que les prélèvements additionnels sur les parcours ne peuvent compenser les pertes supplémentaires en énergie inhérentes aux distances quotidiennes parcourues.

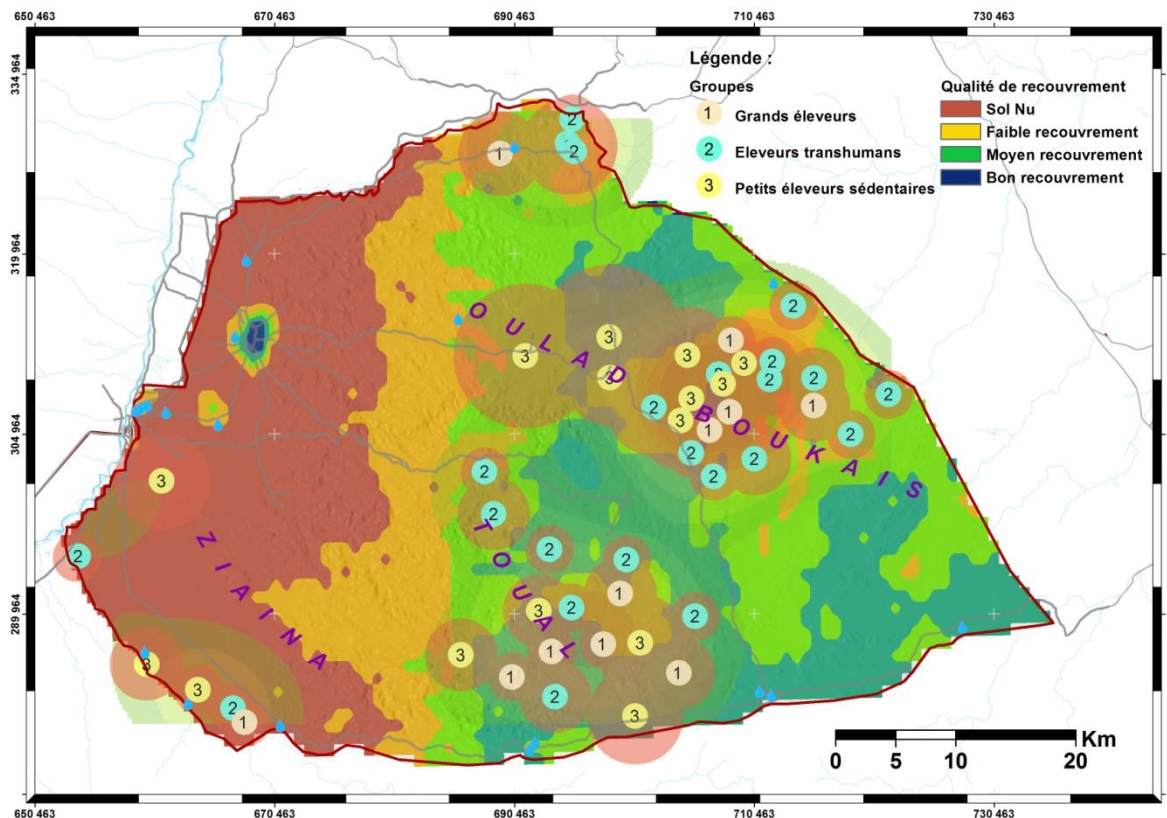
En général, le rayon de déplacement entre le lieu de pâturage et la zone de campement est de l'ordre de 3,5 à 6 km pour l'ensemble de l'échantillon étudié.

L'analyse de la corrélation statistique entre le rayon de déplacement et la qualité des parcours moyennant l'utilisation des outils d'analyse spatiale, montre une relation positive entre la qualité des parcours et le rayon de déplacement (0,35). Il semble, dans notre contexte de parcours à faible productivité, que l'augmentation de la qualité des parcours encourage le troupeau à sillonner plus d'espace, par contre si celle-ci devient plus faible, le troupeau est moins incité à exploiter plus d'espace pastoral (faible compensation de l'effort fourni).

L'effectif du troupeau, la proximité par rapport aux autres lieux de campements et la qualité de la végétation in situ jouent également des rôles importants dans la prise de décision concernant le rayon de déplacement du troupeau. On note qu'en général les petits éleveurs sédentaires localisés dans les zones les moins denses en termes d'effectifs d'éleveurs profitent d'espaces plus étendus que les éleveurs situés sur des parcours de meilleure qualité pastorale mais plus denses en termes d'effectifs d'éleveurs (corrélation négative).



Par ailleurs et en vue d'éviter les conflits entre les différents éleveurs autour de l'aire de pacage, il est implicitement instauré une distance minimale entre les lieux de campement des éleveurs à l'intérieur de chaque fraction, soit une sorte de zone tampon. Les résultats de l'analyse spatiale montrent que cette distance est toujours supérieure à 2 km (sauf pour les petits éleveurs sédentaires pouvant se constituer en agrégats). Entre les fractions cette distance augmente à 8 km.



**Figure 132 : Relation entre le rayon de déplacement et la qualité du recouvrement**  
Source : Données VITO/NDVI, nos enquêtes et traitements

Si on calcule la matrice des corrélations linéaires entre ces différentes couches d'information obtenues, on note que les variables les plus déterminantes dans l'explication du rayon de déplacement des éleveurs sont la qualité de la végétation (NDVI) et un peu moins le mode de conduite de l'élevage. L'effectif ovin et l'appartenance ethnique (fraction) ne semblent pas contribuer à l'explication de la distance de déplacement.

**Tableau 102 : Matrice des corrélations des facteurs liés au rayon de déplacement**

	NDVI	Rayon	Ovins	Fraction	Groupe
NDVI	1,00				
Rayon	0,35	1,00			
Ovins	-0,14	-0,10	1,00		
Fraction	0,34	-0,05	0,07	1,00	
Groupe	0,04	-0,20	-0,75	-0,06	1,00

Source : Données VITO/NDVI, nos enquêtes et traitements

En résumé, on peut dire que spatialement les éleveurs de la commune forment trois agrégats en relation avec l'appartenance ethnique. Dans chaque agrégat, la densité des éleveurs est en fonction de la qualité des parcours dans chaque fraction. Du point de vue des positions géographiques des éleveurs, les résultats montrent que, généralement, les

grands éleveurs semi-nomades forment le centre de l'agrégat alors que la périphérie est occupée par les éleveurs sédentaires qui exploitent des aires de pâturage plus grandes et de moindre qualité.

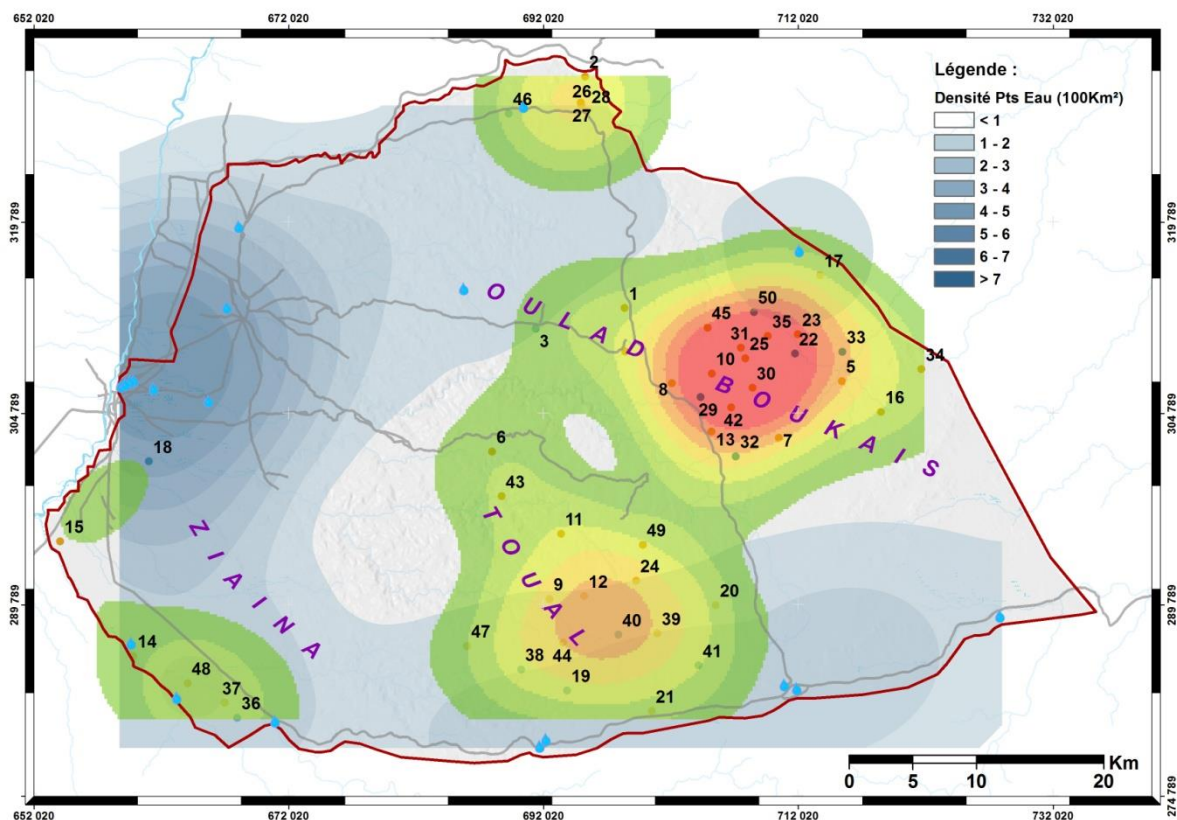
De point de vue voisinage, des règles de respect du territoire individuel semblent être instaurées par la communauté des éleveurs (distance minimale entre les éleveurs et les fractions).

L'ensemble de ces règles d'exploitation de l'espace pastoral paraissent obéir à un système de gestion intégré englobant l'appartenance ethnique (fraction), la qualité du parcours utilisé, la densité des éleveurs et l'ensemble des règles liées au respect du voisinage entre les éleveurs de la zone.

## 6. Effet de la proximité des points d'eau permanents

L'analyse de la carte de densité des points d'eau permanents au niveau de la commune de Tissaf montre plutôt une corrélation négative entre la densité des éleveurs et celle des points d'eau. En effet, si la majorité des points d'eau permanents est localisée dans la vallée, la plupart des éleveurs se sont installés sur les hautes altitudes à la recherche des meilleures terres de parcours.

Le coefficient de corrélation entre les deux couches d'information est de l'ordre de -0,35 ce qui implique que la stratégie des éleveurs se base avant tout sur la maximisation du prélèvement fourrager pour le troupeau indépendamment des disponibilités de l'eau d'abreuvement (existence d'un marché de transport et de distribution d'eau aux éleveurs).



**Figure 133 : Carte de densité des points d'eau et positions des éleveurs**

Source : Données ERES (1972), nos enquêtes et traitements



Les éleveurs évitent de se positionner trop près des points d'eau permanents (puits et sources) à cause de leur accessibilité à l'ensemble de la communauté. En effet, les trajets empruntés par les troupeaux en vue d'atteindre ces points d'abreuvement rendent l'ensemble des aires de pâturage, situées sur leur voie, accessibles à tous les éleveurs, ce qui implique un prélèvement fourrager non contrôlé sur ces aires.

De ce fait, les éleveurs cherchent à se placer sur des aires de pâturage éloignées des circuits et points d'abreuvement du bétail en vue de maîtriser l'aire de pâturage avoisinant et éviter son utilisation, même à titre transitoire, par les autres éleveurs de la zone. Il paraît que les éleveurs s'approprient des niches de pâturage qu'ils tentent de préserver pour une exploitation individuelle. Généralement, la distance minimale entre le lieu de campement et le point d'eau le plus proche est toujours supérieure à 3 km.

## **7. Effet de la localisation spatiale sur les performances techniques**

En vue d'étudier l'effet de la localisation sur les performances techniques des éleveurs, nous avons évalué la relation entre la position spatiale des éleveurs et leurs productivités techniques en termes de poids vif produit par unité zootechnique ovine (kg de PV/UZO).

Les résultats de la spatialisation des productivités techniques des éleveurs montrent que celles-ci sont réparties aléatoirement dans l'espace pastoral (Indice de Moran = -0,0293, P value = 0,924). La localisation géographique et sa relation avec la qualité des parcours n'ont pas un effet déterminant sur les niveaux de performances techniques des éleveurs (pas d'agrégation spatiale des éleveurs en fonction de leurs performances techniques).

Par ailleurs, l'analyse statistique des déterminants des performances techniques des éleveurs de la zone en fonction des paramètres de reproduction montre que les principaux facteurs de variation de ces performances concernent les taux de réforme et de fertilité du troupeau et la valeur des charges engagées pour les soins vétérinaires.

En effet, les résultats de la régression linéaire montrent que la productivité technique brute de l'élevage ovin est fortement liée au taux de réforme. Ceci confirme les résultats déjà mentionnés dans l'analyse de la productivité brute des élevages ovins de la région qui montrent qu'en conjoncture difficile d'année de sécheresse, les éleveurs ont tendance à diminuer les effectifs du troupeau ovin pour subvenir aux besoins de la supplémentation.

Les performances techniques sont également en relation avec le taux de fertilité du cheptel et les charges liées aux soins vétérinaires. Ceci montre que ces performances sont bien évidemment liées aux paramètres de reproduction du troupeau (fertilité), mais également au montant des charges vétérinaires engagées. Les coefficients de régression obtenus montrent l'effet positif des charges vétérinaires engagées sur les performances techniques réalisées par les éleveurs.

Dans ce sens, on peut noter que les performances techniques des élevages au niveau de la zone peuvent davantage être améliorées par un meilleur encadrement sanitaire et par le biais d'une généralisation des soins vétérinaires (campagnes de vaccination).

**Tableau 103 : Modèle de régression relatif aux performances techniques des éleveurs**

Modèle	Coefficients	Test t	Significativité	R <sup>2</sup>
Constante	-5,150	-1,135	0,262	0,862
Taux de réforme	0,432	11,928	0,000	
Taux de fertilité	0,303	5,912	0,000	
Charges vétérinaires	0,651	4,015	0,000	

Source : Nos enquêtes et calculs

## F. ELABORATION D'UN MODELE D'EVALUATION DE L'ATTRACTIVITE DES PARCOURS

Dans un monde où les décisions d'allocation des ressources et leur distribution entre les différents utilisateurs deviennent de plus en plus complexes, un effort important doit être accordé à la mise en place d'interfaces flexibles basées sur un panel réduit d'informations pertinentes (Barbari et al., 2006). Pour répondre à cet objectif il est nécessaire d'utiliser un modèle basé sur un ensemble de critères appropriés en relation avec l'attractivité des parcours de la zone étudiée. Une telle procédure est appelée évaluation multicritères (Carver, 1991).

L'attractivité des ressources pastorales considérées comme gratuites par les éleveurs et le manque de règles d'utilisation commune ainsi que la dégradation de ces zones ont provoqué une inquiétude croissante parmi les gestionnaires et les éleveurs eux-mêmes quant à la capacité de ces terres à supporter d'une manière durable une charge animale importante. Dans une conjoncture climatique de moins en moins favorable, un effort doit être consenti en vue de déterminer les aptitudes des terres à supporter le pâturage avec des charges optimales en relation avec le potentiel intrinsèque.

Dans ce sens, un modèle d'adéquation pondérée « Weighted Suitability Model » a été développé en utilisant des techniques de SIG en vue de subdiviser le territoire en différentes aires d'attractivité pour le pâturage. Ce modèle peut servir à identifier les zones d'intervention prioritaires pour une meilleure gestion des ressources pastorales ou pour la mise en place de mécanismes de compensation pour la mise en défens.

Le calcul et la classification de l'aptitude des terres au pâturage ont été réalisés en tenant compte de l'ensemble des caractéristiques biophysiques en relation avec la qualité des parcours. Les facteurs pris en compte sont l'apport fourrager des faciès pastoraux (UF/Ha), la pente, la qualité du climat (aridité), la distance par rapport aux points d'eau, la distance au réseau routier.

Dans notre cas où nous avons utilisé l'analyse de superposition pondérée (Weighted Overlay) le modèle est décomposé en plusieurs sous-modèles à plusieurs couches. Chaque couche d'entrée, dont les pixels sont reclassés sur une échelle de pertinence de 1 à 10 (valeurs entières), est multipliée par son poids relatif et ajouté aux autres couches en vue d'obtenir la couche finale d'attractivité des parcours. Ceci peut être résumé à travers l'équation suivante (Eastman, 2001) :

$$S = \sum_{i=1}^n (W_i X_i)$$

Avec       $W_i$     : Poids du critère  $i$  ;  
               $X_i$     : Scores du critère  $i$  ;  
               $S$       : Attractivité de chaque pixel.

Les couches thématiques d'entrée du modèle sont normalisées sur une échelle de 1 à 10 en relation avec la qualité du facteur par rapport à l'aptitude au pâturage (10 étant la plus favorable). Les valeurs de préférence sont donc sur une échelle relative ce qui implique que la valeur 10 est deux fois plus préférée que 5.

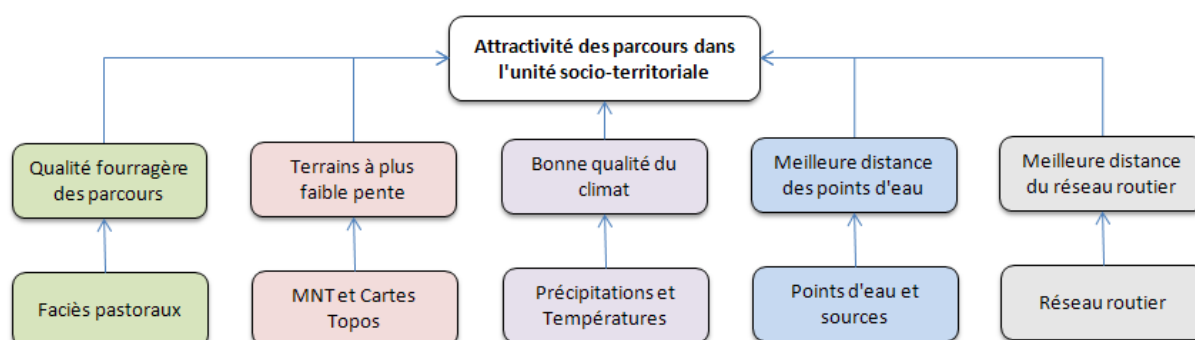
**Tableau 104 : Normes de classification des facteurs**

Facteur		Normes de classification									
Productivité fourragère	Valeur	0	10	30	40	50		70	80	100	135
	Classe	1	2	3	4	5		7	8	9	10
Pente	Valeur	> 45	45-40	40-35	35-30	30-25	25-20	20-15	15-10	10-5	< 5%
	Classe	Exclu	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aridité (*100)	Valeur	<7,3	7,3-8,2	8,2-9,1	9,1-10	10-10,9	10,9-11,8	11,8-12,7	12,7-13,6	13,6-14,5	>14,5
	Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Distance routes	Valeur	< 1,5	1,5-3	3-4,5	4,5-6	6-7,5	7,5-9	9-10,5	10,5-12	12-13,5	>13,5
	Classe	6	8	10	10	7	6	5	4	4	4
Distance eau	Valeur	< 1	1-2	2-3	3-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	>10
	Classe	1	2	7	10	9	8	7	5	4	4

Source : Données VITO/NDVI, ERES (1972), STRM (CGIAR-CSI, 2008) + nos calculs

Le calcul de l'attractivité relative a été réalisé à travers l'utilisation de l'outil « Model Builder » d'ArcGIS 10.2.

Le diagramme suivant donne une présentation des données utilisées, des étapes de déroulement et des processus utilisés en vue d'atteindre les objectifs fixés.



**Figure 134 : Diagramme de calcul de l'attractivité des parcours de la CR de Tissaf**

Ainsi, en vue d'éditer la carte finale d'attractivité des parcours de la zone de Tissaf, un ensemble de traitements a été nécessaire pour préparer les couches d'informations nécessaires au modèle de superposition pondérée. La section suivante détaille les principales étapes effectuées :

### 1. Délimitation des unités socio-territoriales

Sur la base des résultats obtenus auparavant, on note que le droit d'usage influence fortement l'attractivité des parcours de chaque fraction de la commune. Le calcul de

l'attractivité de ces parcours doit donc se faire en prenant en ligne de compte l'ensemble des contraintes liées aux droits d'usage des populations locales. En effet, les résultats précédents ont montré l'existence au niveau de la commune de deux grandes unités socio-territoriales à savoir les zones de la vallée occupées en partie par la fraction des Ziaina et le domaine de montagne englobant les fractions des Touals et Ouled Boukkais.

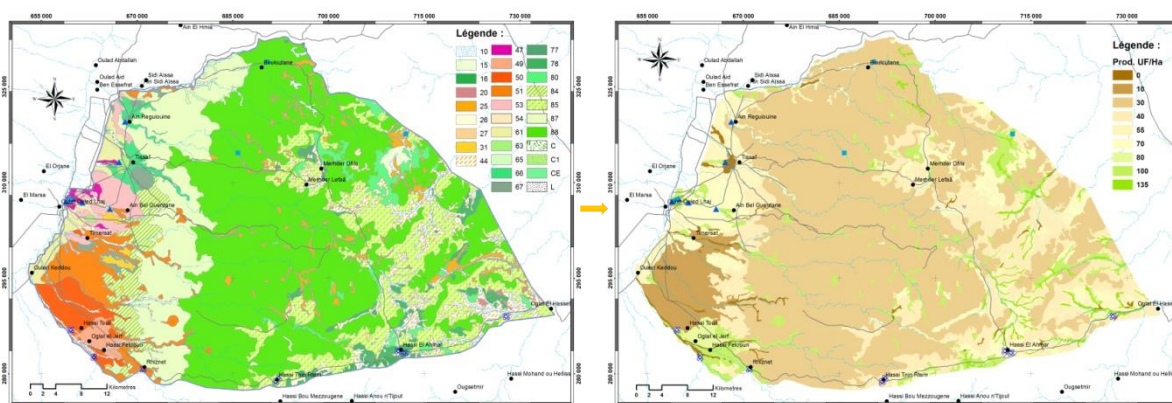
Compte tenu de ces résultats il s'est avéré donc nécessaire de procéder à l'étude de l'attractivité du territoire de la commune en relation avec les deux grandes unités socio-territoriales dont les règles d'usage et les caractéristiques biophysiques influencent fortement l'attractivité.

## 2. Productivité des faciès pastoraux de la zone de Tissaf

L'attractivité des parcours est fortement influencée par la qualité de la végétation pastorale et surtout par sa valeur fourragère pour les animaux. Dans ce sens, la carte relative à la productivité des faciès pastoraux de la zone a été utilisée en vue de caractériser la qualité de ces faciès en termes de rendement fourrager.

La carte des faciès de la commune de Tissaf a été extraite à partir de l'étude ERES de 1972 (ERES, 1972) ; elle est basée sur la couverture aérienne au 1/40.000 de la zone steppique du Maroc oriental. Ainsi, du point de vue apport fourrager, les parcours de Tissaf oscillent entre 0 à 200 UF/ha selon le type de faciès et la qualité fourragère de la flore. En moyenne la valeur fourragère de la zone est de 13.407.528,53 UF, soit un rendement moyen de l'ordre de 45,92 UF/ha.

Sur la base de cette carte, le territoire de la commune de Tissaf a été subdivisé en un indice normalisé sur une échelle de 1 à 10 en relation avec l'apport fourrager de chaque faciès pastoral.



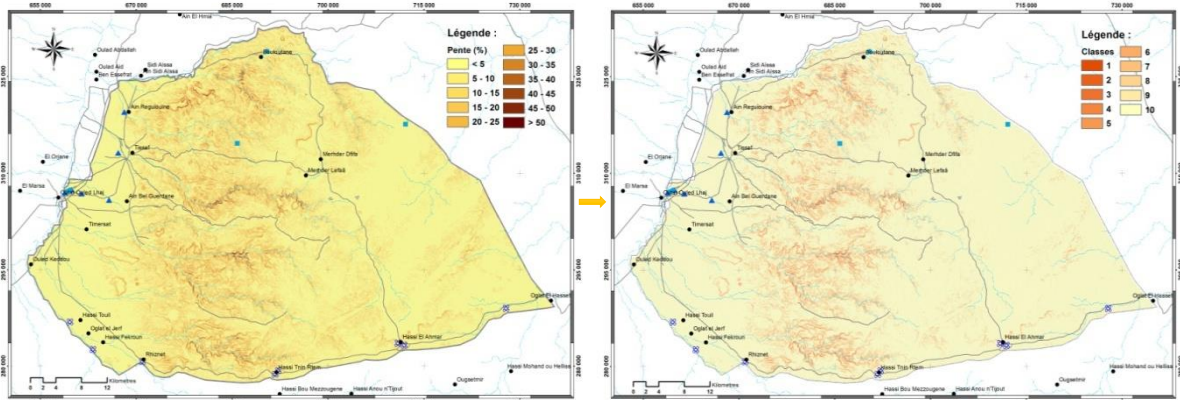
**Figure 135 : Cartes des niveaux de la productivité fourragère des parcours de Tissaf**  
Source : ERES, 1972 + nos traitements

## 3. Les niveaux de pente

Pour les ovins et les caprins, en zone non arborée, les niveaux de pente accessibles ne peuvent dépasser 45% (Vallentine, 2001) ; au-delà de cette valeur les animaux ont des difficultés à utiliser ces espaces. Dans ce sens, l'ensemble des terrains ayant une pente supérieure à 50% a été extrait de l'analyse, le reste des pentes a été étalé sur une échelle de 1 à 10 en fonction de sa qualité.



Les résultats concernant les classes de pente montrent que moins de 1% du territoire de la commune présente des pentes supérieures à 50%. Ces zones de fortes pentes sont situées sur la dorsale montagneuse au centre de la commune et ayant une direction nord-sud.



**Figure 136 : Cartes de la qualité des pentes de la CR de Tissaf**  
Source : STRM (CGIAR-CSI), version 1.4, 2008 + nos traitements

#### 4. Qualité du climat

La qualité du climat de la zone est évaluée à travers l'indice de De Martonne (De Martonne, 1926), qui est défini comme suit :

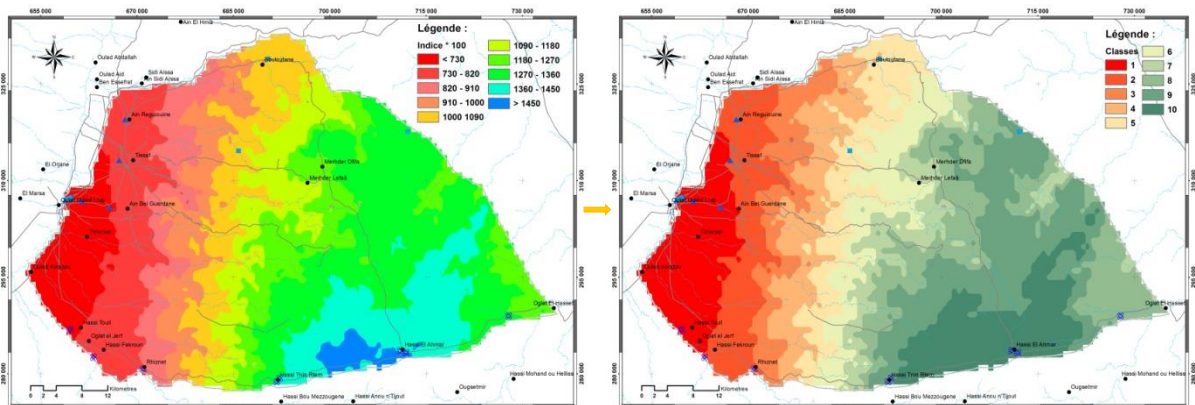
L'indice d'aridité annuelle de De Martonne :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Où :

- I : Indice d'aridité de De Martonne ;
- T : Température moyenne annuelle en °C ;
- P : Précipitations moyennes annuelles en mm.

Les résultats de l'analyse de l'aridité de la zone montrent que l'indice de De Martonne (\*100) oscille entre 660 et 1.513, ce qui implique que la zone de Tissaf comprend deux types de climats, l'aride (5-10) et le semi-aride (10-20). Le climat aride caractérise la région ouest de la commune dont l'altitude est inférieure à 1.200 m alors que le semi-aride domine les zones d'altitude au centre et à l'est. L'aridité paraît être bien corrélée à l'altitude.



**Figure 137 : Cartes de la qualité du climat de la CR de Tissaf**  
Source : WorldClim Database (Version 1.4), 2005 + nos traitements

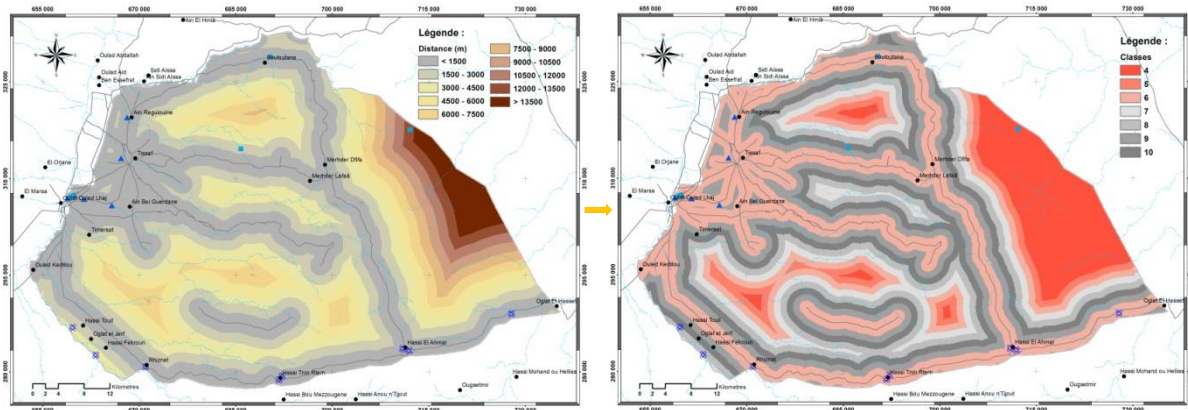


## 5. Distance par rapport au réseau routier

Etant donné les résultats obtenus concernant la proximité au réseau routier et sa valorisation différenciée par les éleveurs des deux unités socio-territoriales, il a été nécessaire pour l'édition de la couche relative à l'attractivité du réseau routier de subdiviser l'espace de la commune en deux unités distinctes.

Ainsi, pour la région de la vallée (altitude < 1.200 m) où la qualité des parcours est médiocre, la proximité du réseau routier est valorisée positivement, alors que dans les régions d'altitude où la qualité des parcours est meilleure dans les zones les plus enclavées, l'attractivité au réseau routier est plutôt faible.

Pour rendre compte de ces différences de comportement des éleveurs vis-à-vis de la proximité du réseau routier, nous avons travaillé sur une échelle de 1 à 10 au niveau de l'ensemble de la commune et nous avons affecté une valeur de 4 à l'ensemble des zones de montagne ayant une valeur calculée inférieure à 4 (faible effet sur l'attractivité).



**Figure 138 : Cartes de la proximité du réseau routier de la CR de Tissaf**

Source : Diverses cartes topographiques de la zone

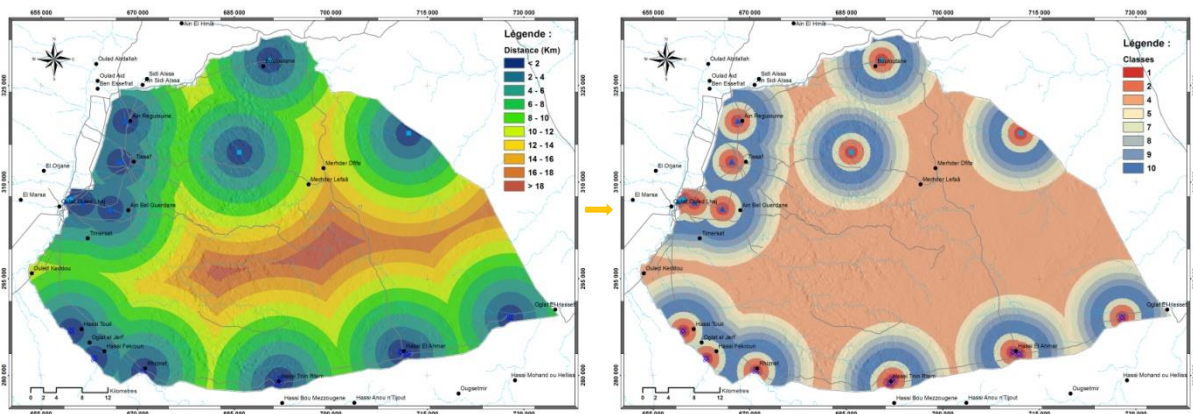
## 6. Distance par rapport aux points d'eau

Les abreuvements quotidiens conditionnent les mouvements du bétail. Le choix des points d'eau et des lieux de pâturage sont interdépendants puisque les possibilités d'accès à l'eau conditionnent l'accès aux pâturages.

Tenant compte des résultats obtenus concernant la localisation des éleveurs par rapport aux points d'eau de la commune, il apparaît qu'en général les éleveurs évitent de se sédentariser trop près des points d'eau à cause principalement de l'effet induit par la proximité à ces points sur la dégradation des parcours aux alentours.

Les résultats obtenus montrent que la plupart des éleveurs préfèrent se positionner au-delà d'une distance de 3 km de la source d'eau la plus proche. Ceci leur permet de valoriser des espaces de pâturage non utilisés par les autres éleveurs lors de leur déplacement vers les points d'eau et de garder une emprise sur l'environnement immédiat.

Par ailleurs et compte tenu des distances maximales pouvant être parcourues par le cheptel en aller et retour de et vers le point d'eau, il paraît qu'au-delà d'une distance de 10 km de trajet, les éleveurs préfèrent acheter l'eau d'abreuvement du troupeau ou aller la récupérer à dos de mulet ou d'âne que de déplacer l'ensemble du troupeau au point d'eau.



**Figure 139 : Cartes de proximité des points d'eau de la CR de Tissaf**  
Source : ERES, 1972 + nos traitements

## 7. Pondérations relatives au calcul de l'attractivité des parcours

En utilisant les cinq couches thématiques comme facteurs, la pondération relative de chacun des facteurs est calculée à l'aide de l'Analyse Hiérarchique Multicritère (Analytic Hierarchy Process) (Saaty, 1980).

La méthode AHP est fondée sur la comparaison de l'importance relative des facteurs étudiés en relation avec un objectif défini. Cette méthode se divise en trois étapes. La première correspond à la décomposition du problème de décision en une structure hiérarchique composée de facteurs et de sous-facteurs. La deuxième étape consiste à comparer les différents facteurs d'un niveau hiérarchique de façon à déterminer l'importance de leur contribution à la résolution du problème étudié. L'attribution des poids s'effectue en comparant chacune des paires de "facteurs" en leur assignant un coefficient de pondération pour constituer une matrice de comparaison par paire.

A chaque couche d'information (raster) est assigné un poids (%) selon son importance dans la détermination de l'attractivité des parcours pour les éleveurs. Le poids étant un pourcentage, la somme des poids de l'ensemble des facteurs pris en compte dans l'analyse est égale à 100.

L'importance de chaque attribut par rapport à un autre est évaluée sur une échelle de 1 à 9 (1 pour une importance égale et 9 pour une importance maximale). Le poids relatif de chaque paire de critères est ainsi déterminé sur l'échelle de mesure suivante :

**Tableau 105 : Expression numérique de l'importance relative d'une paire de critères**

Degré d'importance numérique	Degré d'importance verbal	Définition
1	Importance égale	Les deux éléments contribuent autant à l'explication de l'objectif
3	Un élément est un peu plus important que l'autre	Un élément explique légèrement mieux l'objectif
5	Un élément est plus important que l'autre	Un élément explique mieux l'objectif
7	Un élément est beaucoup plus important que l'autre	Un élément explique fortement mieux l'objectif
9	Un élément est absolument plus important que l'autre	Un élément explique absolument l'objectif
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Utilisées pour affiner davantage le jugement
1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9	Valeurs réciproques des appréciations précédentes	

Source : Saaty, 1980

Une fois ces pondérations affectées et la matrice de comparaison par paires obtenue, il est nécessaire de standardiser tous ces poids de façon à ce que la somme des poids pour chaque facteur soit égale à 1.

La troisième étape consiste à agréger l'ensemble des évaluations de chaque facteur en vue d'obtenir sa contribution (%) à l'explication du phénomène étudié et à évaluer la cohérence des pondérations affectées (Consistency Analysis). Le coefficient de cohérence de l'analyse (CR) est obtenu comme suit :

$$CI = \frac{\gamma_{\max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Avec :

n : nombre de critères pris en compte (5)

$\gamma_{\max}$  : valeur propre maximale

RI : indice de cohérence aléatoire (1,12)

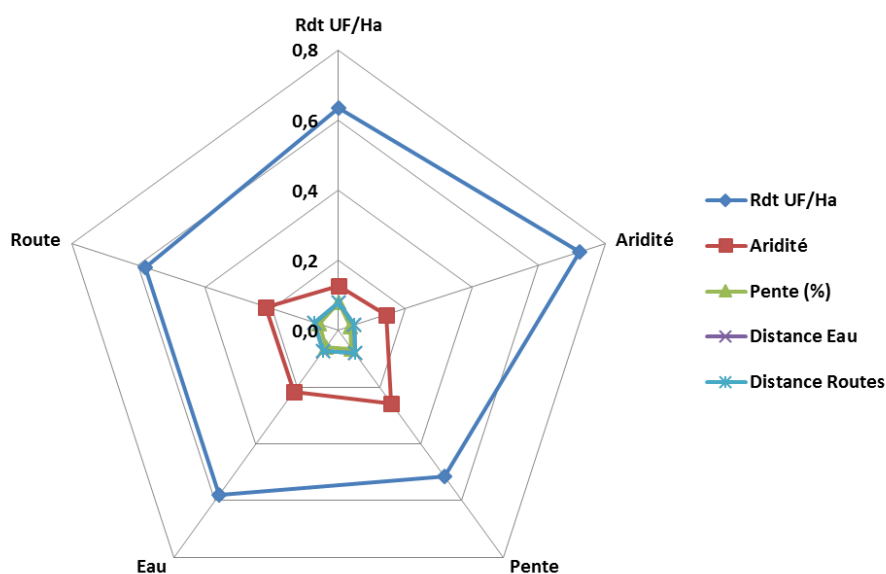
Le tableau suivant résume l'ensemble des préférences affectées aux facteurs étudiés en relation avec leur importance par rapport à l'attractivité des parcours et les pondérations obtenues.

**Tableau 106 : Préférences et pondération des facteurs liés à l'attractivité des parcours**

Facteurs	Product.	Aridité	Pente	D. Routes	D. Eau	Pondération
Product.	1	5	8	8	8	60,67
Aridité	0,20	1	4	3	3	19,29
Pente	0,13	0,25	1	0,8	0,8	5,92
D. Routes	0,13	0,33	1,25	1	1	7,06
D. Eau	0,13	0,33	1,25	1,00	1	7,06

Source : Nos calculs

Le détail des résultats obtenus moyennant l'analyse AHP est regroupé dans l'annexe 9.



**Figure 140 : Diagramme des pondérations des facteurs d'attractivité des parcours**

Source : Nos calculs

Les valeurs de pondération des couches de données montrent que l'ensemble des facteurs liés à l'accessibilité ont une pondération inférieure à 10% (pentes, routes et points d'eau). Pour le facteur productivité fourragère à l'hectare qui désigne la qualité du pâturage, une pondération de 60% lui a été affectée ; le reste, soit presque 20%, est repris par la qualité du climat évaluée à travers l'indice d'aridité de De Martonne (1960-2000).

Le ratio de cohérence obtenu est de 0,02 ( $<0,1$ ) ce qui confirme l'homogénéité de la comparaison des facteurs retenus dans notre analyse.

## 8. Carte d'attractivité des parcours

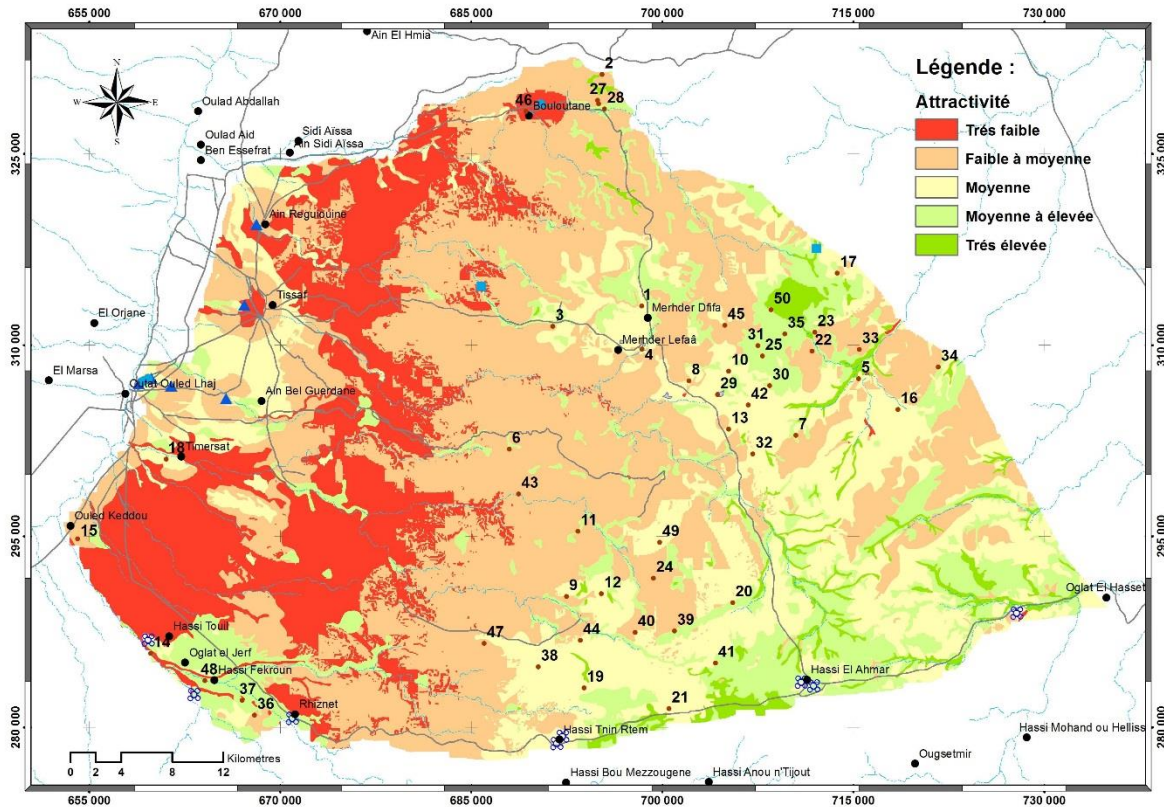
Les résultats obtenus à partir de la carte d'attractivité des parcours de la zone, classée sur cinq niveaux, indiquent que les terres ayant un gradient élevé de pente ou à forte aridité ne sont pas favorables au pâturage avec une superficie de l'ordre de 54.595 ha. Les terrains de faible pente à l'est, caractérisés par un bon rendement fourrager et situés aux meilleures distances par rapport aux ressources d'eau et au réseau routier, présentent la meilleure attractivité de la région, soit 6,84% de la superficie totale de la commune (~ 20.000 ha). Les zones d'attractivité moyenne représentent 43,41% de la superficie, soit 126.741 ha. Le tableau suivant résume les résultats obtenus.

**Tableau 107 : Superficies des niveaux d'attractivité des parcours de la CR de Tissaf**

Attractivité	Superficie (ha)	%
Très faible	8.462,45	2,90
Faible à moyenne	46.132,99	15,80
Moyenne	126.740,83	43,41
Moyenne à élevée	90.624,76	31,04
Très élevée	19.979,97	6,84
<b>Total</b>	<b>291.941,00</b>	<b>100</b>

Source : Nos calculs





**Figure 141 : Carte d'attractivité des parcours de la CR de Tissaf**

Source : Nos traitements

L'indice d'attractivité obtenu montre que 81% des terres de la commune peuvent être qualifiées comme favorables au pâturage, le reste, soit 19%, sont des terres de faible à très faible attractivité à cause de leur faible productivité (< 50 UF/ha) et de leur aridité ( $I < 10$ ).

Ainsi, en vue d'une meilleure gestion des terres de parcours en relation avec leur potentiel biophysique et la qualité fourragère de la végétation, il paraît nécessaire de mettre en place un plan de gestion concerté qui doit tenir compte des niveaux d'attractivité des parcours de chaque unité territoriale de la zone et des possibilités d'amélioration des modes de gestion des élevages.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que la carte de densité réelle des éleveurs au niveau de la zone explique assez bien l'attractivité des parcours au niveau de chaque espace socio-territorial. Les éleveurs paraissent bien maîtriser le milieu en relation avec l'activité d'élevage et se regroupent généralement dans les zones ayant les meilleures attractivités relatives.

## G. CONCLUSION

L'analyse des données sociodémographiques des éleveurs enquêtés montre un âge moyen des éleveurs qui est de l'ordre de 50 ans, un niveau d'instruction moyen très faible et un effectif des actifs de l'ordre de 3,24 par ménage. L'élevage ovin est dominant et représente 80% de l'effectif total des animaux, le reste étant essentiellement constitué de caprins (17,6%).

L'analyse en composantes principales a permis de caractériser trois systèmes d'élevage de la zone et de définir leurs modes de fonctionnement en relation avec les pratiques pastorales de chaque groupe. Les variables retenues pour cette typologie concernent la structure de



l'exploitation, l'appareil de production en termes de taille et de structure du troupeau et les modes d'utilisation des parcours.

Les trois groupes d'éleveurs obtenus sont les grands éleveurs sédentaires ou semi-nomades (+ 200 têtes d'ovins) relativement performants et caractérisés par un mode de conduite basé sur l'apport de la supplémentation en fonction des besoins du troupeau et une utilisation opportuniste des parcours (déplacement et utilisation des parcours in situ), le groupe des petits éleveurs sédentaires qui se base essentiellement sur la supplémentation et n'utilise les parcours que durant la saison favorable lorsque les apports des parcours de la zone deviennent abondants, il s'agit d'éleveurs moins performants techniquement et économiquement car ne disposant pas d'une trésorerie suffisante pour pallier aux besoins du cheptel le long de l'année surtout en cas de sécheresse (stratégie de dormance) et finalement les petits éleveurs transhumants localisés au niveau des zones moins favorables et qui ne font appel à la supplémentation que lorsque les apports des parcours deviennent très rares. Il s'agit d'éleveurs moins performants économiquement car ne disposant pas d'une trésorerie suffisante pour pallier aux besoins du cheptel en cas de sécheresse (stratégie de survie).

Cette typologie montre que les éleveurs de la zone avec l'amélioration des conditions d'accès à l'information et la plus forte sensibilité aux signaux du marché (prix et subventions) en plus de la motorisation semblent avoir une tendance à la sédentarisation et à une utilisation plus opportuniste des terres de parcours. Cette situation se traduit, sur le plan pratique, d'une part, par une exploitation sélective et ciblée des parcours dans le temps et dans l'espace (mobilité sur un grand territoire) en relation avec leur productivité et la pratique de la supplémentation alimentaire et, d'autre part, par une tendance à la sédentarisation et à l'appropriation implicite des aires de parcours.

Les performances économiques des éleveurs qui découlent de ces pratiques semblent être déterminées par trois grands facteurs qui sont la mobilité (transhumants et sédentaires), la durée d'utilisation des parcours (périodique ou continue) et le capital d'élevage qui comprend la taille du troupeau et le capital financier (richesse).

L'analyse de la productivité pondérale de l'UZ ovine montre que la productivité pondérale nette est de l'ordre de 20 kg PV/an, les grands éleveurs réalisent les meilleures performances techniques, soit 21,63 kg PV/UZO alors que les petits éleveurs sédentaires sont les moins performants, soit 16,73 kg PV/UZO.

Ces performances semblent être essentiellement liées à la possibilité des éleveurs de mobiliser les fonds nécessaires pour subvenir aux besoins alimentaires du troupeau par l'achat de la supplémentation. Les grands éleveurs sont capables de maintenir des niveaux de performances zootechniques plus élevés que les deux autres groupes car ils disposent de fonds propres mobilisables pour l'achat de la supplémentation. Un grand effectif d'animaux et un fonds de roulement conséquent permettent d'optimiser les performances en tenant compte des besoins des animaux et des apports réels des parcours. Ces résultats corroborent les conclusions de Bourbouze et al. (2009) qui affirment que la meilleure sauvegarde est d'exploiter un troupeau d'une taille suffisante (200-300 têtes) pour se prémunir à coup sûr des risques d'une sécheresse prolongée.

Les éleveurs disposant de petits effectifs sont plus sensibles à la sécheresse et à la qualité des parcours car ils ne peuvent pas compenser le manque d'herbe par l'achat de la supplémentation sur le marché. Malgré la forte décapitalisation de l'élevage suite à la succession des années de sécheresse (vente du cheptel productif), les petits éleveurs ne semblent pas pouvoir maintenir de bonnes performances zootechniques car ils ne sont pas capables de fournir la supplémentation nécessaire sur une longue période. Le petit effectif

du cheptel et le faible fonds de roulement destiné à l'élevage (pauvreté) semblent limiter considérablement les performances zootechniques.

L'analyse de la rentabilité de l'élevage ovin à travers le calcul des marges brutes réelles par groupe d'éleveurs montre que seuls les grands éleveurs réalisent une marge positive de l'ordre de 15,85 DH/UZO, alors que les petits éleveurs transhumants réalisent des marges nulles et que les petits éleveurs sédentaires produisent à perte, soit une marge de - 30 DH/UZO. Ceci indique que les petits éleveurs en période de sécheresse semblent avant tout viser le maintien de l'activité plutôt que chercher la rentabilité annuelle de leur élevage.

L'analyse des charges de production, en conjoncture de sécheresse, montre que l'achat de la supplémentation représente le principal poste de charges de l'élevage ; il représente à lui seul entre 90 et 97% du total des charges de production.

L'analyse de la rente relative à l'utilisation des parcours montre que les grands éleveurs, malgré une présence plus limitée dans le temps sur les parcours par rapport aux petits éleveurs sédentaires, réalisent une rente moyenne de l'ordre de 165,38 UF/UZ ovine et 125,13 UF/UZ caprine, soit un total de l'ordre de 46.478,15 UF par éleveur contre seulement 5.148,70 UF pour les petits éleveurs sédentaires. Ceci montre l'effet de la taille des troupeaux sur les prélèvements effectués sur l'espace pastoral.

Les éleveurs transhumants, utilisant un espace pastoral plus large et pendant toute l'année, gagnent une plus-value de l'ordre de 176,49 UF/UZ ovine et 112,25 UF/UZ caprine. Ceci montre que, malgré les apports par unité zootechnique plus élevés des ovins pour les transhumants, la rente individuelle moyenne reste faible car ils ne permettent pas de compenser l'effet taille du troupeau chez les grands éleveurs, soit 18.714,40 UF contre 46.478,15 UF.

Nous notons, ainsi, que la gratuité des ressources pastorales profite plus aux grands éleveurs qui prélèvent la plus grande quantité d'UF sur les parcours. Les éleveurs sédentaires, ayant de petits effectifs, paraissent profiter moins des apports des parcours sous l'effet conjugué de la sédentarisation et du faible effectif du troupeau. Ceci implique que la sédentarisation, du moins pour les petits éleveurs, contrairement à ce que l'on pourrait avancer, n'a pas favorisé l'augmentation des prélèvements sur les parcours, malgré les effets négatifs qu'elle pourrait engendrer in situ sur les terrains utilisées.

Les petits éleveurs sédentaires utilisent quasi-quotidiennement les mêmes espaces pastoraux sur des rayons ne dépassant guère les 10 km, ce qui se traduit par une dégradation localisée du parcours et par conséquent une diminution irréversible des prélèvements des troupeaux. Pour les petits éleveurs transhumants, c'est surtout la mobilité des troupeaux qui permet d'améliorer ces prélèvements.

Globalement, la dégradation est plutôt liée à la taille des troupeaux et à l'effet que celle-ci engendre sur les prélèvements en relation avec les cycles de régénération de la végétation naturelle. Les stratégies opportunistes des grands éleveurs et leur forte résilience à la sécheresse par le biais de la mobilisation des fonds propres pour l'achat de la supplémentation induisent une forte pression sur les parcours dès la reprise des pluies et la réapparition de la végétation.

### A. INTRODUCTION

Les analyses spatiales réalisées pour les trois modes de conduite d'élevage ovin au niveau de la région mettent en évidence les liens entre les performances techniques et économiques, la conduite du troupeau, les ressources utilisées et les caractéristiques du milieu naturel.

Les impacts des différentes années climatiques en termes d'efficacité économique des éleveurs montrent une réduction sensible mais différenciée selon les groupes de la taille des troupeaux. Ceci pénalise le capital de production, diminue sensiblement le produit brut des éleveurs les plus sensibles à la sécheresse et confirme le mode de gestion économe des petits éleveurs qui privilégient l'adaptation de l'effectif aux conditions du milieu (qualité des parcours) aux dépens de l'optimisation des marges.

Les grands éleveurs qui tiennent à leurs capitaux de production (cheptel) et à leurs marges économiques mobilisent des fonds propres nécessaires pour compenser le manque d'herbe sur le parcours. En conjuguant la supplémentation à une utilisation opportuniste des parcours pendant la saison favorable, ces éleveurs parviennent à maintenir stables les niveaux de productivité technique.

La baisse relative des marges économiques en année de sécheresse induite par l'achat de grandes quantités d'aliments est compensée par la taille du troupeau pendant la saison et les années favorables. Les grands éleveurs paraissent donc privilégier un mode de gestion flexible et opportuniste qui peut se passer des apports des parcours en années de sécheresse en se basant sur la supplémentation.

Si l'achat de ces intrants de supplémentation ne fait pas augmenter les volumes produits, il permet, néanmoins, une gestion plus opportuniste des grands éleveurs dont l'objectif n'est pas la limitation des dépenses en intrants mais la maximisation des produits sur le long terme (maintien de la taille du cheptel).

Il paraît qu'au niveau de la zone, les éleveurs agissent sur les différents paramètres du système de production pour s'adapter aux conditions du milieu. Les petits éleveurs, par manque de capitaux, agissent en adaptant les effectifs en qualité et en quantité (vente du cheptel) alors que les grands éleveurs, soucieux de maintenir des marges économiques minimales, privilégient la mobilisation du capital pour subvenir aux besoins d'alimentation de leur troupeau. Si cette supplémentation n'est pas capable de maintenir des niveaux de rentabilité comparables à ceux issus d'une utilisation exclusive des parcours, elle contribue tout de même à réaliser des marges économiques minimales dans la perspective d'une meilleure rentabilisation pendant les années favorables.

Les niveaux de performances sont relativement modestes au regard des références conventionnelles de productivité technique et économique de l'élevage ovin mais cohérents par rapport aux objectifs économiques et aux contraintes liées à la conjoncture climatique et aux niveaux de technicité des élevages.

Finalement, en relation avec le contexte socio-économique et institutionnel national et considérant la nature et les disponibilités des ressources fourragères, on distingue deux grandes stratégies d'élevage.

**Tableau 108 : Stratégies des éleveurs en fonction de la qualité de l'année**

<b>ANNEE DEFAVORABLE</b>	
<b>Diminution des apports des parcours, subvention des aliments du bétail, pas de restriction d'accès aux parcours et diminution relative des prix du bétail</b>	
<b>PETITS ELEVEURS</b>	<b>GRANDS ELEVEURS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction des effectifs</li> <li>- Faible supplémentation</li>   <li>- Diminution performances techniques</li> <li>- Augmentation relative des charges</li>   <li>- Diminution des marges brutes</li> <li>- Chute des effectifs</li> <li>- Chute des revenus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintien des effectifs</li> <li>- Financement de la supplémentation</li>   <li>- Maintien performances techniques</li> <li>- Augmentation des charges</li>   <li>- Diminution des marges brutes</li> <li>- Maintien des effectifs</li> <li>- Diminution relative des revenus</li> </ul>
<b>ANNEE FAVORABLE</b>	
<b>Augmentation des apports des parcours, pas de restriction d'accès aux parcours et stabilité des prix du bétail</b>	
<b>PETITS ELEVEURS</b>	<b>GRANDS ELEVEURS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faibles effectifs</li> <li>- Pas de supplémentation</li>   <li>- Amélioration performances techniques</li> <li>- Faible diminution des charges</li>   <li>- Augmentation des marges brutes</li> <li>- Reconstitution des effectifs</li> <li>- Amélioration du revenu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grands effectifs</li> <li>- Faible supplémentation</li>   <li>- Maintien performances techniques</li> <li>- Chute des charges</li>   <li>- Augmentation des marges brutes</li> <li>- Maintien des effectifs</li> <li>- Maximisation des revenus</li> </ul>

La mise en place par les pouvoirs publics de mécanismes de subventions d'aliments du bétail à des prix relativement bas a favorisé le développement des élevages semi-intensifs très attentifs aux signaux du marché. Celui-ci sollicite la mobilisation de capitaux propres importants pour subvenir aux besoins du cheptel et demande une bonne maîtrise de la supplémentation. C'est un élevage qui permet, certes, de maintenir des effectifs d'animaux pouvant répondre aux besoins en viande pour le marché national mais, n'étant pas adapté au contexte local caractérisé par des parcours fragiles et à faible productivité fourragère, il accentue l'accélération de la dégradation du milieu.

D'un autre côté, les éleveurs ne disposant pas de capitaux nécessaires pour maintenir les effectifs d'animaux apparaissent être triplement sanctionnés par l'effet combiné de la faible productivité des parcours, de la diminution des prix de vente des animaux et par le mécanisme de subventions aux aliments du bétail instauré en année de sécheresse.

Ainsi, à défaut de capitaux, les petits éleveurs en année défavorable sont obligés de réduire leurs effectifs pour s'adapter aux conditions du milieu. La liquidation d'un grand nombre d'animaux induit une chute des prix au profit des éleveurs d'embouche qui peuvent les

engraisser par le biais des aliments subventionnés et les revendre une fois que le prix du marché devient intéressant.

Par ailleurs, ces mêmes éleveurs ayant réduit les effectifs de leurs petits troupeaux se retrouvent, dès le retour des pluies et la reprise de la végétation, en compétition avec de grands effectifs d'animaux appartenant aux grands éleveurs qui profitent pleinement de la gratuité des ressources fourragères des parcours collectifs.

On peut identifier deux évolutions majeures, dont les implications présentes ou futures sur les relations élevage-environnement sont différentes : une dynamique qui tend vers une intégration plus poussée du capital dans l'élevage, valorisant au mieux les synergies possibles pour une meilleure rentabilité économique et une dynamique de régression de l'élevage extensif pour laquelle le financement de l'élevage est impossible et qui favorise l'augmentation de la vulnérabilité des éleveurs les plus pauvres.

A l'échelle du terroir étudié, le bilan fourrager et l'analyse des effectifs des animaux indiquent que les apports des parcours ne permettent pas de subvenir aux besoins alimentaires du cheptel. Ce qui se manifeste sur le terrain par une forte pression sur le pâturage, caractérisée par la disparition des espèces les plus appréciées par les animaux qui ne sont désormais présentes qu'à l'état isolé, l'abondance des espèces les moins appréciées, l'extension des sols dénudés et enfin l'accentuation des phénomènes d'érosion.

Dans un tel état d'artificialisation du milieu, la conservation des ressources naturelles ne peut plus être considérée que sous ses aspects de protection des ressources disponibles. Avec la diminution des productivités des parcours naturels une attention particulière devra être apportée à l'utilisation raisonnée des terrains de parcours comprenant, d'une part, des mises en repos périodiques, et d'autre part, l'incitation à la conversion des modes de conduite d'élevage vers des systèmes plus intensifs en capital et moins tributaires des apports des parcours.

Dans ce sens, des solutions adaptées aux petits éleveurs doivent être envisagées pour réduire leur vulnérabilité vis-à-vis des aléas climatiques et pour lutter contre la précarité de leur activité.

Ainsi, en l'absence de mécanismes de régulation de l'accès aux parcours, la généralisation de la supplémentation du bétail, encouragée par la subvention des prix des aliments, devra se traduire par une accentuation du déséquilibre entre les ressources naturelles disponibles et les besoins alimentaires du bétail.

Le maintien artificiel d'une forte charge animale par le biais des subventions aux aliments du bétail pendant les périodes de sécheresse devra se traduire par l'augmentation du risque de dégradation et de désertification à long terme. Le retour sur les parcours d'un grand nombre d'animaux dès la reprise des pluies et l'émergence de la végétation conduirait incontestablement à la dégradation du milieu.

L'utilisation des ressources fourragères « gratuites » issues des parcours collectifs doit être étudiée dans le sens de la limitation de l'accès à ces ressources par les animaux, ce qui signifie une adéquation permanente de la charge animale à la productivité fourragère des parcours et à la conjoncture climatique qui n'est pas facile à mettre en place sur le terrain.

Dans un milieu où la mobilité des éleveurs est devenue très faible, le maintien de l'équilibre naturel de régulation entre les ressources et les besoins ne peut être imaginé que dans le cadre d'une stratégie d'incitation à une gestion durable des ressources en concertation avec les éleveurs.



## **B. AXES DE LA STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT DURABLE DES PARCOURS**

Dans ce sens, pour pérenniser l'activité d'élevage dans le cadre d'un développement durable, il est nécessaire d'élaborer des techniques soutenables d'exploitation des ressources (technologies de production) et encourager leur adoption et utilisation par les éleveurs (cadre foncier, institutionnel et organisationnel).

Dans cette optique, les principaux axes sont : une solide évaluation des interactions élevage-environnement, qui passe par une identification formalisée et une quantification par le biais d'indicateurs adéquats en vue d'une juste évaluation des effets de l'élevage sur l'environnement et sur la pérennité de ses ressources.

### **1. Choix du mode de gestion des parcours**

La question qui s'impose lorsqu'on parle de l'élevage en zones arides fortement sensibles à la dégradation est relative à la durabilité de l'activité d'élevage en relation avec la conservation de l'environnement et la préservation de l'écosystème steppique. En général, il est admis que l'élevage en zone aride, du moins dans son mode extensif, est utile à la conservation de l'environnement et peut permettre une exploitation conservatoire de la biodiversité (D'Aquino et al., 1995).

Dans un milieu où la surcharge animale reste la principale cause de la dégradation des parcours et où on note une forte diminution de la mobilité des troupeaux (Bechchari et al., 2005) au niveau de l'ensemble de la région de l'Oriental, il serait judicieux d'étudier la possibilité d'instaurer des mécanismes de gestion concertée et autonome des parcours collectifs au niveau de chaque unité socio-territoriale (tribus et fractions). Concrètement ceci peut être pensé à travers :

- Une réorganisation de la gestion des pâturages en affectant la gestion des espaces pastoraux à des organisations socioprofessionnelles cohérentes telles que les coopératives ou associations d'éleveurs ;
- La mise en place de mécanismes d'incitation aux regroupements des éleveurs y compris les petits d'entre eux pour une gestion durable et efficace des territoires pastoraux ;
- Le renforcement du suivi-évaluation et du contrôle des systèmes de gestion territoriale des parcours en vue d'une meilleure adaptation à la dynamique économique et aux conditions de productivité du milieu ;
- L'instauration de règles d'accès aux parcours pour les éleveurs, y compris les transhumants.

Les principales interventions dans la région de l'Oriental ont consisté en la réhabilitation de certains parcours à travers les mises en repos ou à travers les plantations d'arbustes fourragers sur des zones plus ou moins étendues (FIDA, 1996). Mais ces interventions en absence de moyens de contrôle et de limitation des effectifs des animaux n'ont pas eu les effets escomptés car ils ont tout simplement induit un déplacement des troupeaux vers d'autres lieux de pâturage sans aucun effet sur la préservation des ressources (même niveau de prélèvement fourrager) (Dutilly-Diane, 2006).

Ainsi, face aux nouvelles orientations de l'Etat en matière de cogestion des parcours collectifs et de responsabilisation des communautés des éleveurs en vue de la promotion d'une gestion communautaire basée sur une utilisation rationnelle des ressources disponibles, il est important de délimiter clairement les différentes aires de pâturage des

communautés en vue de sécuriser les droits et les investissements de leurs membres vis-à-vis de leurs voisins ou éventuellement des utilisateurs temporaires.

Si les débats sont toujours d'actualité concernant la réforme du régime foncier des terres de parcours, les projets concernant la gestion des parcours tendent souvent à mettre l'accent sur le développement des services offerts aux éleveurs, plus que sur l'organisation de ces derniers pour la gestion de l'espace collectif (Dutilly-Diane, 2006).

Ainsi, selon Ostrom (1990), si la condition nécessaire pour la gestion des « biens communs » est la délimitation des frontières des territoires et l'identification des usagers, elle n'est pas suffisante, car elle doit être accompagnée par une concertation entre les communautés en vue d'assurer une gestion durable des ressources. Les résultats obtenus concernant la simulation des comportements des éleveurs dans la zone agro-pastorale de Aït Ammar (Maroc Occidental) montrent que toutes les options y compris les solutions techniques d'amélioration de la productivité des parcours sont tributaires du potentiel écologique des parcours, de la maîtrise de la charge animale et des éventuelles possibilités d'affectation de la gestion des terres collectives aux communautés et de fixation de leur limites territoriales (Dutilly-Diane, 2006).

Ainsi, l'ensemble du panel de solutions préconisées doit, avant tout, tenter d'internaliser les externalités liées à l'utilisation des parcours sans mettre en cause le système d'organisation sociale des communautés et induire par conséquent un nouveau réarrangement des effectifs des troupeaux entre les petits et les grands éleveurs.

Le système de gestion des parcours collectifs doit tenir compte des éléments suivants :

- Délimitation des espaces socio-territoriaux ;
- Evaluation du potentiel écologique soutenable et de sa dynamique spatio-temporelle ;
- Identification des communautés des usagers y compris les utilisateurs temporaires et marginaux ;
- Elaboration d'un modèle de gestion adaptée en relation avec le potentiel écologique et sa dynamique.

Ce modèle doit comprendre deux composantes importantes :

- + Modèle de gestion technique de l'espace socio-territorial ;
- + Modèle de gestion de l'accès au parcours et de la charge animale.

### 1.1. **Modèle de gestion technique de l'espace socio-territorial**

Les résultats relatifs à l'analyse de l'occupation de l'espace pastoral par les communautés d'éleveurs montrent une forte appropriation des parcours par les différents lignages de la zone étudiée. Les positions de campement ou de sédentarisation des éleveurs paraissent obéir principalement au droit d'usage coutumier définissant des aires de pâturage des trois grandes fractions de la zone. A l'intérieur de l'espace pastoral de chaque fraction, les éleveurs optimisent leur localisation géographique en choisissant les terrains de parcours de meilleure qualité (prélèvement de biomasse pour le cheptel).

Ainsi et compte tenu de cette appropriation implicite des parcours par les communautés locales, il serait judicieux de mettre en place d'une façon formelle des modes de réorganisation de la gestion des pâturages en affectant cette gestion à des organisations socioprofessionnelles locales cohérentes telles que les coopératives ou les associations d'éleveurs à l'échelle de l'ensemble de la tribu ou par fraction, ceci en collaboration et sous le contrôle des services extérieurs de l'Etat. Cette gestion communautaire des espaces

pastoraux doit viser avant tout la responsabilisation des différents usagers en vue d'une utilisation durable et efficace des parcours.

Dans ce sens, une délimitation précise et concertée de l'espace pastoral communautaire est nécessaire pour pouvoir établir des règles d'usage connues et respectées par tous, mettre en place des organes locaux de gestion et éviter les conflits intercommunautaires.

## 1.2. **Modèle de gestion de l'accès au parcours et de la charge animale**

Plusieurs auteurs ont souligné l'importance d'identifier les droits de pâturage pour l'ensemble de la communauté des usagers y compris les utilisateurs temporaires ou marginaux (transhumants et utilisateurs occasionnels) (El Harradji, 1997 ; FIDA, 1996 ; Chettou, 2014)

Dutilly-Diane (2006) a montré, moyennant l'utilisation d'un modèle de programmation linéaire, que la limitation d'accès aux ressources pastorales (instauration de droits de pacage et de quotas sur les effectifs des animaux par éleveur) se traduit par une augmentation des prélèvements due essentiellement à l'amélioration de l'attractivité de ces parcours pour les utilisateurs marginaux aux dépens des utilisateurs permanents (éleveurs sédentaires). Ceci peut être également induit par simple changement des incitations économiques (changement des prix relatifs).

Par ailleurs, les solutions techniques qui consistent à accroître la biomasse sans contrôle de la charge animale entraînent un accroissement des prélèvements de la part de tous les troupeaux de la communauté et se traduisent par une surexploitation du parcours bien plus importante que sans intervention.

L'objectif d'internaliser les externalités liées à la gratuité d'accès au parcours passe donc nécessairement par l'établissement de règles et de limites d'accès aux ressources pastorales pour l'ensemble des usagers en relation avec l'effectif des animaux détenus et les durées d'utilisation des parcours.

Etant donné qu'il est difficile de mettre en place des quotas de prélèvement pour chaque éleveur (nécessite une évaluation précise des prélèvements pour chaque troupeau), il est plus pratique d'établir un calendrier de pâturage pour l'ensemble des éleveurs sédentaires de chaque zone pastorale en fonction de sa productivité fourragère et de mettre en place des mécanismes d'attribution de droits de pacage (sans ou avec paiement) pour les utilisateurs occasionnels y compris les transhumants.

Ce calendrier de pâturage doit être défini en relation avec la productivité des parcours et les effectifs des animaux détenus par les éleveurs. Ceci implique une déclaration préalable de l'effectif des animaux de chaque éleveur qui lui confère un droit unique pour le seul effectif d'animaux inscrit comme utilisant le domaine pastoral.

Ainsi, l'augmentation des effectifs des animaux au moins pour les éleveurs sédentaires ne peut être envisagée que dans le cadre d'un programme communautaire de révision des effectifs du cheptel. De toute façon, à productivité constante du parcours collectif, une augmentation des effectifs des animaux devra se traduire par une diminution de la durée d'utilisation des parcours en vue de maintenir les niveaux soutenables de prélèvements.

Concernant les éleveurs transhumants ou occasionnels des parcours collectifs, le droit de pacage devra être considéré comme paiement des services liés à la gestion et la préservation des parcours communautaires. Le paiement de ce droit de pacage, dont le prix peut être éventuellement nul, doit être fixé en fonction de la productivité des parcours et

payé en fonction du nombre de têtes admises à utiliser le parcours avec une limitation d'un nombre maximal de têtes en fonction des saisons et des années.

Sachant que la transhumance est devenue marginale au niveau de l'ensemble du pays y compris dans le bassin versant de la Moulouya (Boutayeb, 1996 ; Bourbouze, 2000 ; Bourbouze et al., 2001 ; El Koudrim et al., 2006 ; Bechchari et al., 2014), la gestion des espaces pastoraux communautaires doit pouvoir gérer les flux des éleveurs transhumants sans mettre en péril la durabilité des ressources pastorales. Dans ce sens, les droits de transhumance au niveau de chaque domaine pastoral doivent être formellement identifiés (ayants droit, effectifs des troupeaux et période de transhumance) au même titre que les droits de pâturage des éleveurs sédentaires.

## **2. Choix des modes de conduite d'élevage**

Dans les zones pastorales où l'élevage extensif est dominant, les animaux sont en permanence considérés avec un double statut, soit comme output et donc peuvent être destinés au marché (animaux d'embouche) soit comme input faisant partie de l'appareil de production et donc destinés à la reproduction (cheptel naisseur).

En relation avec les conditions du milieu et la productivité des parcours, la valeur et le statut des animaux peuvent varier en fonction de la capacité de l'éleveur à mobiliser des fonds propres pour l'achat de la supplémentation et à s'affranchir de la vente de son cheptel pour les besoins de liquidité.

Le choix des modes de conduite des élevages en milieux arides caractérisés par de fortes fluctuations des apports des parcours en relation avec les conditions climatiques ne se pose pas simplement en termes d'adaptation des effectifs des animaux en fonction des disponibilités fourragères des parcours, mais aussi et surtout en termes de choix des stratégies et des modes de conduite des élevages pouvant satisfaire les contraintes inhérentes au climat et au marché.

Les modes de conduite des élevages proposés doivent pouvoir s'affranchir des apports des parcours lorsque les seuils d'utilisation durable des parcours sont atteints. Ceci implique la recherche des meilleures alternatives pour le maintien de l'activité d'élevage avec les mêmes effectifs d'animaux, avec un recours minimal à l'apport des parcours.

La stratégie de préservation du cheptel en année de sécheresse à travers la subvention des aliments du bétail permet de maintenir l'activité de l'élevage et la stabilisation des revenus de certains éleveurs, mais n'encourage pas la préservation des ressources pastorales.

Pour pallier au problème de maintien d'un effectif d'animaux à faible productivité sur les parcours collectifs, plusieurs auteurs recommandent l'engraissement précoce des animaux destinés au marché à travers l'utilisation des aliments du bétail subventionnés et le recours à l'importation d'aliments du bétail à meilleurs prix (MADRPM, 2006 ; Bechchari et al., 2006).

Les résultats des essais d'engraissement concernant des agneaux de moins de 3 mois au niveau de la région de l'Oriental (MADRPM, 2006) montrent que des gains moyens quotidiens (GMQ) pour les races locales (Bni Guil et Oulad Jellal) sont de l'ordre de 200 g/j pour une période optimale d'engraissement de l'ordre de 75 jours. Ceci implique un gain moyen de l'ordre de 15 kg.

Les performances économiques en relation avec les charges engagées montrent que le coût du poids vif produit est de l'ordre de 15,70 DH et les marges économiques en relation avec

les prix de vente pratiqués sur le marché local sont de l'ordre de 300 DH/tête sur une période d'engraissement de moins de 75 jours.

Ainsi, il paraît qu'il est pratiquement possible de réaliser des bénéfices importants en se basant exclusivement sur l'engraissement précoce du cheptel destiné à l'embouche et de ne garder sur le parcours que le cheptel naisseur et de renouvellement en vue de maintenir le capital productif.

Cette stratégie d'élevage vise un double objectif. Le premier concerne le délestage des parcours à travers l'instauration d'un mode d'élevage mixte basé sur le retrait du parcours des animaux destinés au marché à un âge précoce (- de 3 mois) et le second se base sur la pratique de l'engraissement des jeunes animaux destinés au marché en vue de bien valoriser leur faible indice de consommation et la qualité de leur carcasse en vue de maintenir les niveaux de revenu des éleveurs.

A long terme, la généralisation de l'engraissement pourrait se traduire par une baisse des prix de vente sur le marché à cause de l'augmentation du volume des ventes (poids des carcasses et volume de l'offre) et peut être corrigée par des mécanismes institutionnels de révision et de correction des prix des aliments du bétail subventionnés en relation avec leurs élasticités ou éventuellement par des actions ciblées sur les autres secteurs de la filière viande (rouge et blanche).

Pratiquement, la mise en place de mécanismes d'encouragement de l'engraissement précoce des ovins issus des élevages sur parcours doit se baser sur des mécanismes institutionnels d'encouragement à l'investissement dans le domaine. Ceci peut être instauré à travers l'investissement privé ou en partenariat avec l'Etat dans des stations de collecte et d'engraissement des agneaux à travers des opérateurs privés ou des coopératives et associations d'éleveurs.

Dans ce sens, l'Etat en tant qu'opérateur économique doit veiller à la stabilité des prix en relation avec les incitations économiques (prix garantis pour les jeunes agneaux destinés à l'engraissement, subventions des aliments du bétail et encadrement technique) et les évolutions conjoncturelles (offre/demande).

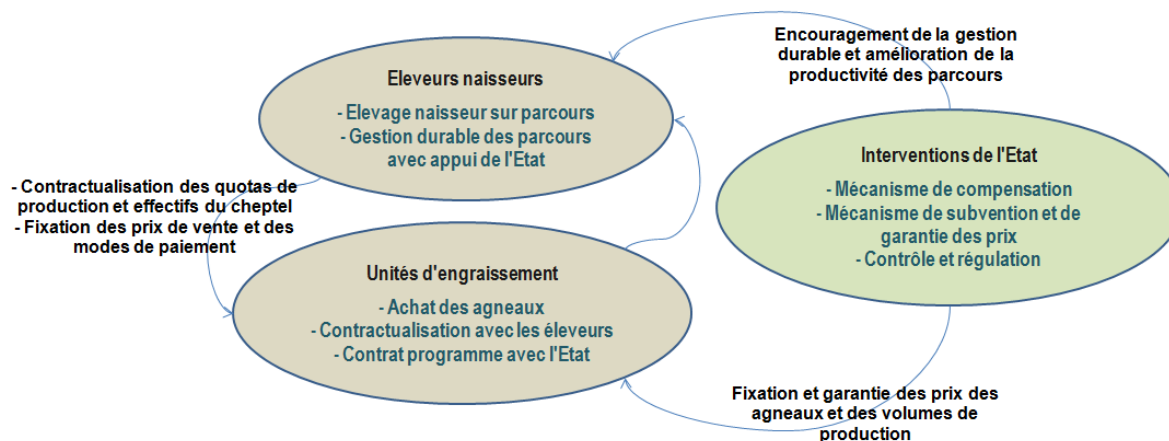
Par ailleurs et pour éviter une augmentation des effectifs d'animaux producteurs gardés sur les parcours pour les éleveurs naisseurs, un contrôle rigoureux des effectifs d'animaux sur le parcours doit être instauré. En effet, l'augmentation des revenus des éleveurs suite à l'instauration de mécanismes de garantie des prix des jeunes agneaux devra avoir un effet positif sur le volume de l'offre des jeunes agneaux et par conséquent sur les effectifs des troupeaux naisseurs gardés sur le parcours.

En absence de mécanismes de limitation des effectifs d'animaux sur les parcours, les éleveurs naisseurs, par logique économique, auront tendance à réinvestir le surplus de revenu obtenu à travers la vente des jeunes agneaux destinés à l'engraissement dans l'achat du cheptel reproducteur (brebis et antenaises de remplacement) en vue d'augmenter davantage les niveaux de revenu.

Ceci peut être corrigé à travers des mécanismes de contractualisation, contrôlés par l'Etat, entre les éleveurs naisseurs et les engraisseurs à travers l'instauration d'un mécanisme de garantie des prix des jeunes agneaux issus des élevages sur parcours au profit des éleveurs en contrepartie d'une limitation et d'un contrôle des effectifs des animaux élevés sur le parcours.



En général, la mise en place de mécanismes de gestion durable des parcours en vue de la lutte contre la dégradation et la désertification du milieu nécessite une adéquation permanente et rigoureuse entre l'espace pastoral en relation avec la dynamique de sa productivité et les évolutions des effectifs des animaux élevés sur ces parcours en fonction des dynamiques socio-économiques locales et régionales. L'Etat en tant qu'acteur économique principal, a un rôle central à jouer dans le renforcement des capacités des éleveurs en vue de l'amélioration et la stabilisation de leurs revenus et dans la préservation des ressources naturelles. Dans ce sens, le schéma de gestion durable des parcours proposé peut être présenté comme suit :



**Figure 142 : Modèle mixte d'intensification de l'élevage pastoral**

### 3. Amélioration des performances techniques et des technologies

Les résultats obtenus concernant la gestion de la reproduction, la conduite alimentaire et le contrôle sanitaire des élevages au niveau de la zone montrent qu'il est possible d'améliorer sensiblement les performances techniques des élevages extensifs sur parcours en maîtrisant davantage les conduites de reproduction et d'alimentation du cheptel.

Ainsi, au vu des résultats de l'enquête réalisée, il est clair que les grands éleveurs, mieux encadrés par l'ANOC, réalisent les meilleures performances techniques par rapport aux petits éleveurs. Ces performances paraissent être liées à deux facteurs essentiels à savoir le niveau de technicité des éleveurs (rationnement et suivi sanitaire) et les disponibilités de trésorerie permettant de satisfaire les besoins alimentaires du cheptel sur une longue période.

Pour permettre une meilleure rentabilisation de l'élevage de la région, il est important donc de prévoir un encadrement équitable de l'ensemble des éleveurs de la zone, abstraction faite des effectifs détenus. Pour remédier au problème de dispersion des éleveurs sur le parcours, il serait judicieux d'établir un planning de visites sur le terrain comprenant les points de regroupement des éleveurs en vue d'une meilleure rentabilisation des tournées sur le terrain des techniciens de l'ANOC (suivi des élevages, vaccination et déparasitage collectif).

Par ailleurs, concernant le manque de trésorerie des petits éleveurs et dans le cadre de la mise en place d'un modèle mixte d'élevage basé sur un partenariat entre les éleveurs naisseurs et les unités d'engraissement, il est intéressant de prévoir des mécanismes de financement des élevages (avances sur recettes) moyennant l'achat de la supplémentation et des produits vétérinaires.

Les résultats concernant les aliments grossiers distribués au bétail montrent que les quantités distribuées restent minimales par rapport aux effectifs des animaux détenus. Ce sont leur disponibilité et leur prix sur le marché qui régulent leur incorporation dans les rations des petits ruminants. Les prix de ces aliments qui assurent un bon apport en aliments grossiers (paille et foin) varient fortement en relation avec les conditions climatiques, ce qui se traduit par une forte augmentation des charges de la supplémentation, malgré les subventions accordées pour les principaux aliments du bétail (orge, son et PSB).

Dans ce sens, il serait judicieux d'étudier les possibilités d'importation des foin en année de sécheresse (adaptation des droits de douane) pour combler le déficit en aliments grossiers qui se traduit par un mauvais fonctionnement du rumen avec des effets négatifs sur le niveau de production des animaux (Chentouf et al., 2009).

Par ailleurs, les recherches concernant l'amélioration génétique (El Fadili, 2009) montrent que la race Bni Guil présente des aptitudes intéressantes concernant l'engraissement en plus de sa rusticité et son adaptation aux conditions de la steppe de l'Orient. Dans ce sens, les efforts d'amélioration génétique par croisement peuvent rehausser davantage son potentiel mais doivent être attentifs aux conditions du milieu et tenir compte des aptitudes d'adaptation de ces croisements aux conditions difficiles de la steppe.

#### **4. Amélioration de la productivité et aménagement des parcours**

##### **4.1. Mise en défens**

La mise en défens compte parmi les moyens performants pour la réhabilitation des parcours dégradés. Les observations sur le terrain confirment que les améliorations qui découlent de cette technique sont nombreuses et diversifiées et permettent une bonne régénération de la végétation naturelle sur une durée plus ou moins longue (Tbib et al., 2004 ; Bentaleb, 2003 ; Achour et al., 2011 ; Bourbouze et al., 2009).

Ainsi, en vue de permettre la conservation des parcours, de pallier les dégâts provoqués par le surpâturage et dans le cadre de sa nouvelle stratégie de gestion durable et participative de la forêt et des terrains de parcours, l'Etat a mis en place un système d'incitation à la sauvegarde et à la restauration des ressources forestières et pastorales basé sur la compensation financière des mises en défens. Cette compensation est accordée aux usagers organisés en coopérative ou en association sylvo-pastorale conformément à la législation en vigueur (Arrêté n° 1855-01 du 21 Mars 2002).

Ce mécanisme s'appuie sur le rachat temporaire du droit d'usage des parcours moyennant une compensation des superficies soustraites au pâturage. L'étendue de la superficie devant être mise en défens est fixée à 300 ha au minimum et la valeur de la compensation annuelle est fixée à 250 DH/ha. En 2012, la superficie mise en défens au niveau national a atteint 200.000 ha avec la participation de 25.000 usagers (HCEFLCD, 2012).

Les résultats de recherche concernant le suivi biologique des espaces mis en défens au niveau de l'Orient ont montré une amélioration notable des recouvrements et du nombre d'espèces herbacées (le taux de matière sèche est passé de 150 kg/ha à 800 kg/ha) (FIDA, 2002).

La mise en place de mécanismes financiers de compensation des mises en défens peut être considérée comme une première initiative de mise en confiance des usagers en vue d'une approche participative élargie et concertée entre les différents acteurs (usagers, services techniques et autorités locales). Implicitement, ce mécanisme de financement des mises en défens au niveau de l'ensemble de la région permettra l'encouragement de l'organisation

des usagers en groupements d'intérêts qui devra se traduire à moyen terme par une plus grande coordination entre les membres de ces groupements dans la gestion des affaires de la communauté.

Concernant la valeur de la compensation annuelle à l'hectare qui peut être assimilée au coût d'opportunité de la privation du pâturage, elle devra permettre d'inciter les usagers à une mise en défens alternée et donc spatialement plus équilibrée. Dans ce sens, il serait souhaitable d'établir un lien clair entre la valeur de compensation à l'hectare et l'attractivité relative des parcours (El Mokaddem et al., 2014). Ceci permettra de dynamiser les choix des terres de mise en défens et d'encourager les usagers à une meilleure alternance. Ceci peut être réalisé à travers un modèle d'adéquation entre la valeur de la compensation proposée et les niveaux d'attractivité relative des parcours tels que développé plus haut.

De toute manière, si on compare le montant de la compensation prévu dans le cadre des textes en vigueur (250 DH/ha) au rendement fourrager moyen des parcours de la zone qui ne dépassent pas 50 UF/ha (0 à 200 UF/ha selon le type de faciès) et sachant qu'un kilogramme d'orge subventionné coûte environ 3 Dirhams et procure une unité fourragère, on note que le prix de la compensation prévu dépasse largement la valeur des prélèvements pouvant être effectués sur ces parcours.

Toutefois, il faut signaler que la mise en défens telle qu'appliquée actuellement présente une insuffisance liée à la non définition de critères clairs d'éligibilité des associations bénéficiaires et à l'absence de suivi rigoureux concernant la distribution de la rente entre les différents bénéficiaires des groupements. Ceci devra favoriser à long terme les utilisateurs marginaux ou occasionnels aux dépens des utilisateurs principaux des terres proposées pour la mise en défens.

Dans ce sens, il serait plus judicieux de ne retenir que les associations et coopératives d'éleveurs qui justifient une utilisation exclusive des périmètres proposés à la mise en défens et leur proposer en même temps des solutions alternatives d'intensification de leur élevage en vue de désengorger l'espace pastoral resté ouvert. Généralement, il est admis un taux de mise en défens inférieur au cinquième de la superficie de l'unité socio-territoriale.

## 4.2. **Rotation**

Il s'agit d'une technique de mise en repos périodique d'une partie des parcours en vue d'une meilleure utilisation de l'ensemble de l'espace pastoral disponible. La mise en place d'une dynamique particulière de déplacement des troupeaux sur les aires de pâturage à travers l'instauration des rotations permet de remédier aux problèmes liés aux écarts d'attractivité entre les différentes aires de pâturage (productivité fourragère, proximité, pente, accessibilité...).

Par opposition au pâturage continu, la rotation sur les sites pastoraux permet une meilleure conservation des ressources en optimisant les prélèvements sur l'ensemble du territoire et en évitant une surexploitation des zones les plus attractives (pas nécessairement les plus productives en termes d'apport fourrager).

Ainsi, pour éviter une concentration des animaux sur des sites pastoraux particuliers, il est important d'établir des règles d'utilisation des pâturages pour l'ensemble des usagers en vue de respecter les systèmes de rotation arrêtés et les périodes de pâturage.

La rotation saisonnière sur les sites pastoraux et la mise en défens des aires de pâturage les plus dégradées peuvent être combinées pour produire un système de gestion des parcours

dynamique et optimal visant une valorisation durable de l'ensemble du parcours par les usagers.

Il est utile de signaler que la gestion traditionnelle des parcours, par la mise en repos périodique (Agdals), la mobilité des éleveurs (transhumance et nomadisme) et en absence de mécanismes de financement étatique et de contraintes de déplacement des éleveurs entre les différentes aires de pâturage (vallée, montagne ou Nord-Sud...), a permis pendant très longtemps une meilleure utilisation des parcours à travers essentiellement la mobilité et l'instauration d'un ensemble de règles d'usage des parcours de proximité ou en commun.

La sédentarisation inévitable des éleveurs au cours du dernier siècle, le changement des technologies de production, le changement des organisations sociales et l'implication de l'Etat en tant qu'acteur et gestionnaire, doivent inciter l'ensemble des intervenants impliqués dans la gestion de l'espace pastoral à une grande ingéniosité en vue de produire des schémas d'utilisation durables, concertés et acceptés par tous.

Le projet de loi sur la transhumance pastorale, la gestion et l'aménagement des espaces pastoraux, en gestation, prévoit la réglementation de la transhumance qui devra être subordonnée à l'obtention d'une autorisation de déplacement du troupeau et d'un certificat sanitaire et soumise à la fixation des périodes d'ouverture et de fermeture des zones et espaces pastoraux. Ainsi, l'installation des éleveurs transhumants dans les aires de transhumance sera soumise à l'obtention d'autorisations délivrées par les autorités administratives et sanitaires compétentes de la localité de provenance et de celle d'accueil.

La mise en place de mécanismes de contrôle des déplacements des éleveurs et de la charge des parcours au niveau de l'ensemble du pays devrait permettre à long terme une réduction de la transhumance en faveur de la sédentarisation. Dans ce sens, l'Etat ayant pris l'initiative d'imaginer un schéma global de gestion durable des ressources sylvo-pastorales du pays devra, avec la participation de l'ensemble des partenaires et des ayants droit sur ces terrains, produire un modèle intégré de gestion de ces aires de pâturage qui englobe des mécanismes techniques de gestion (mise en défens, limitation des effectifs, contrôle de la mobilité et des accès...) mais également des alternatives économiques de substitution pour les éleveurs (compensation, subventions, aménagements, soutien des prix, encadrement...).

Par principe de rationalité économique, l'incitation des éleveurs à la réorganisation par changement d'allocation des ressources ne peut être attractive que si elle compense au moins la diminution de la rente induite par le respect des nouvelles limites d'utilisation des ressources pastorales. Dans ce sens, la réussite du changement dans le sens de l'amélioration de la durabilité d'utilisation de ces ressources passe nécessairement par la stabilisation, sinon l'amélioration des avantages économiques que les éleveurs peuvent se procurer sans aucune intervention extérieure (sans projet de réorganisation).

Réciproquement, la limitation de l'accès aux parcours pour les utilisateurs occasionnels (transhumants et nomades) devra favoriser une augmentation des effectifs des utilisateurs structurels par simple effet de substitution économique entre inputs (achats de moins d'aliments sur le marché). Dans ce sens, la stratégie globale de gestion durable des ressources devra avant tout viser une adaptation et un contrôle optimal des effectifs d'animaux, y compris des éleveurs structurels et sédentaires faute de quoi, dans le cadre d'un marché pur et parfait avec stabilité des prix relatifs, la diminution de la rente des éleveurs transhumants doit être compensée par une hausse des prélèvements des éleveurs locaux (pas de gain en durabilité des ressources).

Finalement, l'accès aux aires de pâturage devra être défini dans le cadre d'un droit d'usage reconnu et formellement identifié pour chaque groupe de transhumants (tribus/fractions) qui ne peut être élargi spatialement par simple obtention d'autorisation de déplacement du

troupeau. Dans ce sens, une cartographie des lieux de transhumance pour chaque tribu est nécessaire pour éviter une augmentation de l'attractivité de la nouvelle forme « réglementée » de la transhumance pour l'ensemble des éleveurs.

#### 4.3. Interventions spécifiques sur le couvert végétal

Plusieurs techniques d'amélioration ou de restauration des rendements fourragers ont été testées au niveau de la zone de l'Oriental, telles que les plantations de l'Atriplex (*Atriplex nummularia*), l'ensemencement de l'armoise, les techniques de collecte d'eau et d'aération du sol (scarifiage et pitting) mais l'efficacité réelle de ces techniques reste relativement limitée en raison de l'absence d'une évaluation rigoureuse de leurs résultats sur le terrain et de leur effet sur le comportement économique des éleveurs (FIDA, 2002).

A signaler que les solutions techniques visant à accroître la biomasse ne doivent pas provoquer un accroissement des prélèvements du cheptel qui se traduirait par une surexploitation du parcours bien plus importante que sans interventions (Dutilly-Diane, 2006). Dans ce sens, la limitation des effectifs d'animaux doit être un préalable aux interventions d'amélioration de la productivité fourragère des parcours. Ceci implique que ces interventions ne doivent en aucun cas affecter les niveaux d'attractivité de ces parcours pour les éleveurs structuraux en vue d'augmenter les effectifs des animaux ou pour les éleveurs occasionnels pour utiliser ces parcours pendant une plus longue période.

### 5. Politique des prix de la filière des viandes

Dans le cadre du Plan Maroc Vert (PMV), lancé en 2008, l'Etat Marocain a mis le développement de la filière des viandes au centre de ses préoccupations dont le but est d'en faire un secteur compétitif à l'horizon 2020.

A cet effet, deux contrats-programmes ont été signés entre le gouvernement et les fédérations professionnelles dont les objectifs sont :

- Production de 510.000 T de viandes rouges en 2020 contre 425.000 T en 2009 ;
- Production de 900.000 T de viandes blanches et 7,2 milliards d'œufs de consommation en 2020, contre respectivement 560.000 T et 4,5 milliards en 2010 ;
- Amélioration de l'offre et des produits à base de viandes saines, avec une meilleure qualité et ayant une traçabilité claire ;
- Réduction des coûts de production, des prix au consommateur et encouragement de l'exportation.

Dans ce sens, l'Etat a mis en place un vaste régime d'incitations, d'aides et de subventions à l'investissement, à la production et à l'export qui intervient dans l'ensemble des processus de production et de commercialisation :

- Mobilisation d'une assiette foncière publique en concession sur une durée moyenne de 40 ans pour les grands projets d'investissement de l'ordre de 115.000 ha sur 4 tranches ;
- Subventions à l'investissement (équipements, plantations et capital) pour presque l'ensemble des filières dont les taux varient entre 30 et 100% ;
- Subvention d'un grand nombre d'inputs agricoles (semences, petit matériel et équipements agricoles, analyses du sol, aliments du bétail, transport...);
- Prime pour l'amélioration génétique et subventions à l'acquisition de reproducteurs pour l'élevage et du prix des aliments du bétail ;



- Subvention à l'exportation de certains produits agricoles (agrumes, tomates, fraises et huile d'olive) et aides au transport pour quelques produits agricoles destinés à l'exportation.

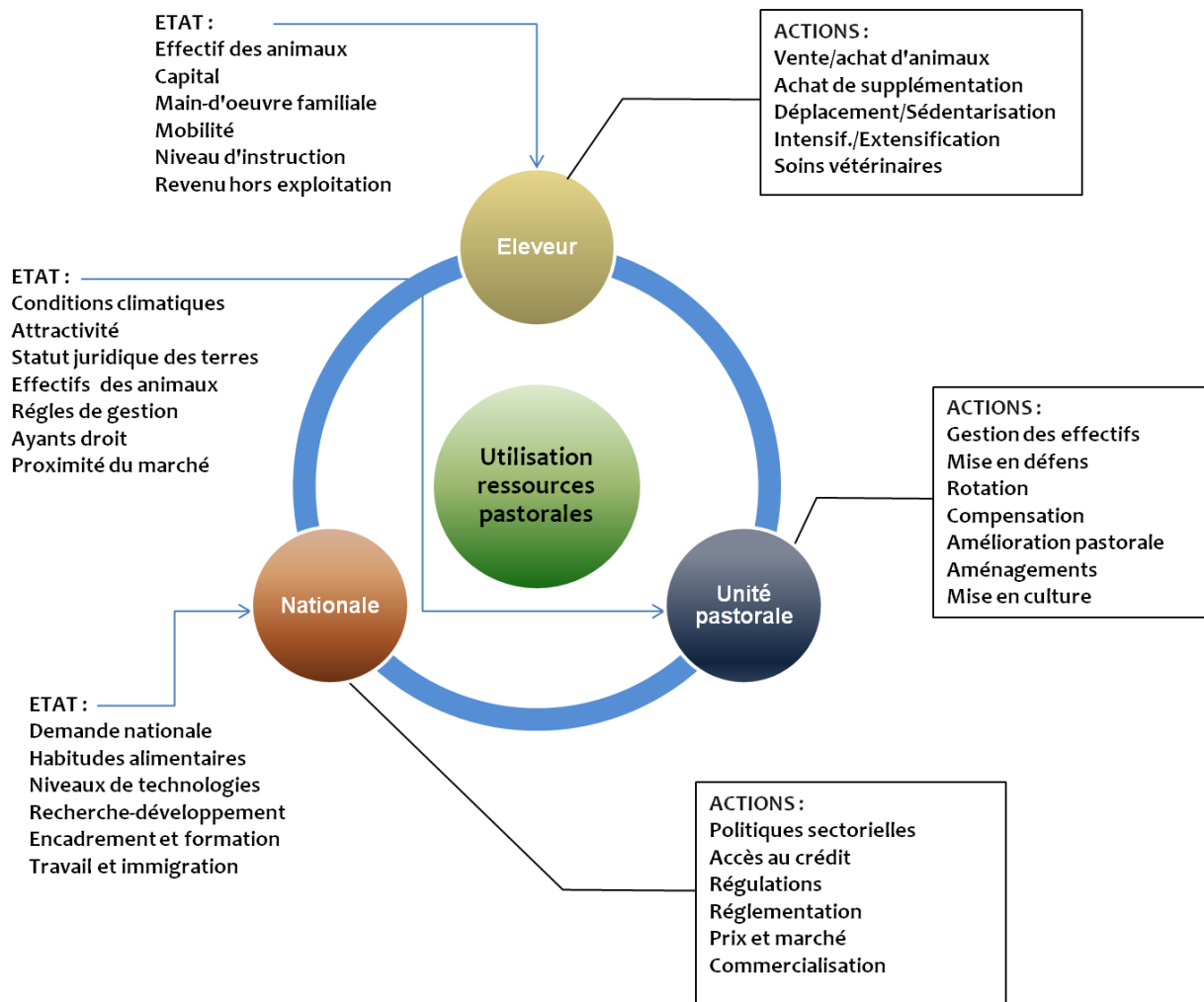
La mise en place de cette panoplie de systèmes d'incitations à la production et à l'export par la diminution des charges (changement des points optimaux de production) a permis ces dernières années d'enregistrer une augmentation notable des volumes de production sur presque l'ensemble des filières agricoles et a permis d'alimenter convenablement le marché local. Ces augmentations des volumes de production ont induit une stabilité des prix au consommateur pour la plupart des denrées agricoles et même une diminution saisonnière des prix de certains produits agricoles (viandes, agrumes, huile d'olive...) (MAPM, 2011).

Dans ce sens, l'activité d'élevage ovin sur parcours pourrait être négativement affectée par l'augmentation des volumes de production et la diminution relative des prix des viandes sur le marché national. Considérant la complexité des imbrications de la filière des viandes y compris la volaille, la priorité donnée à l'intensification de la production animale pour répondre aux objectifs de résorption du déficit de production de viande à l'échelle nationale et la diminution des prix au consommateur pourraient se traduire à moyen terme par une augmentation de la vulnérabilité des systèmes de productions traditionnelles basées sur l'élevage extensif (petits éleveurs) au profit des élevages intensifs.

L'étude de la consommation des viandes au Maroc a montré que ces biens sont normaux et que leur élasticité-revenu a tendance à les placer comme des biens de luxe avec des effets prix élevés. Aussi, il a été noté des possibilités de substitution entre les deux types de viande (rouge et blanche) ce qui implique que l'évaluation des tendances de la consommation des viandes au Maroc nécessite plus d'attention en matière d'affinement des politiques économiques à mettre en œuvre (Driouchi et al., 1995).

La gestion des parcours en relation avec leur intérêt économique pour l'élevage, les possibilités de maîtrise des externalités, de substitution des inputs pour les producteurs et des biens finaux pour les consommateurs et les possibilités d'adaptation de l'offre et de la demande (élasticités) ne peut être pensée que dans le cadre d'une stratégie globale de développement du secteur des viandes avec toutes les imbrications que ceci suppose entre les différentes filières agricoles.

Dans ce sens, une fine évaluation des interactions entre les différents secteurs de production et de consommation pour l'ensemble du secteur des viandes (offres/demandes) est nécessaire pour pouvoir mettre en œuvre des politiques économiques sectorielles efficaces et équitables y compris concernant la gestion durable des parcours et la lutte contre leur dégradation.



**Figure 143 : Modèle général du fonctionnement de l'élevage pastoral**

### C. CONCLUSION

L'analyse des stratégies d'élevage montre que chez les grands éleveurs semi-nomades ou sédentaires le croît du troupeau est alimenté par des investissements conséquents basés sur un mode d'exploitation capitaliste visant une meilleure rentabilisation économique des capitaux engagés. Ce type d'élevage entre en compétition pour l'utilisation des ressources (y compris les capitaux et les subventions) avec les petits élevages, les poussant à adopter des stratégies à court terme.

Il paraît qu'il existe une relation étroite entre les capacités de financement des éleveurs et les stratégies d'élevage. Ainsi, la possibilité de mobilisation du capital propre permet de maintenir le troupeau et de subvenir à l'achat de la supplémentation indépendamment des apports des parcours sans pour autant tourner le dos à ces apports lorsque les conditions redeviennent favorables.

L'utilisation durable des parcours doit donc et avant tout viser une gestion dynamique des effectifs des animaux sur les parcours en adaptant en permanence le nombre d'animaux aux disponibilités fourragères des parcours. Les stratégies de gestion durable des parcours à proposer doivent viser un double objectif, à savoir :

- Une gestion technique de l'espace pastoral basée sur la recherche d'une adéquation permanente des effectifs des animaux en relation avec la productivité des parcours ;

- Une gestion technique des troupeaux impliquant une meilleure rentabilisation de l'élevage. Ceci implique une recherche permanente de l'amélioration des technologies de production et des modes de conduite d'élevage en vue d'optimiser les revenus des éleveurs.

Par ailleurs, concernant l'amélioration des productivités des parcours, il serait judicieux d'instaurer des systèmes d'aménagement des espaces pastoraux en concertation avec les usagers.

L'analyse de la politique économique de la filière des viandes au Maroc montre qu'une stratégie sectorielle de subvention de la production dans le cadre d'une politique d'intensification agricole peut avoir des effets indirects sur le niveau d'utilisation des ressources pastorales et se manifester sur le terrain par un effet d'entraînement par augmentation des niveaux de prélèvements, au moins en saison favorable, des ressources pastorales gratuites et libres d'accès (bien collectif à faible niveau d'exclusivité).

Ainsi, les résultats obtenus concernant la mise en place d'un système de subvention des prix des aliments du bétail dans la zone pastorale étudiée dans le cadre du programme national de sauvegarde du cheptel, qui en apparence devrait se traduire par un allègement de la pression sur les ressources en période de sécheresse, a induit un déséquilibre entre les effectifs des animaux et les disponibilités fourragères de ces parcours sur le moyen et long terme, se traduisant inévitablement pas une surexploitation.

Dans ce sens, la politique de subvention des aliments du bétail et d'appui à la filière des viandes en général, doit être revue et adaptée en relation avec les impératifs de conservation des ressources et d'amélioration des productivités.

La politique économique de la filière des viandes au Maroc doit cibler avant tout les performances économiques plutôt que les exploits techniques relatives aux volumes de production et de sauvegarde du cheptel. Dans ce sens, l'accent doit être mis sur l'amélioration des technologies de production en vue de mieux valoriser l'ensemble des ressources utilisées, y compris celles issues des terres de parcours.

### 1- SENSIBILITE A LA DESERTIFICATION

L'intégration des différents paramètres bioclimatiques et socio-économiques a permis la dérivation de la carte de sensibilité à la désertification par croisement des quatre indices relatifs au sol (IQS), à la végétation (IQV), au climat (IQC) et au système d'aménagement (IQSA). Cette carte représente une synthèse spatialisée de la sensibilité à la désertification du bassin versant de la Moulouya répartie selon quatre classes : peu sensible, potentiellement sensible, fragile et critique.

Du point de vue quantitatif, les résultats obtenus montrent que les zones fragiles et critiques totalisent 61% de la superficie du bassin versant, soit une superficie d'environ 3,25 millions d'hectares. A titre de comparaison, les résultats obtenus par Mahyou et al. (2010) estiment que le phénomène de désertification affecte près de 69% des zones de parcours de la région de l'Oriental.

Spatialement, à travers la carte de sensibilité à la désertification, on peut constater que les zones sensibles à la dégradation se trouvent aussi bien dans la Basse Moulouya que dans les Hauts Plateaux et la vallée de Missouri constitués essentiellement de parcours steppiques. Les facteurs explicatifs de cette dégradation sont multiples et diversifiés en fonction des composantes naturelles et socio-économiques de chaque zone.

Dans la zone côtière, le facteur explicatif de cette sensibilité à la désertification est surtout lié à l'intensification de l'agriculture caractérisée par la mise en place depuis presque un demi-siècle du périmètre irrigué de la Moulouya, mais aussi par la forte densité de la population par rapport à son potentiel économique.

Pour les Hauts Plateaux et la vallée de Missouri, les facteurs explicatifs de cette sensibilité à la désertification sont liés à la densité du cheptel qui se manifeste par la modification profonde du milieu physique à travers la dégradation du couvert végétal et l'augmentation de l'érosion éolienne et hydrique.

Au niveau des terrains de forte pente, généralement localisés à l'ouest du bassin versant (Rif oriental et l'est du Moyen Atlas), la sensibilité à la désertification est essentiellement liée au risque d'érosion hydrique à cause de l'instabilité des sols. Celle-ci a été moins élevée dans les zones de montagne et les hautes altitudes occupées par une végétation de bonne vigueur (forêts et végétation pérenne).

Dans les zones intérieures situées sur le tronçon routier Taza-Taourirt, les terres à forte pente apparaissent les plus sensibles à la désertification du fait de la prédominance de la constitution argileuse et marneuse des couches superficielles du sol. Cette sensibilité se manifeste essentiellement par l'augmentation de l'érosion par la formation de rigoles et de ravines et des affleurements de la roche mère.

### 2- DYNAMIQUE DE LA VEGETATION

#### a- Pour l'ensemble du bassin versant :

L'analyse de la dynamique de la végétation à l'échelle de l'ensemble du bassin versant de la Moulouya a été réalisée en utilisant exclusivement le NDVI issu des données à basse

résolution des capteurs AVHRR et SPOT Végétation ayant des résolutions de 1 à 8 km selon leur origine et l'algorithme de traitement qu'elles ont subi.

L'analyse des séries chronologiques du NDVI et l'édition des séries de cartes d'évolution temporelles des anomalies annuelles et saisonnières de la végétation pour les données GIMMS issues du capteur AVHRR pour la période de 25 ans entre 1981 et 2006, n'a pas révélé un changement significatif et soutenu de la qualité globale de la biomasse à l'échelle de la zone. En effet, l'évolution temporelle du NDVI met en évidence une tendance stable de la végétation, sans aucune direction particulière affirmée et soutenue tout le long de la durée d'analyse. Ce résultat montre que la végétation de la zone présente une grande résilience intrinsèque et qu'elle reprend très bien en vigueur et en qualité dès le retour des précipitations. On ne note pas une diminution soutenue du NDVI dans aucune zone du bassin versant.

Par ailleurs, il a été montré que les trois sources de données relatives au NDVI utilisées (GIMMS, MEDOKADS et SPOT) pour le suivi spatio-temporel de la végétation de la zone conduisent à des évolutions similaires de l'indice de végétation NDVI. Malgré les différences entre les amplitudes de variation du NDVI, liées essentiellement aux spécificités des algorithmes de traitement, les trois séries de données conservent la même tendance stationnaire au cours du temps.

L'analyse de l'évolution temporelle de l'indice d'efficacité d'utilisation des pluies à l'aide du RUE de chaque quinzaine pour la période 1989 à 2006 et seulement pour la période de pic de croissance de la végétation (1<sup>ère</sup> quinzaine d'avril) montre que la valeur moyenne du RUE pour le BV de la Moulouya est quasiment stable au cours du temps, malgré les différences entre les périodes sèches et humides. La courbe de tendance a une pente presque nulle (indicatrice de stabilité).

D'une manière générale, les fluctuations du NDVI mises en évidence à l'aide des données NDVI à basse résolution reflètent principalement les variations spatio-temporelles en quantité et en qualité des précipitations d'une année par rapport à une autre et ne montrent aucune tendance particulière positive ou négative de la qualité de la végétation.

L'analyse de la relation entre le NDVI et les précipitations montre que le NDVI est bien corrélé aux précipitations cumulées des 3 à 5 mois précédents avec un temps de latence, relativement court, de l'ordre de 15 jours à un mois. Ceci peut être expliqué par l'importance de la régularité des pluies le long du cycle de croissance de la végétation en plus de leur abondance. Une pluie bien répartie relativement abondante est toujours meilleure qu'une pluviométrie très abondante mais très mal répartie le long du cycle de croissance de la végétation.

#### **b- Pour la zone d'intérêt :**

L'analyse de la dynamique de la végétation et de l'occupation du sol au niveau de la zone d'intérêt sélectionnée, à savoir la commune rurale de Tissaf, moyennant l'utilisation des données à basse résolution relatives au NDVI et celles à haute résolution, LANDSAT, pour le suivi d'occupation du sol a montré que :

Le suivi du taux de recouvrement de la végétation à l'échelle locale à travers l'analyse des séries chronologiques du NDVI des capteurs SPOT et AVHRR/GIMMS confirme la stabilité et la résilience de la végétation précédemment révélées au niveau de l'ensemble du bassin versant. La végétation, surtout la strate herbacée des annuelles, reprend assez bien en bonnes années et réagit proportionnellement à la quantité et à la qualité des précipitations reçues.



Ceci est également confirmé en étudiant l'évolution de l'indice d'efficacité d'utilisation de la pluie (RUE) de la période de pic de croissance de la végétation qui est restée pratiquement stable au cours de 23 années d'analyse.

Pour détecter les changements d'occupation du sol sur 20 ans à l'aide de l'utilisation des données à haute résolution LANDSAT, nous avons choisi des dates relatives à la première quinzaine du mois de mars qui coïncident avec le stade de développement maximal de la végétation, y compris la strate herbacée (date anniversaire), soit 1988, 2001 et 2007.

Les résultats obtenus montrent que la végétation naturelle de la zone est particulièrement dominée par l'Alfa (*Stipa tenacissima*) avec une superficie de l'ordre de 200.000 ha, soit 68% de la surface de la commune. Le faciès chénopodiacées occupe de 50.000 à 70.000 ha selon les années, le reste environ 15%, est pratiquement du sol nu.

L'étude de l'évolution de l'occupation du sol montre que l'Alfa conserve un grand potentiel d'adaptation aux conditions du milieu (végétation climacique) et que sa superficie totale n'a subi aucun changement significatif entre 1988 et 2007. Par contre, du point de vue qualitatif, de grandes superficies d'Alfa dense à très dense se sont dégradées pour se retrouver dans la classe d'Alfa faiblement dense. Cette dégradation a une direction Est-Ouest en se dirigeant vers les hautes altitudes, soit une diminution de l'ordre de 16.199 ha sur 20 ans.

L'analyse à une échelle plus fine par le choix de la commune de Tissaf comme zone d'intérêt a permis de révéler une dégradation qualitative de la végétation à travers l'analyse des images satellites à haute résolution (LANDSAT) et confirme les résultats de l'approche MEDALUS.

Par contre, on note, dans le cas particulier du bassin versant de la Moulouya, que les données du NDVI (NOAA/AVHRR et SPOT végétation) n'ont pas permis de révéler ces changements à grande échelle à cause principalement de l'effet de la strate herbacée des annuelles. La qualité de la biomasse des annuelles influence fortement les valeurs du NDVI car celui-ci indique la qualité de l'ensemble de la biomasse et non seulement sa composante pérenne.

Ceci est davantage confirmé par le fait que la végétation pérenne de la zone est faiblement photosynthétique et corrobore les résultats obtenus par Okin et Roberts (2004) concernant l'utilisation des indices de végétation pour l'évaluation et le suivi de la qualité de la végétation non photosynthétique (NPV). Une partie significative et biologiquement importante de la dynamique de la végétation de la zone est ainsi masquée par la dynamique spatio-temporelle propre à la strate herbacée des annuelles.

### **3- EVOLUTION DU CLIMAT**

L'exploitation des différentes sources de données climatiques (précipitations et température), en vue de caractériser la dynamique du climat ainsi que ses scénarios d'évolution pour le 21<sup>ème</sup> siècle, montrent que la qualité du climat de la zone a connu une détérioration (diminution des précipitations et hausse des températures) au cours du siècle précédent qui s'est traduite par une augmentation de l'aridité. Selon les données relatives à l'évolution du climat (HADCM3), cette tendance devrait se maintenir au cours du 21<sup>ème</sup> siècle.

L'étude des séries mensuelles des précipitations enregistrées le siècle précédent montre une tendance globale à la diminution des précipitations qui sont passées en moyenne de 467 mm pour la période 1901-1920 à 340 mm pour la période 1980-2000, soit une perte de l'ordre de 100 mm en un siècle comme valeur de tendance.

Cette diminution de la hauteur des précipitations devra se maintenir au 21<sup>ème</sup> siècle pour l'ensemble des scénarios étudiés, soit une réduction de la hauteur des pluies de l'ordre de 3 à 5 mm en 2020 et 49 à 93 mm en 2080.

Pour les températures, au cours du siècle précédent, il a été noté une tendance à l'augmentation des températures moyennes annuelles. La comparaison entre la moyenne des périodes 1901-1925 et 1976-2002 montre que la température annuelle moyenne est passée de 15 °C à 15,9 °C, soit une augmentation de presque 1 °C en un siècle.

L'analyse des scénarios d'évolution de la température annuelle moyenne pour le 21<sup>ème</sup> siècle, en utilisant le modèle HADCM3, montre une augmentation de la température pour l'ensemble du bassin versant de la Moulouya entre 2020 et 2080 pour le modèle B2 le plus optimiste de l'ordre de 2 °C et 3,8 °C pour le scénario A2 le plus pessimiste. En général, l'analyse des scénarios d'évolution du climat montre un réchauffement global et continu de l'ordre de 2,9 à 4,5 °C d'ici 2080.

Par rapport à la période 1901-2000, pour laquelle la température a enregistré une augmentation de presque 1 °C, on note une accélération du réchauffement de l'ordre de 1 °C à 2,8 °C selon les scénarios au cours de la période 2020-2080.

Ainsi, ces changements climatiques futurs, en plus de ceux déjà survenus au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, doivent avoir un effet négatif sur le potentiel agricole de la région en accentuant le déficit hydrique pour l'agriculture en particulier et l'économie en général.

L'augmentation des températures et la diminution relative des précipitations avec une augmentation certaine de la fréquence des événements extrêmes, doivent avoir un effet, d'une part, sur la durée des cycles de végétation des cultures en Bour et la demande en eau des cultures irriguées et, d'autre part, sur la qualité et la densité de la végétation naturelle et les parcours.

L'augmentation de l'aridité devra se traduire, en absence de mécanismes d'adaptation par l'augmentation de l'érosion des sols et par la diminution du potentiel biophysique du milieu avec toutes les conséquences que cela devra avoir sur l'économie régionale.

#### **4- SCENARIOS D'EVOLUTION ET D'ADAPTATION**

Le changement climatique, en plus de l'inadaptation des techniques de production agricoles aux conditions du milieu, doit avoir des effets importants sur les paysages et les potentiels agricoles de la région à court terme.

Face à ces défis, un ensemble de scénarios d'évolution et d'adaptation peuvent être envisagés en relation avec le panel d'options possibles.

Pour pouvoir valoriser les avantages comparatifs du pays (climat et biodiversité), la réforme de la politique agricole nationale doit impérativement viser le développement d'une agriculture durable et compétitive, intégrée à son environnement national et attentive au contexte et signaux du marché international.

Les distorsions de marché, les incitations économiques mal ciblées ainsi que les défauts de gouvernance ont favorisé la création de marchés fictifs où quelques acteurs économiques, grâce à leurs grandes capacités de mobilisation des capitaux et aux synergies qu'ils peuvent former par le biais du lobbying, continuent de bénéficier d'un maximum d'avantages aux dépens d'une grande frange de la population, y compris les non-agriculteurs.

#### **a- Cas des zones de parcours :**

Les résultats obtenus montrent que les zones de parcours sont soumises à une pression anthropique élevée essentiellement liée aux prélèvements du troupeau ovin.

La succession de deux années de sécheresse s'est traduite par une divergence des trajectoires économiques entre les grands et les petits éleveurs. Ainsi, les grands éleveurs avec des effectifs ovins dépassant les 200 têtes paraissent évoluer vers des systèmes de production plus adaptés aux nouvelles conditions du milieu à travers l'apport continu de la supplémentation. Ces éleveurs disposent généralement de capitaux propres importants leur permettant de recourir à l'achat d'aliments du bétail, mais restent attentifs à l'évolution de la qualité des parcours de la zone pour profiter au maximum de leur apport fourrager gratuit lorsque ceci devient intéressant pour leurs troupeaux.

Par contre, pour les petits éleveurs, l'activité d'élevage paraît être très vulnérable à la sécheresse. La décapitalisation de l'activité, à travers la vente du cheptel productif, n'a pas permis de compenser les pertes dues au manque d'herbe sur les parcours, les performances technico-économiques sont très faibles et les marges réalisées sont nulles pour les transhumants et négatives pour les sédentaires.

On assiste donc à l'apparition d'un nouveau modèle d'utilisation des parcours basé sur une intensification relative de l'activité d'élevage avec une utilisation occasionnelle et opportuniste des ressources pastorales. Ceci devrait conduire à moyen terme à la disparition de la sédentarisation des élevages à faible effectif au profit des grands élevages plus intensifs en capital. Ce revirement de l'activité d'élevage, en absence de mécanisme de régulation, se traduira par une plus forte pression sur les parcours, étant donné leur gratuité et leur libre accès surtout en saison favorable. Ce système semi-intensif d'élevage « fait le dos rond » tant que dure la sécheresse, mais sans trop perdre de sa capacité de profiter des apports des parcours dès le retour des pluies.

L'analyse des performances techniques montre que celles-ci demeurent relativement faibles par rapport au potentiel de la race Bni Guil et qu'il est possible d'augmenter sensiblement les productivités des élevages par le biais d'un encadrement ciblé en vue d'une meilleure maîtrise des techniques de reproduction, de rationnement et par l'amélioration des conditions sanitaires des troupeaux.

Par ailleurs, l'analyse des prix de vente et de la qualité des produits vendus par les éleveurs essentiellement sur le marché local, montre la dominance du circuit traditionnel de commercialisation basé sur les intermédiaires. Il est recommandé, dans ce cadre, d'initier des mécanismes de ventes groupées par la création de coopératives de commercialisation locales ou régionales qui peuvent aussi s'occuper de l'approvisionnement en aliments du bétail pour l'ensemble de la communauté des éleveurs.

Pour pallier le risque de dégradation des parcours, leur gestion et utilisation doivent se faire à travers l'incitation économique de l'Etat en vue de réactiver les organisations coutumières locales qui ont souvent été négligées par méconnaissance de leur rôle primordial dans l'appropriation du territoire par les utilisateurs. Le découpage social des territoires pastoraux entre les différents groupes d'intérêt et la mise en place de règles d'usage et de gestion à travers les organisations traditionnelles s'avèrent être la seule issue possible en vue de réduire les risques de dégradation du milieu.

Dans ce sens, l'Etat en tant qu'acteur économique principal disposant d'importants droits sur ces terres, devra prévoir des modes de gestion pastorale contractualisée avec les communautés des usagers pour restaurer les ressources et garantir leur pérennité.

Pour les petits éleveurs, la seule vraie solution à long terme reste la conversion vers d'autres activités. L'amélioration des conditions d'accès à la scolarisation des enfants et la réduction de l'enclavement dans les zones les plus reculées permettraient à long terme de réduire l'attractivité économique de l'élevage pastoral au profit de l'immigration et du commerce.

#### **b- Cas des zones irriguées :**

Au niveau du bassin versant, le problème de l'agriculture intensive se pose en termes d'inadaptation croissante de cette activité à son environnement climatique et biophysique. En effet, les changements climatiques en cours et les niveaux de dégradation des sols irrigués de la zone à cause, essentiellement, de l'augmentation de leur salinité, soulève de nombreuses questions sur la durabilité de cette activité et les conséquences que son maintien peut avoir sur les autres secteurs de l'économie.

La durabilité du grand périmètre de la grande hydraulique de la Moulouya ne peut s'imaginer qu'en prenant en ligne de compte la productivité de l'unité d'eau pour l'ensemble des cultures pouvant être produites dans ce périmètre et les avantages de son utilisation dans l'ensemble des autres secteurs de l'économie. La recherche de l'intensification de l'agriculture par l'irrigation sans tenir compte des opportunités d'utilisation de cette eau pour d'éventuelles autres cultures ou dans d'autres secteurs de l'économie constituerait une fuite en avant et un gaspillage certain des ressources.

Il ne s'agit pas ici d'une mise en cause de l'agriculture intensive dans sa globalité, mais plutôt d'une recherche de valorisation optimale des ressources les plus limitantes, à savoir principalement l'eau et un peu moins le sol. Ceci signifie une recherche constante et continue d'adaptation des systèmes de productions agricoles spécifiquement dans les zones irriguées en vue de pérenniser ce type d'activité.

La solution consisterait, principalement, en l'abandon étudié et progressif des cultures irriguées les moins valorisantes de l'eau d'irrigation au profit des cultures, pas nécessairement moins rémunératrices, mais plus adaptées au milieu biophysique.

Les subventions mises en place récemment pour la reconversion à la micro-irrigation, incitant les agriculteurs bénéficiaires à mieux gérer et valoriser la ressource, doivent être relayées par des programmes d'appui à la conversion vers des cultures à haute valeur ajoutée et économes en eau.

#### **c- Cas des zones à agriculture pluviale :**

L'agriculture pluviale au niveau du bassin versant de la Moulouya est surtout marquée par la production du blé tendre et de l'olivier. Les évolutions qui doivent se faire, en plus de l'amélioration des technologies, concernent l'adaptation des associations de cultures à un environnement de plus en plus aride. Dans les zones pluviales du nord du bassin, l'amélioration de la productivité doit se focaliser sur un portefeuille de produits, y compris les produits de terroir, capables de compenser le déficit hydrique du climat et maintenir un développement durable de la zone. Le choix des cultures annuelles doit se tourner essentiellement vers les céréales traditionnelles (orge et blé dur) et quelques légumineuses (féveroles et lentilles) à cycle court et ayant une bonne résistance à la sécheresse.

Dans les petits périmètres irrigués (petite et moyenne hydraulique), le scénario à envisager doit viser l'optimisation de la mobilisation et la gestion de l'eau en vue de permettre le retour des cultures de terroir ayant une grande valeur ajoutée vis-à-vis de l'eau utilisée.

Enfin, pour les zones de cultures marginales où l'agriculture n'est pas adaptée aux conditions du milieu essentiellement à cause de l'aridité et de la qualité du sol (Hauts

Plateaux et vallée de Missouri) et certainement sans avenir en raison du changement climatique et des risques de désertification, des mécanismes de conversion en zones naturelles de parcours ou de steppes doivent être envisagés, à travers l'instauration de dispositifs de compensation.

## 5- CHOIX DES STRATEGIES FUTURES D'ADAPTATION

Ces résultats montrent que l'augmentation de l'aridité est l'évènement futur le plus probable et qu'il convient d'en tenir compte dans l'ensemble des stratégies d'intervention à l'échelle nationale, régionale et locale. Les politiques de développement visant l'augmentation de la productivité économique et l'amélioration du niveau de vie des populations rurales ne peuvent se faire qu'en se basant sur des mécanismes d'adaptation aux conditions d'aridité en relation avec un potentiel biophysique de moins en moins élevé et un climat encore plus défavorable à l'agriculture et à l'irrigation en particulier.

La recherche de solutions innovantes en matière d'économie d'eau, de choix des cultures et de types et systèmes d'élevage en vue d'orienter les producteurs vers les systèmes de production les plus efficaces, s'avère être la seule issue possible et réaliste pour pérenniser l'agriculture de la zone. Ceci ne passe pas nécessairement par l'abandon des projets d'intensification de l'agriculture et d'aménagement des périmètres hydro-agricoles, mais plutôt par la valorisation de l'utilisation de l'eau d'irrigation et du sol à travers un choix pertinent des cultures qui économiquement valorisent le mieux la quantité d'eau et les superficies utilisées et non celles qui produisent le meilleur rendement.

L'application progressive de la vérité des prix (tarification de l'eau, prix des intrants et suppression des garanties des prix) et la mise en place d'un mécanisme national d'incitation à l'économie des ressources en même temps qu'à l'amélioration de la productivité économique est certainement la seule voie possible pour minimiser les risques de dégradation anthropique du milieu. Dans ce sens, si les distorsions de marché à travers les prix, les subventions, la gouvernance (information et stratégie) ne sont pas corrigées, les avantages comparatifs de l'ensemble du pays resteront toujours mal valorisés.

En termes de qualité de climat et sachant que l'aridité due aux changements climatiques globaux va toucher certainement davantage de superficies agricoles, il faudra penser à des mécanismes de conversion progressive vers des systèmes de production agricoles plus adaptés et moins sensibles à la diminution des précipitations déjà très faibles dans la zone.

L'augmentation de la démographie de la zone prévue au cours du 21<sup>ème</sup> siècle (+30% en 2030 par rapport à 2004) et la dynamique économique dont jouit la région de l'Oriental en général ne jouent certainement pas en faveur de la facilitation de la conservation des ressources et l'adaptation aux changements climatiques.

Toutefois, dans un monde qui change en permanence et en absence d'un système d'information agricole régional dynamique et exhaustif sur les opportunités et les potentiels soutenable de production, il est difficile d'orienter l'ensemble des intervenants vers les actions et les opportunités à saisir pour valoriser les atouts du milieu (climat, sol et biodiversité). Face à cette situation, il est recommandé l'élaboration d'un système d'information intégré sur la vocation du milieu, les conditions et les modalités de son utilisation qui tient compte des indicateurs économiques régionaux, nationaux et internationaux en vue d'informer et d'orienter l'ensemble des intervenants, y compris l'Etat, vers les portefeuilles de projets à même de conjuguer le développement durable et l'amélioration du bien-être de la communauté.

Le développement d'une méthodologie pour le suivi de la dynamique de la désertification à l'échelle du bassin versant de la Moulouya peut être considéré comme une pierre à l'édifice



de l'élaboration d'un projet intégré de développement régional qui tient en ligne de compte la dynamique du milieu naturel, son potentiel de plus en plus faible et ses scénarios d'évolution en général.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Achbani M.** (1997). *Etude comparative des productivités des races ovines Béni Guil et Ouled Djellal dans la province de Figuig*. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle : ENA Meknès (Maroc).
- Achour A., Aroui A., Defaa C., El Mousadik A. & Msanda F.** (2011). Effet de la mise en défens sur la richesse floristique et la densité dans deux arganeraies de plaine. In : *Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, Agadir, Maroc, 15 - 17 décembre 2011*. Paris, INRA, p. 60-69.
- Adams M.** (1996). When is ecosystem change land degradation? Comments on land degradation and grazing in the Kalahari. In: *Pastoral Development Network Paper 38c & Pastoral Development Network Paper 39e*. London, Overseas Development Institute, 15 p.
- Alexandratos N.** (1995). *World agriculture: towards 2010. An FAO study*. Rome, FAO & Brisbane, Chichester, John Willeys & Sons. 488 p.
- André A., Joly F. & Métro A.** (1957). *Atlas du Maroc. Carte n° 19a, Forêts*. Rabat, Comité de géographie du Maroc.
- Anyamba A. & Tucker C. J.** (2005). Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981 to 2003. *Journal of Arid Environments*, **63**(3), 596-614.
- Aubreville A.** (1949). *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Paris, Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales. 351 p.
- Bagnouls F. & Gaussen H.** (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, (88), 193-239.
- Bannari A., Morin D., Bonn F. & Huete A. R.** (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, **13**(1-2), 95-120.
- Barbari M., Conti L., Koostra B., Masi G., Guerri F.S. & Workman S.** (2006). The use of global positioning and geographical information systems in the management of extensive cattle grazing. *Biosystems engineering*, **95**(2), 271-280.
- Baret F. & Guyot G.** (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, **35**(2-3), 161-173.
- Barrow C. J.** (1994). *Land degradation: development and breakdown of terrestrial environments*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Bechchari A., El Aich A., Mahyou H., Baghdad B. & Bendaou M.** (2014). Etude de la dégradation des pâturages steppiques dans les communes de Maâtarka et Béni Mathar (Maroc oriental). *Journal of Materials and Environmental Sciences*, **5**(S2), 2572-2583.
- Bechchari A., Acherkouk M., El Koudrim M. & Maatougui A.** (2006). Caractérisation, atouts et contraintes de l'élevage ovin au Maroc oriental. In : Boulanouar B. & Paquay R. *L'élevage du mouton et les systèmes de production au Maroc*. Paris, INRA, p. 77-90.
- Benabderrahmane M. C. & Chenchouni H.** (2010) Assessing Environmental Sensitivity Areas to desertification in eastern Algeria using Mediterranean Desertification and Land Use Model. *International Journal of Sustainable Water & Environmental Systems*, **1**(1), 5-10.
- Benedetti R. & Rossini P.** (1993). On the Use of NDVI Profiles as a Tool for Agricultural Statistics: The Case Study of Wheat Yield Estimate and Forecast in Emilia Romagna. *Remote Sensing of the Environment*, **45**(3), 311-326.
- Bentaleb M.** (2003). *Contribution à l'étude de la dynamique de la végétation steppique après une mise en défens de longue durée : cas d'Anbad et Tasrire (Province de Ouarzazate)*. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle : Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Option Ecologie & Aménagement des ressources naturelles (Maroc).

- Blench R.M. & Sommer F.** (1999). *Understanding rangeland biodiversity*. ODI Working Paper No. 121. London, Overseas Development Institute.
- Bouabid R., Rouchdi M., Badraoui M., Diab A. & Louafi S.** (2010). Assessment of land desertification based on the MEDALUS approach and elaboration of an action plan: the case study of the Souss River Basin, Morocco. In: Zdruli P. *et al.*, eds. *Land degradation and desertification: assessment, mitigation and remediation*. London, Springer Science, p. 131-145.
- Bouhata R. & Kalla M.** (2014). Mapping of environmental vulnerability of desertification by adaptation of MEDALUS method in the endoreic area of Gadaine (Eastern Algeria). *Geographia Technica*, **9**(2/2014), 1-8.
- Bourbouze A.** (2000). Pastoralisme au Maghreb : la révolution silencieuse. *Fourrages*, (161), 3-21.
- Bourbouze A., Ben Saad A., Chiche J. & Jaubert R.** (2009). Chapitre 7 – Sauvegarder les espaces collectifs et de parcours. In : CIHEAM & Plan Bleu. *MediTERRA 2009. Repenser le développement rural en Méditerranée*. Paris, Presses de Sciences Po, p. 243-275.
- Bourbouze A., Lhoste Ph., Marty A. & Toutain B.** (2001). *Etude sur la lutte contre la désertification dans les projets de développement. Problématique des zones pastorales : phénomènes de désertification et formes de dégradation*. Paris, CSFD & AFD.
- Boutayeb T.** (1996). Les potentialités de développement du Moyen-Atlas oriental et leur appréciation par les acteurs locaux / Development possibilities in the eastern Middle Atlas Mountains and their assessment by local actors. *Revue de géographie alpine*, **84**(4), 51-60.
- Brogaard S. & Ólafsdóttir R.** (1997). *Ground-truths or ground-lies? Environmental sampling for remote sensing applications exemplified by vegetation cover data*. Lund, Sweden, Lund University.
- Brovkin V.** (2002). Climate vegetation interaction. In: Boutron CF. *ERCA (European Research Course on Atmospheres)*, vol. 5. London, EDP Sciences, p. 57-72.
- Brown M. E., Pinzon J. E., Didan K., Morisette J. T. & Tucker C. J.** (2006). Evaluation of the consistency of long-term NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-vegetation, SeaWiFS, MODIS, and Landsat ETM+ sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **44**(17), 1787-1793.
- Caidi A.** (1995). *Etude comparative des systèmes d'élevage nomade, semi-nomade et sédentaire dans les parcours arides et subsahariens : cas de la commune rurale de Bouichaouen province de Figuig*. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle : ENA Meknès (Maroc).
- Campbell J.B.** (1996). *Introduction to remote sensing. Third Edition*. New York, Guilford Press. 621 p.
- Carver S. J.** (1991). Integrating multicriteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographic Information Science*, **5**(3), 321-339.
- Cavallar W.** (1950). *Esquisse préliminaire de la carte des sols du Maroc*. Rabat, Direction de l'Agriculture, du Commerce et des Forêts du Maroc. Division de l'Agriculture et de l'Elevage.
- CCISO** (2009). *Monographie de la Région Orientale*. Oujda, Chambre de Commerce d'Industrie et de Services d'Oujda, Département de l'information Communication. 99 p.
- Chakroun H., Nouri M., Vacca A. & Rejeb M. N.** (2006). Modélisation de la désertification par l'adaptation de la méthode MEDALUS à un bassin versant du centre de la Tunisie. In : *14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, (ISCO 2006)*. 4 p.

- Charney J. G., Stone P. H. & Quirk W. J.** (1975). Drought in Saharan: a biological feedback mechanism. *Science*, (187), 434-435.
- Chavez P. S. Jr. & Mackinnon D. J.** (1994). Automatic detection of vegetation changes in the southwestern United States using remotely sensed images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **60**(5), 571-583.
- Chentouf M., Arrebola Molina F., Boulanouar B., Mesbahi H., Terradillos A., Caravaca F., Casas C. & Bister J.L.** (2009). Caractérisation des systèmes de production caprine semi-extensifs en Andalousie et au nord du Maroc : analyse comparative. In : Pacheco F. & Morand-Fehr P., éd. In: *Changes in sheep and goat farming systems at the beginning of the 21st century : research, tools, methods and initiatives in favour of a sustainable development*. Zaragoza : CIHEAM / DRAP-Norte / FAO, 2009. p. 37-41.
- Chettou Z.** (2014). Mutations des pratiques d'élevage et des structures sociales, cas des parcours des plateaux et plaines nord-atlasiques. *Revue Alternatives Rurales*, (2), 11 p.
- Civico D. L., Hurd J. D., Wilson E. H., Song M. & Zhang Z.** (2002). A comparison of land use and land cover change detection methods. In: *ASPRS-ACSM Annual Conference and FIG XXII Congress, 22-26 April 2002, Washington D.C., USA*. 12 p.
- Coleau J.** (1972). *Organisation et gestion d'un élevage (document pédagogique n° 1, 2 et 3)*. Paris, Département des Sciences Animales, INRA Paris-Grignon.
- Colwell R. N.** (1997) History and place of photographic interpretation. In: Philipson W.E., ed. *Manual of photographic interpretation*. 2nd edition. Bethesda, USA: American Society for Photogrammetry & Remote Sensing, p. 33-48.
- Contador J.F.L., Schnabel S., Gutiérrez A.G. & Fernández M.P.** (2009). Mapping sensitivity to land degradation in Extremadura, SW Spain. *Land Degradation and Development*, **20**(2), 129-144.
- Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B. & Lambin E.** (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, **25**(9), 1565-1596.
- Cornet A.** (2001). *La désertification à la croisée de l'environnement et du développement : un problème qui nous concerne*. Paris, Comité Scientifique Français de Lutte contre la Désertification. 32 p.
- D'Aquino P., Lhoste P. & Le Masson A.** (1995). *Systèmes de production mixtes agriculture pluviale et élevage en zones humides et subhumides d'Afrique*. Maisons-Alfort, France, CIRAD-EMVT. 117 p.
- Davenport M. L. & Nicholson S. E.** (1993). On the relation between rainfall and the normalized difference vegetation index for diverse vegetation types in East Africa. *International Journal of Remote Sensing*, **14**(12), 2369-2389.
- De Haan C., Steinfeld H. & Blackburn H.** (1997). *Livestock and the environment - Finding a Balance. E.U. Development Policy Sustainable Development and Natural Resources*. Eye, UK, WREN Media Eye.
- De Martonne E.** (1926). Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. *La Météorologie*, 449-458.
- Diallo O., Diouf A., Hanan N. P., Ndiaye A. & Prevost Y.** (1991). AVHRR Monitoring of Savanna Primary Production in Senegal, West Africa - 1987-1988. *International Journal of Remote Sensing*, **12**(6), 1259-1279.
- Dipace A. & Baldassarre G.** (2005). Aree sensibili alla desertificazione nel Tavoliere di Puglia. *Giornale di Geologia Applicata*, **2**(2005), 203-209.
- Domros M. & Gongbing P.** (1988). *The climate of China*. New York, Springer Verlag. 360 p.

- Donadieu P.** (1985). *Géologie et écologie des végétations pastorales méditerranéennes*. Versailles, France, Ecole Nationale Supérieure du Paysage. 324 p.
- Doughill A. & Cox J.** (1995). Land degradation and grazing in the Kalahari: new analysis and alternative perspectives. *Pastoral Development Network Paper 38c*. London, Overseas Development Institute, 16 p.
- Dregne H. E. & Chou Nan-Ting** (1992). Global desertification dimensions. In: Dregne HE., ed. *Degradation and restoration of arid lands*. Lubbock, USA, International Center for Arid and Semiarid Studies, Texas Tech University, p. 249-282.
- Driouchi A., Ait El Mekki A. & El Kasmi H.** (1995). Production et commercialisation des animaux et produits d'origine animale au Maroc : les productions bovines et ovines. In : Allaya M., éd. *Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000*. Montpellier, France, CIHEAM-IAMM, p. 193-218.
- Dubois J-L. & Blaizeau D.** (1990). *Connaître les conditions de vie des ménages dans les pays en développement. Tome 1 : concevoir l'enquête*. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement.
- Dutilly-Diane C.** (2006). Gestion collective des parcours en zone agro-pastorale: le cas de Ait Ammar (Maroc). *Afrique contemporaine*, **219**(3), 103-117.
- Eastman R.J.** (2001). *IDIRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing*. Worcester, USA, Clark University. 144 p.
- Eidenshink J. C. & Hass R. H.** (1992). Analyzing vegetation dynamics of land systems with satellite data. *GeoCarto International*, **7**(1), 53-61.
- Eklundh L.** (1998). Estimating relations between AVHRR NDVI and rainfall in East Africa at 10-day and monthly time scales. *International Journal of Remote Sensing*, **19**(3), 563-568.
- Eklundh L. & Olsson L.** (2003). Vegetation index trends for the African Sahel 1982-1999. *Geophysical Research Letters*, **30**(8), 13/1-13/4.
- El Fadili M.** (2009). Amélioration de la production ovine par le croisement. In : Boulanouar B. & Paquay R. *L'élevage du mouton et les systèmes de production au Maroc*. Paris, INRA, p. 239-255.
- El Garmai A.** (1989). *Les contraintes au système d'élevage ovin dans la commune rurale de Aïn Beni Methar (Oriental)*. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle : IAV Hassan II (Maroc).
- El Ghazi Y.** (2003). *Caractérisation des élevages des petits ruminants dans la commune rurale de Ain SFA - Province d'Oujda*. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle : ENA Meknès (Maroc).
- El Harradji A.** (1997). Aménagement, érosion et désertification sur les Hauts-Plateaux du Maroc oriental. *Méditerranée*, **86**(1), 15-23.
- El Koudrim M., Maatougui A., Bechchari A., Acherkouk M., Mahyou H. & Rahmi M.** (2006). Etat, gestion et contraintes des parcours du Maroc Oriental. In : Boulanouar B. & Paquay R. *L'élevage du mouton et les systèmes de production au Maroc*. Paris, INRA, p. 103-116.
- El Mokaddem A., Lejars C., Benchekroun F. & Doukkali R.** (2014). Adaptation et conditions de formalisation des paiements pour services environnementaux pour la conservation des pâturages collectifs au Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, **2**(2), 50-58.
- El Yassenasni H.** (1999). *Caractérisation de la conduite des élevages des petits ruminants et détermination de l'importance de la supplémentation dans trois communes rurales de la province de Taourirt*. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle : ENA Meknès (Maroc).
- Emberger L.** (1955). Une classification biogéographique des climats. *Rec. Trav. Lab. Bot. Zool. Fac. Sc de Montpellier*, (7), 3-43.



- ERES** (1972). *Etude et cartographie des pâturages du Maroc oriental [par Loiseau P. & Sebillotte M.]*. 540 p. 12 cartes coul. 1/100 000. Rabat, MARA Rabat, ERES-SCET/Coop.
- FAO** (1984). *Provisional methodology for assessment and mapping of desertification*. Rome, FAO/UNEP, 84 p.
- Fazooni L., Fakhireh A. & Ektesasi, M. R.** (2012). Assessment of desertification using of modify MEDALUS model in Sistan plain (The east of IRAN). *Elixir Geosciences*, **47**(2012), 8950-8955.
- FIDA** (1996). *Projet de développement de l'élevage et des parcours de l'Oriental. Évaluation à mi-parcours. Vol.1. Rapport principal N° 648-MO*. Rome.
- FIDA** (2002). *Projet de développement des parcours et de l'élevage dans l'Oriental (PDPEO). Rapport d'évaluation intermédiaire. Rapport N° 1304-MA*. Rome, Bureau de l'évaluation et des études. 199 p.
- Floret C. & Pontanier R.** (1982). *L'aridité en Tunisie pré-saharienne*. Paris, Orstom. 552 p. (Travaux et Documents de l'Orstom n° 150).
- Franklin J., Duncan J. & Turner D. L.** (1993). Reflectance of vegetation and soil in Chihuahuan desert plant communities from ground radiometry using SPOT wavebands. *Remote Sensing of Environment*, **46**(3), 291-304.
- Friedel M. H., Laycock W. A. & Bastin G. N.** (2000). Assessing rangeland condition and trend. In: Mannelje L. & Jones R.M., eds. *Field and laboratory methods for grassland and animal production research*. Wallingford, UK, CAB International, p. 227-262.
- Fritsch J. M.** (1992). *Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants. Opération ECEREX en Guyane française*. Paris, ORSTOM éditions. 392 p.
- Gad A. & Lotfy I.** (2006). Use of remote sensing and GIS in mapping the environmental sensitivity areas for desertification of Egyptian territory. In: *Proceedings of the Second International Conference on Water Resources and Arid Environment, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia, 26–29 November 2006*, 23 p.
- Gad A. & Lotfy I.** (2006). Use of Remote Sensing and GIS in Mapping the Environmental Sensitivity Areas for Desertification of Egyptian territory. In: *The 2nd International Conference on Water Resources & Arid Environment*, 18 p.
- GIEC** (2001). *Bilan 2001 des changements climatiques : Rapport de synthèse. Résumés des groupes de travail. Résumés à l'intention des décideurs et résumés techniques*. Genève, Suisse.
- GIEC** (2007). *Changements climatiques 2007: rapport de synthèse. Quatrième rapport d'évaluation du GIEC*. Genève, Suisse.
- Giordano L., Giordano F., Grauso S., Iannetta M., Sciortino M., Rossi L. & Bonati G.** (2007). *Identification of areas sensitive to desertification in Sicily Region*. <ftp://ftp.fao.org/agl/emailconf/lada/lada4sciortinomaurizioattachment.doc> (consulté le 12 avril 2010).
- Glantz M. H. & Orlovsky N.** (1983). Desertification : a review of the concept. *Desertification Control Bulletin*, **9**(1), 15-22.
- Glenn E., Stafford Smith M. & Squires V.** (1998). On our failure to control desertification: implications for global change issues, and a research agenda for the future. *Environmental Science and Policy*, **1**(2), 71-78.
- Gonçalves M. C., Ramos T. B., Martins J. C. & Kosmas C.** (2010). Aplicação dos modelos PESERA e MEDALUS para avaliação dos riscos de erosão do solo e de desertificação da bacia hidrográfica do Vale do Gaio. *Revue de Ciências Agrárias*, **33**(1), 236-246.

- Gordon C., Cooper C., Senior C. A., Banks H. T., Gregory J. M., Johns T. C., Mitchell J. F. B. & Wood R. A.** (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*, (16), 147-168.
- Goward S. N., Tucker C. J. & Dye D. G.** (1985). North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 advanced very high resolution radiometer. *Vegetatio*, **64**(4), 3-14.
- Grainger A.** (1992). Characterization and assessment of desertification processes. In: Chapman G.P., ed. *Desertified Grasslands: their biology and management*. London, Academic Press, 17-33.
- Gutiérrez J. R. & Whitford W. G.** (1987). Chihuahuan desert annuals: importance of water and nitrogen. *Ecology*, **68**(6), 2032-2045.
- Gutman G. & Iganov A.** (1995) Global land monitoring from AVHRR: potential and limitations. *International Journal of Remote Sensing*, **16**(13), 2301-2309.
- HCEFLCD** (2012). *Le développement forestier au Maroc*. <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/text.aspx?id=994&uid=26> (consulté le 10 octobre 2013).
- HCP** (2006). *Prospective Maroc 2030. Gestion durable des ressources naturelles et de la biodiversité préparé par Laouina A.* Casablanca, Haut-Commissariat du Plan. 118 p.
- Helldén U.** (1991). Desertification-time for an assessment. *Ambio Forestry and Environment*, **20**(8), 372-383.
- Helldén U. & Eklund L.** (1988). *National drought impact monitoring-A NOAA NDVI and precipitation data study of Ethiopia*. Lund, Sweden, Lund University Press. 55 p.
- Hielkema J. U., Prince S. D. & Astle W. L.** (1987). Monitoring of global vegetation dynamics for assessment of primary productivity using NOAA advanced very high resolution radiometer. *Advances in Space Research*, **7**(11), 81-88.
- Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L., Jones P. G. & Jarvis A.** (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, **25**(15), 1965-1978.
- Hirsch, R.M., Slack, J.R. & Smith, R.A.** (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality analysis. *Water Resource Research*, **18**(1), 107-121.
- Huete A. R. & Jackson R. D.** (1987). Suitability of spectral indices for evaluating vegetation characteristics on arid rangelands. *Remote Sensing of Environment*, **23**(2), 213-232.
- Huete A. R., Jackson R. D. & Post D. F.** (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, **17**(1), 37-53.
- Ibnelbachyr M., Boulanouar B. & Fagouri S.** (2009). Références technico-économiques dans les élevages ovins au Maroc selon la race exploitée et le type d'élevage : résultats préliminaires. In : Pacheco F. & Morand-Fehr P., eds. *Changes in sheep and goat farming systems at the beginning of the 21st century: research, tools, methods and initiatives in favour of a sustainable development*. Zaragoza, CIHEAM / DRAP-Norte / FAO. p. 49-53. (Série A. Séminaires Méditerranéens n° 91).
- INRA** (1988). *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Paris, INRA. 471 p.
- Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A. & Guevara E.** (2008). *Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database*.
- Jaubert R.** (1997). La relance du plan d'action de lutte contre la désertification : les populations au centre des négociations. In : Becker C. & Tersiguel Ph., eds. *Développement durable au Sahel*. Paris, Karthala, p. 31-42.
- Jensen J.R.** (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 2nd Edition. Upper Saddle River, USA, Prentice Hall.

- Jensen J.R.** (2000). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Second Edition. Upper Saddle River, USA, Prentice Hall.
- Jürgens N., Gotzmann I.H. & Cowling R.M.** (1999). Remarkable medium-term dynamics of leaf succulent Mesembryanthemaceae shrubs in the winter-rainfall desert of northwestern Namaqualand, South Africa. *Plant Ecology*, **142**(1), 87-96.
- Justice C. O., Townshend. J. R. G., Holben B. N. & Tucker C. J.** (1985). Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, **6**(8), 1271-1318.
- Kates R. W., Johnson D. L. & Johnson Haring K.** (1977). Population, society and desertification, United Nations Environmental Programme. *World Desertification Conference*. Document A/Conf74/8.
- Kaufmann R. K., Zhou L., Knyazikhin Y., Shabanov N., Myneni R. & Tucker C.** (2000). Effect of orbital drift and sensor changes on the time series of AVHRR vegetation index data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **38**(6), 2584-2597.
- Kaytal J.C. & Vlek P.L.G.** (2000). *Désertification: concept, causes and amelioration*. ZEF – Discussion papers on development policy n° 33. Bonn, Germany, ZEF. 65 p.
- Kendall M. G.** (1975). *Rank correlation methods*. 2 ed. London, Griffin.
- Khare A. & White A.** (2003). *Current status and future potential of markets for ecosystem services of tropical forests: an overview*. Yokohama, Japan, IITO report.
- Kirkby M. & Kosmas C.** (1999). Introduction. In: Kosmas C., Kirkby M. & Geeson N., eds. *The MEDALUS project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. Project report. European Commission*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, p. 1-8.
- Kirkby M., Jone R., Irvine B., Gobin A., Govers G., Cerdan O., Van Rompaey A., Le Bissonnais Y., Daroussin J., King D., Montanarella D., Grimm M., Vieillefont V., Puigdefabregas J., Boer M., Kosmas C., Yassoglou N., Tsara M., Mantel S., Van Lynden G. & Huting J.** (2003). *Pan European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map. Special publication Ispra n° 73*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. 30 p.
- Koslowsky D.** (1998). Daily extended 1-km AVHRR data sets of the Mediterranean. In: *Proceedings 9th Conference on Satellite, Meteorology and Oceanography, Paris, France, 25-29 May, 1998*.
- Koslowsky D., Billing H. & Friedrich K.** (2005). MEDOKADS: A long-term data set for detection and monitoring of desertification risks in the Mediterranean. In: Roeder A. & Hill J. *Remote Sensing and Geo-information in the assessment and monitoring of land degradation and desertification*. Trier, Germany, RGLDD, p. 191-198.
- Kosmas C., Ferrara A., Briasouli H. & Imeson A.** (1999). Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification. In: *The Medalus project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, p. 31-47.
- Kosmas C., Gerontidis St., Marathianou M., Detsis V. & Zafiriou Th.** (2001). The effect of tillage erosion on soil properties and cereal biomass production. *Soil & Tillage Research Journal*, (58), 31-44.
- Kundzewicz Z. W. & Robson A.J.** (2004). Change detection in river flow records – a review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal*, **49**(1), 7-19.

- Lambin E. F., Geist H., Reynolds JF. & Stafford-Smith DM.** (2009). Coupled human-environment system approaches to desertification: Linking people to pixels. In: Roder A. & Hill J. *Recent advances in remote sensing and geoinformation processing for land degradation assessment*. London, CRC Press, p. 3-14.
- Lambin E. F., Turner B. L., Geist H., Agbola S., Angelsen A., et al.** (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, **11**(4), 261-69.
- Lambin E. F., Geist H. & Lepers E.** (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, (28), 205-241.
- Lampietti J. A. & Dixon J. A.** (1995). To see the forest for the trees: a guide to non-timber forest benefits. Environment Department Papers n°013. Washington D.C., ESD World Bank.
- Lamprey H.** (1975). *Report on the desert encroachment reconnaissance in northern Sudan, Khartoum*. National Council for Research, Ministry of Agriculture, Food and Natural Ressources. 16 p.
- Landis J. T. & Koch G. G.** (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, **33**(1), 159-174.
- Laouina A.** (1990). *Le Maroc Nord-oriental*. Oujda, Presses universitaires d'Oujda. 603 p.
- Lavaudin L.** (1927). Les forêts du Sahara. *Revue des Eaux et Forêts*. **LXV**(6), 265-277 & **LXV**(7), 329-341.
- Le Houérou H. N.** (1968). La désertisation du Sahara septentrional et des steppes limitrophes. *Annales algériennes de Géographie*, (6), 2-27.
- Lescuyer G.** (2000). *Evaluation économique et gestion viable de la forêt tropicale. Réflexion sur un mode de coordination des usages d'une forêt de l'Est Cameroun*. Thèse de doctorat : Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (France).
- Lillisand M.T. & Kiefer W.R.** (1994). *Remote sensing and image interpretation*. Third edition. New York, John Wiley & Sons, Inc. 750 p.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E. & Moran E.** (2003). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, **25**(12), 2365-2401.
- Lynam T.J.P. & Stafford Smith M.** (2003). Monitoring in a complex world - seeking slow variables, a scaled focus and speedier learning. In: Allsopp N., et al. *Proceedings of the VIIth International Rangelands Congress, Durban, South Africa, 26<sup>th</sup> July-1<sup>st</sup> August, 2003*.
- Lyon J.G., Yuan D., Lunetta R.S. & Elvidge C.D.** (1998). A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **64**(2), 143-150.
- Mabutt J. A. & Floret C.** (1983). *Etudes de cas sur la désertification*. Paris, PNUE, PNUD & UNESCO.
- MADREF** (2001). *Programme d'Action National de Lutte contre la Désertification. Document Principal*. <http://www.unccd.int/ActionProgrammes/morocco-fre2002.pdf> (consulté le 22 mai 2010).
- MADREF** (2002). Elevage au Maroc : état des lieux et principales réalisations (1ère partie). *Revue Terre et Vie*, (59/60-Août/Septembre 2002). 5 p.
- MADRPM** (2006). *Agriculture & Agrobusiness Intégrés : promotion des viandes ovines à l'Oriental*. Rapport préparé à l'intention de USAID/Maroc, 46 p.
- Mahyou H., Tychon B., Balaghi R., Mimouni J. & Paul R.** (2010). Désertification des parcours arides au Maroc. *Tropicultura*, **28**(2), 107-114.
- Mainguet M.** (1990). La désertification: une crise autant socio-économique que climatique. *Sécheresse*, **1**(3), 187-195.

- Mainguet M.** (1991). *Desertification: natural background and human mismanagement*. Berlin, Springer-Verlag. 306 p.
- Mainguet M.** (1995). *L'homme et la sécheresse*. Paris, Editions Masson. 336 p.
- Mann H. B.** (1945). Non Parametric Test Against Trend. *Econometrika*, **13**(3), 245-259.
- MAPM** (2011). *Situation de l'agriculture marocaine. Dossier n° 9, novembre 2011*. Rabat, Conseil Général du Développement agricole, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. 199 p.
- Maselli F. & Rembold F.** (2001). Analysis of GAC NDVI data for cropland identification and yield forecasting in Mediterranean African countries. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **67**(5), 593-602.
- McKee T. B., Doesken N. J. & Kleist J.** (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17-22 January 1993*. Boston, American Meteorological Society, p. 179-184.
- MEA** (2005). *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Washington, Island Press.
- Mendras H.** (1989). *Éléments de sociologie*. Paris, Armand Colin. 248 p.
- Mhirit O., et al.** (1999). *Le grand livre de la forêt marocaine*. Sprimont, Belgique, Editions Mardaga.
- Mitchell T. D. & Jones P. D.** (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*, **25**(6), 693-712.
- Moran P.A.P.** (1953). The statistical analysis of the Canadian lynx cycle. II. Synchronization and meteorology. *Australian Journal of Zoology*, **1**(2), 291-298.
- Mougin E., Jarlan L., Lelong C., Marty G. & Hiernaux P.** (2000). *VALERI-2000 Campaign in Gourma (Mali), Rapport de mission*. Toulouse, France, CESBIO. 17 p.
- Moulin S., Bondeau A. & Delecalle R.** (1998). Combining agricultural crop models and satellite observations: from field to regional scales. *International Journal of Remote Sensing*, **19**(6), 1021-1036.
- Nelson R.** (1990). *Dryland Management: "The desertification Problem"*. World Bank Technical Paper number 116. Washington DC., The World Bank, 39 p.
- Nicholson S.** (2005). On the question of the "recovery" of the rains in the West African Sahel. *Journal of Arid Environments*, **63**(3), 615-641.
- Nicholson S. E., Davenport M. L. & Malo A. R.** (1990). A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using normalized difference vegetative index from NOAA AVHRR. *Climatic Change*, **17**(2), 209-241.
- Nicholson S. E., Tucker C. J. & Ba M. B.** (1998). Desertification, drought, and surface vegetation: an example from the West African Sahel. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**(5), 815-829.
- Nordberg M. & Evertson J.** (2003). Monitoring change in mountainous dry-heath vegetation at a regional scale using multitemporal Landsat TM data. *Ambio*, **32**(8), 502-509.
- Nunes P. A. L. D. & Van Den Bergh J. C. J. M.** (2001). Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense ? *Ecological Economics*, **39**(2), 203-222.
- Okin G. S. & Roberts D. A.** (2004). Remote sensing in arid regions: challenges and Opportunities. In Ustin, S.L., ed. *The Manual of Remote Sensing, 3rd Edition, Volume 4*. Hoboken, USA, John Wiley & Sons, Ltd. 768 p.



- Oldeman L. R.** (1988). *Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD). Guidelines for General Assessment of Status of Human-Induced Soil Degradation*. Wageningen, The Netherlands, International Soil Reference and Information Center.
- Olsson L.** (1985). *An integrated study of desertification: Applications of remote sensing, GIS and spatial models in semiarid Sudan*. Lund, Sweden, University of Lund. 170 p.
- ONU** (2002). *Rapport du Sommet mondial pour le développement durable, Johannesburg, Afrique du Sud, 26 août-4 septembre 2002*. New-York, Nations unies. 198 p.
- Ostrom E.** (1990). *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Pagiola S., Landell-Mills N. & Bishop J.** (2002). *Selling Forest Environmental Services*. London, Earthscan.
- PDAIRE** (2001). *Plan Directeur d'Aménagement Intégré des ressources en Eaux du bassin hydraulique de la Moulouya. Rapport final*. Oudja, Agence du bassin hydraulique de la Moulouya.
- Pearce F.** (1994). Encroaching deserts are a myth. *The European*, July 2, 1994, p. 6.
- Peters A. J. & Eve M. D.** (1995). Satellite monitoring of desert plant community response to moisture availability. *Environmental Monitoring and Assessment*, **37**(1), 273-287.
- Pettitt A. N.** (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, **28**(2), 126-135.
- Pinzon J.** (2002). Using HHT to successfully uncouple seasonal and inter-annual components in remotely sensed data. In: *SCI 2002 Conference Proceedings, 14-18 July 2002, Orlando, USA*.
- Pinzon J., Brown M. E. & Tucker C. J.** (2004). Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition. In: Huang NE. & Shen SSP., eds. *EMD and its Applications*. Singapore, World Scientific, p. 285-295.
- Poesen J.** (1995). Soil erosion in Mediterranean environments. In: Fantechi R., Peter D., Balabanis P. & Rubio J.L., eds. *Desertification in an European context: physical and socio-economic aspects. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course, Alicante, Spain, 6-13 October 1993*. Luxembourg, European Commission, p. 125-152.
- Pope V., Gallani M. L., Rowntree P. R. & Stratton R. A.** (2000). The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3. *Climate Dynamics*, **16**(1-2), 123-146.
- Prince S. D., Brown de Colstoun E. & Kravitz L. L.** (1998). Increased rain-use efficiencies indicate no extensive Sahelian desertification. *Global Change Biology*, (4), 359-374.
- Puigdefábregas J.** (1998). Ecological impacts of global change on drylands and their implications for desertification. *Land degradation & development*, **9**(5), 393-406.
- Qi J., Chehbouni A., Huete A., Kerr Y. H. & Sorooshian S.** (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, (48), 119-126.
- Rasmussen M.S.** (1998). Developing simple, operational, consistent NDVI-vegetation models by applying environmental and climatic information: Part I. Assessment of net primary production. *International Journal of Remote Sensing*, (19), 97-117.
- Reynolds J. F. & Stafford Smith D.M.** (2002). *Global desertification, do humans cause deserts?* Berlin, Dahlem University Press. 437 p.
- RGA** (1996). *Recensement Général de l'Agriculture au Maroc. Données détaillées par commune. Base de données*. Rabat, Direction de la Planification et des Affaires économiques, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

- RGPH** (2004). *Recensement Général de la Population et de l'habitat. Données détaillées par commune*. [CD-Rom]. Casablanca, Haut-Commissariat au Plan.
- Richards M.** (2000). Can sustainable tropical forestry be made profitable? The potential and limitations of innovative incentive mechanisms. *World Development*, **28**(6), 1001-1016.
- Ricotta C., Avena G. & De Palma A.** (1999). Mapping and monitoring net primary productivity with AVHRR NDVI time series: statistical equivalence of cumulative vegetation indices. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **54**(5-6), 325-331.
- Roberts D.A., Adams J.B. & Smith M.O.** (1990). Predicted distribution of visible and near-infrared radiant flux above and below a transmittant leaf. *Remote Sensing of Environment*, **34**(4), 1-17.
- Roose E.** (1994). *Introduction à la GCES. Bulletin Pédologique FAO n° 70*. Rome, FAO. 420 p.
- Rosset P.** (1999). *The multiple functions and benefits of small farm agriculture in the context of global trade negotiations*. Institute for Food and Development Policy, USA and the Transnational Institute, The Netherlands.
- Rouse J.W.J., Haas R.H., Schell J.A. & Deering D.W.** (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Third ERTS Symposium, NASA SP-351*. Washington DC, p. 309-317.
- Rousset N. & Arrus R.** (2004). Economie de l'adaptation au changement climatique et agriculture dans le bassin méditerranéen. *Environnement et identité en Méditerranée, IVe Congrès international, Università di Corsica Pasquale Paoli, Corse, Juillet 2004*. 8 p.
- Rozanov B. G.** (1982). Assessing, monitoring and combating desertification. In: *Desertification and Soils Policy. Transactions of the 12th International Congress of Soil Science*. New Delhi, India, p. 56-68.
- Runnström M.C.** (2000). Is Northern China winning the battle against desertification? *Ambio, a Journal of the Human Environment*, **29**(8), 468-476.
- Saaty T.L.** (1980). *The analytic hierarchy process*. New-York, McGraw-Hill.
- Sauvage CH.** (1963). Le coefficient pluvio-thermique d'Emberger, son utilisation et la représentation géographique de ses variations au Maroc. *Ann. Ser. Phys. Globe Météo. Inst. SC. Ch.*, (20), 11.
- Schmidt H. & Karnieli A.** (2000). Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. *Journal of Arid Environments*, **45**(1), 43-59.
- Sehgal J. L. & Abrol I. P.** (1994). *Soil degradation in India: status and impact*. New Delhi, India, Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.
- Sen, P. K.** (1968). Estimate of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, **63**(324), 1379-1389.
- Shiva V.** (1991). *Violence of the Green Revolution. Thrid World Network*. London, Zed Books. 264 p.
- Silleos N., Cherif I., Kolejka J., Karydas C., Katsogiannos F. & Silleos G.** (2008). Desertification assessment in the Lesvos island in Greece and methodology for mitigation action planning. In: *Proceeding of International Advanced Workshop on Information and Communication Technologies for Sustainable Agri-production and Environment. Alexandroupolis*. Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki, p. 241-254.
- Singh A.** (1988). Review Article: digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, **10**(6), 989-1003.
- Smith M.O., Ustin S. L., Adams J. B. & Gillespie A.R.** (1990). Vegetation in deserts: a regional measure of abundance from multispectral images. *Remote Sensing of Environment*, **31**(1), 1-26.

- Smith O. B. & Koala S.** (1999). La désertification : mythes et réalités. In : *AG Annuelle Association canadienne des rédacteurs scientifiques, 27-29 mai 1999*. 8 p.
- Sraïri M. T.** (2011). Développement de l'élevage au Maroc : succès relatifs et dépendance alimentaire. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, **60**(60), 91-101.
- Stocking M.A. & Murnaghan N.** (2001). *Handbook for the field assessment of land degradation*. London, Earthscan Publication Ltd.
- Story M. & Congalton R.G.** (1986). Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **52**(3), 397-399.
- Tappan G.G., Tyler D.J. & Wehde M.E.** (1992). Monitoring Rangeland Dynamics in Senegal with Advanced Very High Resolution Radiometer Data. *Geocarta International*, **7**(1), 87-98.
- Tavares De Pina J., Baptista I., Ferreira António J.D., Amiotte-Suchet P., Coelho C., Gomes S., Amoros R., Dos Reis E. A., Mendes A. F., Costa L., Bentub J. & Varela L.** (2015). Assessment and mapping the sensitive areas to desertification in an insular Sahelian mountain region. Case study of the Ribeira Seca Watershed, Santiago Island, Cabo Verde. *Catena*, (128), 214-223.
- Tbib A. & Chaieb M.** (2004). La mise en défense des parcours en zones arides : avantages écologiques et obstacles socio-économiques. In : Ferchichi A. *Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens*. Zaragoza : CIHEAM, p. 473-476. (Cahiers Options Méditerranéennes n° 62).
- Thomas D. S. G.** (1993). Sandstorm in a tea cup ? Understanding desertification. *The Geographical Journal*, **159**(3), 318-331.
- Thomas D. S. G. & Middleton N. J.** (1994). *Desertification : exploring the myth*. Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd.
- Tucker C. J.** (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, **8**(2), 127-150.
- Tucker C. J., Justice C. O. & Prince S. D.** (1986). Monitoring the grasslands of the Sahel 1984–1985. *International Journal of Remote Sensing*, **7**(11), 1571-1581.
- Tucker C. J., Vanpraet C. L., Sharman M. J. & Van Ittersum G.** (1985). Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980-1984. *Remote Sensing of Environment*, **17**(3), 233-249.
- Tucker C.J. & Choudhury B.J.** (1987). Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote Sensing of Environment*, **23**(2), 243-251.
- Tucker C.J., Newcomb W.W. & Dregne H.E.** (1994). Improved data sets for determination of desert spatial extent. *International Journal of Remote Sensing*, (15), 3519-3545.
- Tucker C.J., Pinzon J.E., Brown M.E., Slayback D., Pak E.W., Mahoney R., Vermote E. & El Saleous N.** (2005). An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data . *International Journal of Remote Sensing*, (26), 4485-4498.
- Tuker C. J., Dregne H. E. & Newcomb W. W.** (1991). Expansion and contraction of Sahara Desert from 1980 to 1990. *Science*, **253**(5017), 299-301.
- Turner W., Spector S., Gardiner N., Fladeland M., Sterling E. & Steininger M.** (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, **18**(6), 306-314.
- UNCCD** (2006). *United Nations Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa*. Bonn, Germany, UNCCD Secretariat.

- UNCED** (1992). *Earth Summit '92. The UN Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, Brazil.*
- UNCOD** (1977). *Desertification: its causes and consequences.* Oxford, UK, Pergamon Press.
- UNEP** (1992). *World Atlas of Desertification.* Sevenoaks, UK, Edward Arnold.
- UNEP** (1997). *World Atlas of Desertification.* 2nd edition. London, Editions N. Middleton & D. Thomas Arnold. 182 p.
- Vacca A., Loddo S., Serra G. & Aru A.** (2009). Soil Degradation in Sardinia (Italy): main factors and processes. *Options Méditerranéennes, Série A n° 50.*
- Valentine John F.** (2001). *Grazing Management (2ème édition).* San Francisco, USA, Academic Press. 659 p.
- Verón S. R., Paruelo J. M. & Oesterheld M.** (2006). Assessing desertification. *Journal of Arid Environments*, **66**(4), 751-763.
- Vieira R. M. S. P., Tomasella J., Alvalá R. C. S., Sestini M. F., Affonso A. G., Rodriguez D. A., Barbosa A. A., Cunha A. P. M. A., Valles G. F., Crepani E., De Oliveira S. B. P., De Souza M. S. B., Calil P. M., Carvalho M. A., Valeriano D. M., Campello F. C. B. & Santana M. O.** (2015). Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*, (6), 347-360.
- Warren A. & Agnew C.** (1988). *An assessment of desertification and land degradation in arid and semi-arid areas. International Institute for Environment and Development, Drylands Program. Paper n° 2.* London, Ecology and Conservation Unit, University College.
- Warren A. & Khogali M.** (1992). *Evaluation de la désertification et de la sécheresse dans la région soudano-sahélienne (1985-1991).* BNUS / PNUD, New York, 102 p.
- Warren S.D., Nevill M.B., Blackbum W.H. & Guza N.E.** (1986). Soil response to trampling under intensive rotation grazing. *Soil Science Society of America Journal*, **50**(5), 1136-1341.
- West N.E.** (1993). Biodiversity of rangelands. *Journal of Range Management*, (46), 2-13.
- Willatt S. T. & Pullar D.M.** (1983). Changes in soil physical properties under grazed pastures. *Australian Journal of Soil Research*, **22**(3), 343-348.
- Yang X., Zhang K., Jia B. & Ci L.** (2005) Desertification assessment in China, an overview. *Journal of Arid Environments*, **63**(2), 517-531.
- Zomer R. J., Bossio D. A., Trabucco A., Yuanjie L., Gupta D.C. & Singh V.P.** (2007). *Trees and Water: Smallholder Agroforestry on Irrigated Lands in Northern India.* IWMI Research Report 122. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 45 p.
- Zomer R. J., Trabucco A., Bossio D. A., Van Straaten O. & Verchot L.V.** (2008). Climate Change Mitigation: A Spatial Analysis of Global Land Suitability for Clean Development Mechanism Afforestation and Reforestation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **126**(1-2), 67-80.

Annexe 1 : Légende de la cartes géologique feuille Oujda précisant les indices relatifs aux matériaux parentaux attribués à chaque unité géologique.

Feuille d'Oujda 1/500 000

a- Terrains sédimentaires :

<b>A</b>	<b>A 2</b>	A : Formations modernes (alluvions, éboulis, dayas, sebkhas) et quaternaire récent (Terrasses limoneuses, limons rouges récents).		
<b>D</b>	<b>D 2</b>	D : Dunes vives actuelles		
<b>q</b>	<b>qC 1.5</b>	qC : Quaternaire moyen et ancien (regs, surfaces encroûtées)		
	<b>qA 2</b>	qA : Terrasses		
	<b>qMD 1.5</b>	qMD : Formations marines et dunaires consolidées		
	<b>qC1 1.5</b>	qC1 : Calcaire lacustre		
	<b>qT 1.5</b>	qT : Travertins		
	<b>VC 2</b>	VC : Terrasses anciennes		
<b>pV</b>	<b>pVc 1.5</b>	pVc : Villafranchien (et pliocène continental) : conglomérats, cailloutis, c. rouges		
	<b>pVC1 1.5</b>	pVC1 : Calcaire lacustre		
	<b>pq 1.5</b>	Pq : Calabrien (Moghrebien)		
	<b>p 1.5</b>	P : Pliocène marin		
<b>m</b>	<b>mpC 1.5</b>	mpC : Moi-pliocène continental (Pontico?-Pliocène)		
	<b>ms 2</b>	ms : Faciès saharien sableux		
	<b>msL 2</b>	msL : Faciès regressif lagunaire		
	<b>mm 2</b>	mm : Faciès des marnes bleues	Tortorien	Vindoborien
	<b>mma 2</b>	mma : Faciès transgressif		
	<b>mi 2</b>	mi : Faciès marneux	Helvétien, burdigalien	Carternien
	<b>mia 2</b>	mia : Faciès transgressif		
		<b>mF 2</b>	mF : Flysch miocène	
<b>e-oF</b>	<b>oC 1.5</b>	oC : Oligocène (ou Oligo-Miocène) continental		
	<b>oC1 1.5</b>	oC1 : Calcaire lacustre	Flysch nummulitique à dominance oligocène	
	<b>o 1.5</b>	o : Oligocène marin		
	<b>oG 1.5</b>	oG : Faciès gréseux		
<b>nF</b>	<b>es 2</b>	es : Eocène supérieur (séries détritiques voire gypsifères)		
	<b>em 1.5</b>	em : Eocène moyen, Marnes blanches à silex (ei-m)		
	<b>ei 1.5</b>	ei : Eocène inférieur		
	<b>eiPh 1.5</b>	eiPh : Faciès phosphaté		
	<b>cnF 2</b>	cnF : Flysch marneux		
	<b>cnmF 2</b>	Flysch indifférencié crétacé, nummulitique et miocène		
<b>cF</b>	<b>cs 1.5</b>	cs : Crétacé supérieur	crétacé	
	<b>csC 1.5</b>	csC : Faciès continental	Supérieur	
	<b>csF 1.5</b>	csF : Flysch		
	<b>csG 1.5</b>	csG : Faciès gréseux		
	<b>cT 1.5</b>	cT : Turonien	crétacé	
	<b>cM 1.5</b>	cM : Cénomananien	moyen marin	
	<b>ci 1.5</b>	ci : Crétacé inférieur marin	crétacé	
	<b>ciC 1.5</b>	ciC : Faciès continental	inférieur	
	<b>jcF 1.5</b>	jcF : Jurassique et crétacé non séparés : Flysch		
	<b>jC 2</b>	jC : Jurassique continental		
<b>js</b>	<b>js3 1</b>	js3 : Kimmerdgien		
	<b>js2 1</b>	js2 : Lusitanien		
	<b>js1 1</b>	js1 : Callovien et oxfordien		
	<b>jF 2</b>	jF : Flysch		
<b>cf</b>	<b>jn-s 1.5</b>	Jn-s : Jurassique non subdivisé		



jm	jm2 1.5	jm2 : Bathonien	Bathonien	Jurassique moyen
	jmC 1	jmC : Faciès continental		
	jmD1 1.5	jmD1 : Faciès dolomitique	Bajocien	
	jm1 1.5	jm1 : Bajocien		
	ji3 1.5	ji3 : Lias supérieur (Toarcien-Aélien) : calcaire lité et chaille calc.	Marneux	
	ji3C 2	ji3C : Faciès continental : marnes pélites rouges		
ji	ji2 1	ji2 : Lias moyen (Domérien) : calcaire récifal		
	ji1 1	ji1 : Lias inf. (Sinémurien, Lotharingien, Pleinsbachien)	calcaire et dalles récifale	
	ij-ji 1	ij-ji : Infra-lias (Rhétien) et lias des Bokoya		
tm	tm 1	tm : Trias marin (Muschelkalk et keuper des Bokoya)		
	t 1.5	t : Trais généralement intrusif gypseux et salifère		
	rt 2	rt : Permo-trias continental		
	hr-r 2	hr-r : Permien, stephano-permien (Grés et conglomérats rouge)		
h	hS 1.5	hS : Stéphanien		Shistes d'âge incertain (Mekam, debdou, Tazzeka..)
	hW 2	hW : Westphalien		
	hN 1.5	hN : Namurien		
	hV 2	hV : Viséen		
	d 1	d : Dévonien non subdivisé (rides calcaires et grés-silteux)		
	ss 2	ss : Gothlandien (argiles)		
	si 2	si : schistes		Ordovicien
	q 1	q : quartzites		
	ko 2	ko : schistes		Cambro-Ordovicien
	q 1	q : quartzites		
	kig 1.5	kig : Géorgien terminal (grès et schistes à trilobites)		
	ki 1	ki : Géorgien (Calcaire à collenia)		
	xp 1.5	xp : Primaire indéterminé ou Précambien		
	q 1	q : quartzites		
	X2 1.5	X2 : Séricitoschistes		Précambrien II
	X2q 1	q : quartzites		
	1	Métamorphisme général faible (phyllades)		
	ξ 1	Micaschistes		
	1	Métamorphisme de contact		
	σ 1	Serpentine du Rif oriental		

**b- Roches éruptives et métamorphiques :**

Quaternaire :	$\beta$	$\beta$ Basaltes ankaralites
	$\beta C$	$\beta C$ Cendres
	$\varphi$	$\varphi$ : Phonolites
Pliocène	$\beta P$	$\beta P$ : Basaltes
Miocène	$\varphi$	$\varphi$ : Rhyolites
	$\zeta\alpha M$	$\zeta\alpha M$ : Trachytes andésites
	$\alpha C$	$\alpha C$ : Brèches et cinérites
Post Jurassique	$\lambda S$	$\lambda S$ : Aïounites
	$\delta 2 S$	$\delta 2 S$ : Dolérites et gabbros.
Permo-Trias Stéphano-Permien	$\beta RT$	$\beta RT$ : Basaltes
	$\zeta R$	$\zeta R$ : Andésites et Trachy-andésites
Hercynien	$\gamma 1 H$	$\gamma 1 H$ : Granites
	$\gamma 2 a H$	$\gamma 2 a H$ : Granites à mica blanc
	$\gamma 2 H$	$\gamma 2 H$ : Microgranites
	$\delta 2 H$	$\delta 2 H$ : Dolérites
Viséen	$\varphi H$	$\varphi H$ : Dacites, dellenites, sakalavites
	$\Delta x H$	$\Delta x H$ : $\Delta$ Granodiorites, x monxonites, syénites
Précambrien III	$\varphi X 3$	$\varphi X 3$ : Rhyolites

**Annexe 2 : Description détaillée des sols du bassin versant de la Moulouya extraite de la carte des sols de l'ensemble du Maroc au 1/1.500.000 élaborée par Cavallar en 1950 (Cavallar, 1950)**

Code	Surface	Texture	Intitulé	Type
14	1 298 697,26	1	Sols chatains et chatains clairs des espaces dénudés des hauts plateaux développés généralement sur roches mésozoïques (Cétacé et Jurassique)	Sols des plaines et plateaux
25	38 453,20	1	Podzols forestiers de montagne et sols fères-carbonatés de type chernozem, des terres rouges sur produits d'altération des roches calcaires, schisteuses et gréseuses et sols squelettiques de montagne	Sols montagnes : Sols du Rif et du Pré Rif
26	24 183,50	1	Podzols forestiers comportant des sols bruns, des sols humifères-carbonatés, des sols podzolisés et des terres rouges en association avec des chernozems	Sols montagnes : Sols du Rif et du Pré Rif
27	158 351,49	1	Sols podzoliques et sols rouges podzolisés, sols bruns des forêts de montagne érodés, légèrement lessivés ou calcaire dès la surface et sols de type chernozem. Sols développés souvent sur altération des roches paléozoïques et eruptives	Sols montagnes : Sols de l'Atlas et de la Mezeta
28	105 829,57	1	Sols podzolisés de montagnes et association avec des sols rouges, des sols bruns et des sols humifères-carbonatés ainsi des sols chernozem des sols érodés faiblement lessivés ou calcaires dès la surface	Sols montagnes : Sols de l'Atlas et de la Mezeta
31	18 275,13	1	Sols de montagnes forestiers podzolisés : sols rouges et sols du type latéritique de formation contemporaine ou ancienne sur les versants sud de hautes montagnes et des vallées étroites et profondes. Sols rouges et sols bruns légèrement lessivés ou carbonatés	Sols montagnes : Sols de l'Atlas et de la Mezeta
32	147 585,87	1	Sols forestiers de montagnes bruns et rouges, sols châtains, en général érodés, squelettiques, entrecoupés de surfaces rocheuses du paléozoïque ou d'origine eruptive	Sols montagnes : Sols de l'Atlas et de la Mezeta
33	435 783,51	1	Sols forestiers de montagnes : sols rouges, sols bruns et sols carbonatés - érodés, squelettiques, entrecoupés de grandes surfaces rocheuses de calcaire mésozoïque et couverts de forêts sèches	Sols montagnes : Sols de l'Atlas et de la Mezeta
35	129 745,75	1	Sols podzoliques, sols rouges et bruns podzolisés, sols rouges, sols bruns et sols humifères-carbonatés de forêts en association avec des sols érodés et des espaces dénudés désertiques avec sols dans les fissures de roches calcaires mésozoïques	Sols montagnes : Sols de l'Atlas et de la Mezeta
36	222 514,46	1	Sols forestiers de montagne, podzoliques (Q. ilex). Sols podzolisés à podzolisation non apparente : sols rouges sur terra rossa (débris d'érosion calcaires du mésozoïque) et jaunes sur débris de roches eruptives. Les deux variétés de sols sont pierreuse*	Sols montagnes : Sols de l'Atlas et de la Mezeta
38	74 560,55	1	Sols de haute montagne : Podzols (rares), sols podzolisés et sols régénérés sur terra rossa et sur roches calcaires mésozoïques en association avec des espaces dénudés, rocailleux et désertiques	Sols montagnes : Sols de l'Atlas et de la Mezeta
15	1 172 372,72	2	Sols chatains rouge et chatains clairs à horizon encroûté ou à concrétions de bieloglazka et lielovatitza sur dépôts d'aspect leossique, souvent durcis par cimentation	Sols des plaines et plateaux
40	14 106,79	2	Sols de haute montagne de prairies humifères, souvent acides parmi des espaces dénudés, rocheux et pierreux de désert montagneux avec végétation de genêts et autres xérophytes épineux sur roches calcaires mésozoïques	Sols montagnes : Sols de l'Atlas et de la Mezeta
8	40 239,06	3	Sols rouges dégradés	Sols des plaines et plateaux
13	1 421 680,42	4	Sols chatains clairs à croûte des hauts plateaux développés généralement sur roches sédimentaires du tertiaire Supérieur	Sols des plaines et plateaux

**ANNEXE 3 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE LA TENDANCE ET DES RUPTURES DANS LES SERIES DE TEMPERATURES  
ET DE PLUIES (TEST DE MANN-KENDALL ET DE PETTITT)**

**Résultats de l'analyse de la tendance des précipitations moyennes (Test Mann Kendall)**

Paramètres	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
Minimum	0.6	0.58	7.09	1.02	2.41	0.25	0	0	0.57	0.39	0.46	1.36	207
Maximum	121.5	152.7	138.2	154.6	135.4	60.88	24.55	48.1	69.55	109.9	114.2	137.4	733.1
Moyenne	43.76	51.47	55.47	50.42	35.21	16.46	4.264	6.875	19.05	37.31	45.36	47.68	413.3
Médiane	40.42	44.24	54.73	47.04	30.91	13.88	2.25	4.91	16.37	33.27	42.19	41.87	394.5
Ecart-type	29.89	33.13	30.3	31.21	23.48	13.78	5.157	6.891	13.87	25.07	27.13	28.56	98.3
Tau Kendall	-0.002	-0.024	-0.217	-0.071	-0.027	-0.163	0.089	0.055	-0.035	-0.185	-0.172	0.020	-0.243
Kendall Score (S)	-9	-125	-1117	-368	-141	-842	461	282	-178	-953	-885	103	-1253
S Standardisé (Z)	-0.026	-0.359	-3.224	-1.061	-0.405	-2.432	1.33	0.812	-0.512	-2.753	-2.556	0.295	-3.62
Probabilité (0.05)	0.9820	0.7200	<b>0.0010**</b>	0.2870	0.6856	<b>0.0150*</b>	0.1820	0.4150	0.6110	<b>0.0060**</b>	<b>0.0110*</b>	0.7680	<b>0.0003***</b>
Pente (Q)	-0.0027	-0.042	-0.3222	-0.1045	-0.036	-0.0858	0.0103	0.0133	-0.0186	-0.2231	-0.2203	0.023	-0.9812
Intercept (β)	40.550	46.398	71.317	52.421	32.759	18.299	1.718	4.227	17.328	44.756	53.534	40.687	445.061

**Résultats de l'analyse de la tendance de la température moyenne (Test Mann Kendall)**

Paramètres	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
Minimum	4.47	5.13	7.38	10.43	13.43	18.52	22.65	22.53	18.75	13.89	8.73	5.44	14.18
Maximum	10.02	11.28	13.3	15.49	19.67	24.6	28.33	28.08	24.68	18.77	14.05	10.72	16.63
Moyenne	7.339	8.63	10.82	13.02	16.7	21.31	25.33	25.46	21.5	16.2	11.36	8.089	15.48
Médiane	7.26	8.58	10.77	12.91	16.65	21.34	25.36	25.28	21.51	16.05	11.27	8.05	15.49
Ecart-type	1.037	1.243	1.169	1.137	1.378	1.297	1.058	1.039	1.183	1.211	1.096	1.189	0.545
Tau Kendall	0.109	0.164	0.164	0.125	0.135	0.209	0.264	0.163	0.151	0.157	0.135	0.124	0.34
Kendall Score (S)	562	845	845	642	693	1075	1357	841	780	808	693	638	1747
S Standardisé (Z)	1.622	2.44	2.44	1.853	2.001	3.105	3.921	2.429	2.252	2.333	2.001	1.842	5.0492
Probabilité (0.05)	0.1048	<b>0.0147*</b>	<b>0.0147*</b>	0.0638	<b>0.0454*</b>	<b>0.0019**</b>	<b>0.0001***</b>	<b>0.0151*</b>	<b>0.0243*</b>	<b>0.0196*</b>	<b>0.0454*</b>	0.0655	<b>0.0000***</b>
Pente (Q)	0.0059	0.0108	0.0109	0.0071	0.0091	0.0143	0.0137	0.0088	0.0086	0.0102	0.0066	0.008	0.0092
Intercept (β)	6.9571	8.0262	10.2014	12.5402	16.1827	20.5993	24.6543	24.8294	21.0625	15.5203	10.9268	7.638	15.0102

### Résultats du test de rupture dans les séries de précipitations et de température moyenne (Test de Pettitt)

Séries	Paramètres	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
<b>P</b>	<b>K (Pettitt)</b>	356	305	963	568	579	760	692	449	382	997	910	364	1242
	<b>Année</b>	1944	1979	1975	1976	1911	1976	1944	1911	1908	1943	1934	1936	1976
	<b>Proba. (0.05)</b>	0.7943	0.9168	<b>0.0069**</b>	0.2688	0.2477	0.0573	0.1030	0.5500	0.7346	<b>0.0046**</b>	<b>0.0116*</b>	0.7752	<b>0.0001***</b>
<b>T</b>	<b>K (Pettitt)</b>	628	732	756	793	747	976	1032	803	685	813	878	947	1404
	<b>Année</b>	1954	1935	1980	1925	1941	1940	1983	1984	1934	1920	1936	1975	1936
	<b>Proba. (0.05)</b>	0.1690	0.0700	0.0620	<b>0.0410*</b>	0.0650	<b>0.006**</b>	<b>0.003**</b>	<b>0.039*</b>	0.1100	<b>0.036*</b>	<b>0.017*</b>	<b>0.008**</b>	<b>0.0001***</b>



## ANNEXE 4 : Résultat d'analyse de la tendance des données climatiques JRC 1994-2014

### - Précipitations :

Series	Test Z	Signific.	Sen Pente	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95	Intercept	Bmin99	Bmax99	Bmin95	Bmax95
Janvier	0,39		0,411	-2,969	2,987	-2,089	2,306	23,976	61,828	1,104	56,911	2,968
Fevrier	0,75		0,786	-1,367	3,346	-0,772	2,276	17,415	43,141	-1,978	38,100	11,200
Mars	1,84	+	0,796	-0,818	3,326	-0,116	2,397	14,177	32,815	-3,598	24,337	4,483
Avril	0,00		-0,004	-1,479	2,518	-1,110	1,638	25,971	39,322	-1,182	34,895	6,740
Mai	-0,45		-0,271	-1,463	1,215	-1,070	0,806	22,249	32,466	3,446	29,290	9,180
Juin	-0,09		-0,026	-0,512	0,761	-0,437	0,529	8,646	13,868	-0,838	12,861	1,375
Juillet	1,00		0,119	-0,372	0,545	-0,169	0,346	1,052	7,637	-2,011	5,116	-0,559
Aout	-0,45		-0,042	-0,572	0,502	-0,389	0,276	7,676	13,204	3,174	11,189	5,203
Septembre	0,21		0,103	-1,014	1,370	-0,821	1,022	15,813	23,187	2,786	20,670	8,602
Octobre	0,03		0,066	-2,114	2,612	-1,460	1,774	27,690	48,130	6,981	42,368	12,675
Novembre	3,05	**	2,474	0,442	5,029	1,213	4,301	12,277	30,543	-8,739	21,539	-4,376
Décembre	-0,15		-0,296	-2,537	1,841	-2,245	1,233	31,614	51,917	8,164	48,016	11,733
Annuelles	1,60		5,694	-4,662	12,820	-1,309	10,610	214,260	351,415	140,050	301,511	163,836

### - Température moyenne :

Series	Test Z	Signific.	Sen Pente	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95	Intercept	Bmin99	Bmax99	Bmin95	Bmax95
Janvier	-0,39		-0,014	-0,111	0,101	-0,084	0,071	8,652	9,458	7,181	9,193	7,335
Fevrier	-1,18		-0,060	-0,261	0,125	-0,208	0,058	9,765	12,217	8,468	11,730	8,792
Mars	-0,57		-0,028	-0,155	0,081	-0,110	0,055	12,333	14,040	11,066	13,364	11,313
Avril	1,66	+	0,083	-0,069	0,205	-0,027	0,184	13,723	14,930	12,553	14,760	12,729
Mai	0,15		0,007	-0,161	0,199	-0,122	0,158	17,975	19,459	15,951	18,951	16,519
Juin	0,27		0,017	-0,144	0,210	-0,107	0,146	22,932	24,366	21,024	24,101	21,408
Juillet	0,21		0,014	-0,094	0,131	-0,070	0,091	26,606	27,675	25,202	27,360	25,753
Aout	1,84	+	0,053	-0,017	0,142	-0,006	0,126	25,714	26,523	25,051	26,476	25,280
Septembre	1,30		0,044	-0,042	0,158	-0,027	0,125	21,593	22,468	20,114	22,289	20,577
Octobre	1,36		0,074	-0,093	0,214	-0,054	0,170	17,557	18,495	15,894	18,377	16,505
Novembre	-0,82		-0,043	-0,164	0,089	-0,124	0,070	12,575	13,858	11,202	13,346	11,582
Décembre	-1,12		-0,065	-0,196	0,059	-0,154	0,033	9,586	10,541	8,276	10,405	8,721
Annuelles	0,88		0,008	-0,031	0,046	-0,020	0,034	16,528	16,828	16,159	16,687	16,314

## ANNEXE 4 : Résultat d'analyse de la tendance des données climatiques JRC 1994-2014 (Suite)

### - Température maximale :

Series	Test Z	Signific.	Sen Pente	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95	Intercept	Bmin99	Bmax99	Bmin95	Bmax95
Janvier	0,15		0,018	-0,125	0,133	-0,077	0,105	13,781	14,844	12,189	14,652	12,341
Fevriér	-1,00		-0,077	-0,298	0,136	-0,242	0,054	15,980	18,596	13,481	17,875	14,415
Mars	-0,51		-0,044	-0,201	0,103	-0,169	0,058	18,595	20,383	16,758	20,188	16,962
Avril	1,36		0,110	-0,087	0,270	-0,027	0,229	19,650	20,876	18,508	20,489	18,951
Mai	0,27		0,035	-0,175	0,272	-0,128	0,215	24,219	26,438	22,316	25,816	22,773
Juin	0,57		0,047	-0,148	0,235	-0,085	0,165	30,089	31,984	27,894	31,126	28,737
Juillet	1,12		0,048	-0,063	0,184	-0,033	0,142	33,957	34,979	32,144	34,613	32,742
Aout	2,63	**	0,092	0,001	0,204	0,023	0,184	32,556	33,758	31,778	33,556	31,918
Septembre	1,72	+	0,079	-0,036	0,203	-0,018	0,163	27,746	28,862	26,198	28,717	26,679
Octobre	1,60		0,143	-0,083	0,287	-0,029	0,263	22,867	24,156	22,022	23,883	22,120
Novembre	-1,06		-0,071	-0,206	0,103	-0,180	0,057	18,505	19,822	16,107	19,481	16,518
Décembre	-1,18		-0,075	-0,215	0,098	-0,162	0,043	14,902	15,882	13,243	15,566	13,714
Annuelles	1,12		0,019	-0,020	0,066	-0,008	0,052	22,603	23,028	22,226	22,978	22,357

### - Température minimale :

Series	Test Z	Signific.	Sen Pente	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95	Intercept	Bmin99	Bmax99	Bmin95	Bmax95
Janvier	-0,45		-0,044	-0,185	0,105	-0,141	0,068	3,380	4,851	1,942	4,495	2,141
Fevriér	-0,88		-0,041	-0,218	0,152	-0,160	0,094	3,618	5,448	2,727	5,075	3,118
Mars	-0,03		-0,002	-0,082	0,087	-0,069	0,056	5,909	6,673	5,355	6,500	5,551
Avril	1,66	+	0,065	-0,047	0,162	-0,015	0,140	7,270	8,393	6,514	8,124	6,742
Mai	0,15		0,014	-0,164	0,166	-0,130	0,129	11,051	12,973	9,552	12,822	9,940
Juin	-0,45		-0,016	-0,159	0,142	-0,117	0,106	15,737	17,469	14,528	16,879	14,599
Juillet	-0,69		-0,027	-0,117	0,071	-0,096	0,056	19,235	20,138	18,277	19,908	18,403
Aout	0,45		0,017	-0,061	0,102	-0,040	0,079	18,648	19,629	17,773	19,365	18,088
Septembre	0,21		0,009	-0,065	0,143	-0,053	0,114	15,341	16,219	13,675	16,048	13,985
Octobre	0,45		0,032	-0,141	0,147	-0,083	0,098	11,764	13,144	10,208	12,734	11,125
Novembre	-0,09		-0,018	-0,144	0,101	-0,108	0,071	6,970	8,178	6,061	7,681	6,318
Décembre	-1,90	+	-0,079	-0,230	0,045	-0,180	0,009	4,591	5,888	3,000	5,273	3,025
Annuelles	-0,69		-0,008	-0,044	0,029	-0,034	0,024	10,294	10,663	10,008	10,554	10,065

Annexe 5 : Détails des différents faciès de la Commune Rurale de Tissaf (ERES, 1972)

Code	Caractère saisonnier	Dégradation	Faciès	Espèces dominantes	Recouvrement	Milieu	Sols	Erosion	UF
10	1	2	Faciès à armoise blanche	<b>Artemisia herba alba</b> , <i>Stipa parviflora</i> , <i>Atractylis polycephala</i> , <i>Peganum harmala</i>	0 à 20%	Fonds inondables, lits majeurs d'oueds	Sols limoneux	Erosion en nappe très forte érosion en griffes et en ravines <b>accélééré par des cultures en sec et jachère</b>	70 à 200
15	0	2	Faciès à armoise blanche	<b>Artemisia herba alba</b> , <b>Noaea mucronata</b> , <i>stipa parviflora</i> , <i>Stipa isargascae</i> , annuelles	8 à 12%	interfluves, reliefs plats, convexes ou pentes légères en bordures de fonds	Sols limoneux à limoneux sableux encroûtés en profondeur	Erosion en nappe moyenne	50 à 150
16	0	2	Faciès à armoise blanche	<b>Artemisia herba alba</b> , <b>Noaea mucronata</b> , <i>Salsola vermiculata</i> , <i>Stipa parviflora</i> , <i>Stipa isargascae</i> , <i>Koeleria vallesiana</i> , <i>Vella antegrifolia</i> , annuelles	8 à 10%	interfluves, reliefs le plus souvent convexes ou en pentes	Sols limoneux à limono-sableux	Erosion en nappe moyenne	50 à 150
20	2	2	Faciès à armoise blanche	<b>Artemisia herba alba</b> , <b>Noaea mucronata</b> , <b>Stipa parviflora</b> , <i>Stipa isargascae</i> , <b>Peganum harmala</b>	4 à 10%	Légères dépressions sur plateaux	Sols limoneux parfois limono-sableux	Très forte érosion en nappe	20 à 90
25	2	1	Faciès à Noaea mucronata, <i>Stipa parviflora</i> et <i>Helianthemum sp.</i>	<i>Thymus sp.</i> , <i>Stipa parviflora</i> , <i>Stipa isargascae</i> , <b>Noaea mucronata</b> , <i>Teucrium polium</i> , <i>Helianthemum sp.</i> , <i>Stipa tenacissima</i> , annuelles	4 à 8%	Pentes moyennes sous nappes d'alfa	Sols limoneux-sableux très caillouteux, affleurement	Erosion en nappe diffuse	50 à 150
26	2	1	Faciès à Noaea mucronata, <i>Stipa parviflora</i> et <i>Helianthemum sp.</i>	<i>Thymus sp.</i> , <i>Vella integrifolia</i> , <b>Noaea mucronata</b> , <i>Stipa parviflora</i> , <i>stipa isargascae</i> , <i>Koeleria vallesiana</i> , <i>Bupleurum blansae</i> , <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Lygeum spartum</i> , annuelles	3 à 9%	Pentes moyennes sous nappes d'alfa	Sols limoneux-sableux très caillouteux parfois affleurement gypse	Erosion en nappe diffuse très forte	50 à 150
27	2	1-2	Faciès à Noaea mucronata, <i>Stipa parviflora</i> et <i>Helianthemum sp.</i>	<b>Noaea mucronata</b> , <i>Artemisia herba alba</i> , <i>Lygeum spartum</i> , <i>Stipa parviflora</i> , <i>Atractylis serratuloides</i> , <i>Helianthemum sp.</i> , annuelles	6 à 12%	Pentes moyennes et vallées, clairières dans l'alfa, faciès composite avec toposéquence		Erosion assez forte	50 à 150
31	0	0	Faciès à Noaea mucronata, <i>Stipa parviflora</i> et <i>Helianthemum sp.</i>	<b>Noaea mucronata</b> , <i>Artemisia herba alba</i> , <i>Aristida obtusa</i> , <i>Aristida ciliata</i> , <i>Oudneya zygarrhena</i> , <i>Atractylis serratuloides</i>	6 à 12%	Plateaux, glacis caillouteux supérieurs	Sols limoneux sableux à sableux très caillouteux	Erosion en nappe diffuse et érosion éolienne	40 à 100
44	3	3	Faciès à Noaea mucronata, <i>Stipa parviflora</i> et <i>Helianthemum sp.</i>	<b>Noaea mucronata</b> , <i>stipa isargascae</i> , <b>Stipa parviflora</b> , <i>attractylis serratuloides</i> , <i>Helianthemum sp.</i> , annuelles dont <i>Astragalus sp.</i> , <i>Plantago Albicans</i>	2 à 6%	Versants de vallée, clairières dans l'Alfa	Sol sableux peu souvent caillouteux	Erosion en nappe diffuse forte	20 à 90
47	1	0	Faciès Chenopodiacées	<b>Atriplex halimus</b> , <b>Suaeda fruticosa</b> , <i>Salsola sieberi</i> , <i>Salsola foetida</i> , <i>Lycium intricatum</i> , <i>Limonium sp.</i> , <i>Frankinea corymbosa</i> , <b>tanaris sp.</b>	10 à 60%	Dépressions, nappes d'eau plus pu moins proche	Sol limoneux ou limono-sableux profond, gypso-salé		50 à 150
49	1B	1	Faciès Chenopodiacées	<b>Aristida ciliata</b> , <b>Aristida obtusa</b> , <i>Atractylis serratuloides</i> , <i>Stipa parviflora</i> , annuelles dont <i>Plantago arabicans</i>	6 à 11%	Vallées, plaines	Sol sableux sur alluvions	Erosion éolienne (Nebkhas)	50 à 150
50	1B	1	Faciès Chenopodiacées	<b>Aristida ciliata</b> , <b>Aristida obtusa</b> , <b>Lycium intricatum</b> , annuelles	8 à 12%	Plaine et plateaux	Sol sableux	Erosion éolienne (Nebkhas)	50 à 150
51	1B	1	Faciès Chenopodiacées	<b>Aristida ciliata</b> , <b>Aristida obtusa</b> , <b>Noaea mucronata</b> , <b>Salsola gemmascens</b> , <i>Helianthemum sp.</i> , <i>Atractylis serratuloides</i> , <i>Herniaria fontanesii</i> , Annuelles	8 à 12%	Plateaux glacis recouverts en partie des alluvions sableuses	Sol sableux et caillouteux	Erosion éolienne	50 à 150
53	0	2	Faciès Chenopodiacées	<b>Oudneya zygarrhena</b> , <b>Noaea mucronata</b> , <i>Atractylis serratuloides</i> , <i>Helianthemum sp.</i> , <i>Herniaria fontanesii</i> , <i>Lycium intricatum</i>	6 à 8%	Plateaux et glacis supérieur colmaté	Sol limoneux à forte tendance gypseuse	Erosion en nappe diffuse et colmatante	40 à 100
54	1B	0-3	Faciès Chenopodiacées	<b>Salsola foetida</b> , <i>Salsola sieberi</i> , <i>Salsola gemmascens</i> , <i>Lycium intricatum</i> , <i>Traganum nudatum</i> , <i>Frankenia corymbosa</i> , <i>Halogeton alopecuroides</i> , <i>Atriplex halimus</i> , Annuelles	8 à 60%	Zone d'épandage sur glacis intermédiaire ou inférieur	Sol limoneux	Erosion en nappe colmatante forte	40 à 100
61	0	2	Faciès Chenopodiacées	<b>Lycium intricatum</b> , <b>Salsola gemmascens</b> , <i>Halogeton alopecuroides</i> , <i>Atractylis serratuloides</i> , <i>Salsola sieberi</i>	5 à 20%	Reg	Sol très caillouteux très caillouteux	Erosion en nappe diffuse forte et localement colmatage	20 à 90
63	0	2	Faciès Chenopodiacées	<b>Farsetia hamiltonii</b> , <i>Salsola gemmascens</i> , <i>Halogeton alopecuroides</i> , <i>Haloxyon scoparium</i> , <i>Lycium intricatum</i>	7 à 9%	Reg	Sol très caillouteux encroûté	Erosion en nappe diffuse forte et localement colmatage	20 à 90
65	2	0-3	Faciès Chenopodiacées	<b>Lycium intricatum</b> , <i>Helianthemum sp.</i> , <i>Atractylis serratuloides</i> , <i>Halogeton alopecuroides</i> , <i>Salsola gemmascens</i>	4 à 8%	Fortes pentes	Sol caillouteux à tendance gypseuse	Très fortes érosions par ravines et rigoles	20 à 90
66	2	2	Faciès Chenopodiacées	<i>Teucrium polium</i> , <i>Thymus sp.</i> , <i>Marrubium vulgare</i> , <b>Noaea mucronata</b> , <i>Thymelea hirsuta</i> , <i>Frankenia corymbosa</i> , <i>Andropogon hirtus</i> , <i>Helianthemum sp.</i>	3 à 9%	Rebords de plateaux et pentes moyennes à fortes	Sol très caillouteux, sableux	Erosion en nappe diffuse très forte et érosion en ravines	20 à 90
67	2	2	Faciès Chenopodiacées	<i>Oudneya zygarrhena</i> , <i>Salsola vermiculata</i> , <i>Atractylis serratuloides</i> , <i>Lycium intricatum</i> , <i>Traganum nudatum</i> , <i>Herniaria pujosii</i>	3 à 5%	Pentes moyennes à fortes: collines	Sol limono-sableux très caillouteux à tendance gypseuse	Erosion en nappe diffuse très forte	20 à 90
77	0	-	Faciès à <i>Stipa tenacissima</i>	<b>Artemisia herba alba</b> , <b>Plantago albicans</b> , alfa en lente disparition par colmatage du sol (alfa 2 à 4%), flore intersticielle 5 à 12%		Plateaux	Sol limoneux	Erosion en nappe colmatante moyenne	50 à 150
78	0	-	Faciès à <i>Stipa tenacissima</i>	<b>Artemisia herba alba</b> parfois dégradé (alfa 5 à 15%), flore intersticielle 2 à 4%		Pentes moyennes à faibles, collines	Sol limono-sableux caillouteux, affleurements rocheux	Erosion en nappe diffuse forte à très forte	40 à 100
80	2	-	Faciès à <i>Stipa tenacissima</i>	<b>Artemisia herba alba</b> de bonne vigueur (alfa 5 à 20%), flore intersticielle 2 à 4%		Pentes faibles ou plateaux	Sol limoneux parfois caillouteux	Erosion en nappe colmatante faible	40 à 100
84	2	-	Faciès à <i>Stipa tenacissima</i>	<i>Haloxyon scoparium</i> , <b>Noaea mucronata</b> , <i>Stipa parviflora</i> , <i>Herniaria fontanesii</i> alfa d'assez bonne vigueur (5 à 15%), flore intersticielle 4 à 7%		Glacis supérieurs, pentes faibles à moyennes	Très forte pierrosité et affleurement de la croûte	Erosion en nappe diffuse et en rigoles	10 à 70
85	3	-	Faciès à <i>Stipa tenacissima</i>	Annuelles alfa de bonne vigueur 8 à 35%, flore intersticielle 0 à 1%		Pentes moyennes, collines (moyennement accessible)	Sol limoneux ou limono-sableux	Erosion en nappe diffuse limité	10 à 70
87	0	-	Faciès à <i>Stipa tenacissima</i>	<i>Halogeton alopecuroides</i> , <i>Helianthemum sp.</i> , <i>Atractylis serratuloides</i> , <i>Lycium intricatum</i> , <i>Launea sp.</i> , <i>Alfa</i> assez bonne vigueur 5 à 9%, flore intersticielle 0 à 2%		Collines, pentes moyennes à forte (moyennement accessible)	Sol limono-sableux très caillouteux	Fortes érosion en ravines et en rigoles	0 à 60
88	2	-	Faciès à <i>Stipa tenacissima</i>	<i>Thymus sp.</i> , <i>Pituranthos sp.</i> , <i>Moricandia arvensis</i> , <i>Salsola vermiculata</i> , <i>Ephedra sp.</i> , <i>Launea reedifolia</i> , <i>Capparis sp.</i> , <i>Genista pseudo-retamoides</i> . Assez bonne vigueur de l'alfa sauf zones brûlées 5 à 15%, flore intersticielle 1 à 2%.		Collines et massifs montagneux, pentes fortes (Difficile d'accessibilité)	Sol très caillouteux, affleurement rocheux	Erosion en nappe diffuse	0 à 60
C			Faciès cultivés						
C1			Faciès cultures irriguées						
CE			Faciès cultures sur épargage d'oueds						
L			Lits d'Oueds						

**Annexe 6 : Effectif du Cheptel par commune de la Province de Boulemane  
Compagne Agricole 2007-2008**

Cercle	Commune	Effectifs		
		Ovins	Caprins	Bovins
Boulemane	MU Boulemane	10 000	7 000	50
Boulemane	MU Im. Mermoucha	1 000	1 100	10
Boulemane	CR Enjil	110 000	20 000	700
Boulemane	CR Serghina	24 000	5 000	400
Boulemane	AC Guigou	120 000	20 000	1 700
Boulemane	CR Skoura	10 000	11 000	400
Boulemane	CR El Mers	13 000	10 000	300
Boulemane	CR Almis Marmoucha	9 000	3 000	120
Boulemane	CR Ait Bazza	20 000	11 000	110
Boulemane	CR Talzemt	24 000	13 000	130
Boulemane	CR Aït El Mane	12 000	8 000	100
Missour	MU Missour	4 000	1 000	120
Missour	CR Sidi Boutayeb	35 000	15 000	800
Missour	CR Wizeght	30 000	17 000	300
Missour	CR Ksabi	32 000	16 000	1 100
Outat El Hadj	MU Outat Lhaj	1 000	100	70
Outat El Hadj	CR Rmila	18 000	6 000	350
Outat El Hadj	CR Tissaf	85 000	20 000	2 000
Outat El Hadj	CR El Orjane	15 000	4 000	700
Outat El Hadj	CR Fritissa	40 000	16 000	3 200
Outat El Hadj	CR Ouled Ali	42 000	20 000	150
<b>Total</b>		<b>655 000</b>	<b>224 200</b>	<b>12 810</b>

Source : DPA Boulemane

**Annexe 7 : Résultats statistiques de l'Analyse en Composantes Principales  
en vue de la caractérisation des types d'élevage de la commune rurale de Tissaf**

**Statistiques descriptives :**

Variable	Observations	c données	mas données	ma	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Age	50	0	50	25,000	80,000	50,840	13,929	
Inst	50	0	50	0,000	2,000	0,220	0,465	
Actifs	50	0	50	1,000	10,000	3,240	2,528	
EO	50	0	50	10,000	730,000	160,860	162,888	
EC	50	0	50	0,000	207,000	35,160	39,552	
EB	50	0	50	0,000	30,000	3,580	5,006	
DUP	50	0	50	6,000	12,000	10,410	1,809	
DuDep	50	0	50	0,000	6,000	2,370	1,622	
DisDep	50	0	50	0,000	450,000	138,500	147,440	
CouDep	50	0	50	0,000	2600,000	823,000	884,689	

**Matrice de corrélation (Pearson (n)) :**

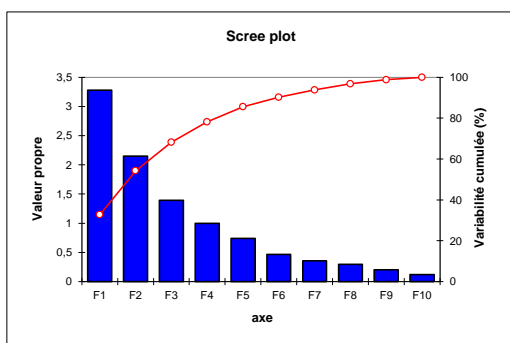
Variables	Age	Inst	Actifs	EO	EC	EB	DUP	DuDep	DisDep	CouDep
Age	1	<b>-0,360</b>	<b>0,358</b>	-0,150	-0,162	0,020	-0,227	0,187	0,049	0,139
Inst	<b>-0,360</b>	1	-0,185	0,210	-0,001	<b>0,374</b>	0,145	-0,178	-0,242	<b>-0,286</b>
Actifs	<b>0,358</b>	-0,185	1	0,021	-0,003	0,044	-0,024	-0,166	0,059	0,041
EO	-0,150	0,210	0,021	1	<b>0,481</b>	<b>0,599</b>	-0,096	0,010	0,105	0,004
EC	-0,162	-0,001	-0,003	<b>0,481</b>	1	<b>0,323</b>	-0,108	0,077	0,175	0,226
EB	0,020	<b>0,374</b>	0,044	<b>0,599</b>	<b>0,323</b>	1	-0,215	0,128	0,046	-0,033
DUP	-0,227	0,145	-0,024	-0,096	-0,108	-0,215	1	<b>-0,675</b>	<b>-0,783</b>	<b>-0,719</b>
DuDep	0,187	-0,178	-0,166	0,010	0,077	0,128	<b>-0,675</b>	1	<b>0,529</b>	<b>0,615</b>
DisDep	0,049	-0,242	0,059	0,105	0,175	0,046	<b>-0,783</b>	<b>0,529</b>	1	<b>0,825</b>
CouDep	0,139	<b>-0,286</b>	0,041	0,004	0,226	-0,033	<b>-0,719</b>	<b>0,615</b>	<b>0,825</b>	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0.05

**Analyse en Composantes Principales :**

**Valeurs propres :**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Valeur propre	3,277	2,151	1,391	0,998	0,739	0,467	0,358	0,297	0,203	0,119
Variabilité (%)	32,771	21,513	13,908	9,975	7,395	4,669	3,584	2,966	2,033	1,187
% cumulé	32,771	54,283	68,191	78,166	85,561	90,230	93,815	96,780	98,813	100,000



**Vecteurs propres :**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Age	-0,146	-0,285	0,540	-0,342	-0,402	0,198	-0,466	-0,223	0,033	0,141
Inst	0,185	0,393	-0,211	-0,464	0,429	0,442	-0,190	-0,358	-0,029	0,086
Actifs	-0,036	-0,122	0,687	0,084	0,560	0,110	0,414	-0,078	-0,051	-0,010
EO	-0,072	0,551	0,228	0,118	-0,110	-0,563	-0,055	-0,534	-0,041	-0,084
EC	-0,141	0,407	0,120	0,588	-0,235	0,589	-0,059	0,056	-0,196	0,086
EB	-0,084	0,524	0,265	-0,378	-0,108	-0,040	0,097	0,611	0,330	0,004
DUP	0,495	-0,027	0,039	0,228	-0,114	0,048	0,124	-0,187	0,673	0,426
DuDep	-0,428	-0,015	-0,186	-0,268	-0,325	0,149	0,672	-0,291	0,009	0,215
DisDep	-0,488	0,001	-0,098	0,115	0,337	-0,208	-0,261	0,112	0,030	0,707
CouDep	-0,495	-0,060	-0,103	0,148	0,174	0,144	-0,154	-0,151	0,626	-0,479

**Coordonnées des variables :**

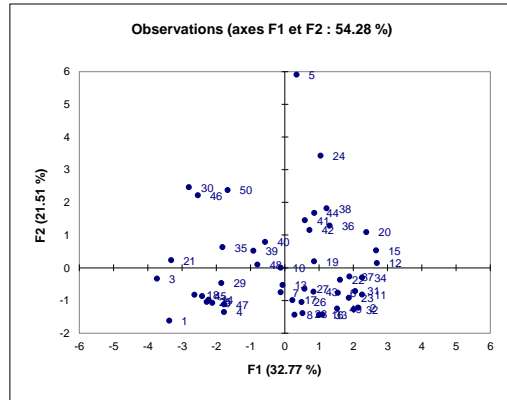
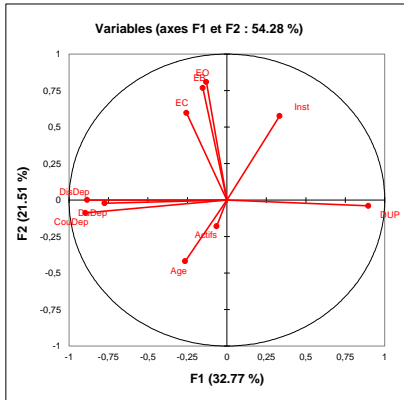
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Age	-0,264	-0,419	0,637	-0,341	-0,346	0,135	-0,279	-0,122	0,015	0,049
Inst	0,334	0,577	-0,249	-0,463	0,369	0,302	-0,114	-0,195	-0,013	0,030
Actifs	-0,065	-0,179	0,810	0,084	0,481	0,075	0,248	-0,042	-0,023	-0,003
EO	-0,130	0,809	0,268	0,118	-0,094	-0,385	-0,033	-0,291	-0,018	-0,029
EC	-0,255	0,597	0,141	0,587	-0,202	0,402	-0,035	0,030	-0,089	0,030
EB	-0,152	0,769	0,313	-0,378	-0,092	-0,028	0,058	0,333	0,149	0,001
DUP	0,897	-0,040	0,046	0,228	-0,098	0,033	0,074	-0,102	0,303	0,147
DuDep	-0,774	-0,022	-0,219	-0,267	-0,279	0,102	0,403	-0,159	0,004	0,074
DisDep	-0,884	0,001	-0,116	0,115	0,290	-0,142	-0,156	0,061	0,013	0,244
CouDep	-0,895	-0,088	-0,122	0,148	0,149	0,098	-0,092	-0,082	0,282	-0,165

**Corrélations entre les variables et les facteurs :**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Age	-0,264	-0,419	0,637	-0,341	-0,346	0,135	-0,279	-0,122	0,015	0,049
Inst	0,334	0,577	-0,249	-0,463	0,369	0,302	-0,114	-0,195	-0,013	0,030



Actifs	-0,065	-0,179	0,810	0,084	0,481	0,075	0,248	-0,042	-0,023	-0,003
EO	-0,130	0,809	0,268	0,118	-0,094	-0,385	-0,033	-0,291	-0,018	-0,029
EC	-0,255	0,597	0,141	0,587	-0,202	0,402	-0,035	0,030	-0,089	0,030
EB	-0,152	0,769	0,313	-0,378	-0,092	-0,028	0,058	0,333	0,149	0,001
DUP	0,897	-0,040	0,046	0,228	-0,098	0,033	0,074	-0,102	0,303	0,147
DuDep	-0,774	-0,022	-0,219	-0,267	-0,279	0,102	0,403	-0,159	0,004	0,074
DisDep	-0,884	0,001	-0,116	0,115	0,290	-0,142	-0,156	0,061	0,013	0,244
CouDep	-0,895	-0,088	-0,122	0,148	0,149	0,098	-0,092	-0,082	0,282	-0,165



**Contributions des variables (%) :**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Age	2,134	8,149	29,140	11,665	16,160	3,909	21,756	4,989	0,107	1,989
Inst	3,412	15,454	4,450	21,512	18,405	19,542	3,611	12,787	0,083	0,744
Actifs	0,127	1,496	47,133	0,707	31,347	1,201	17,109	0,605	0,264	0,009
EO	0,513	30,389	5,182	1,393	1,202	31,675	0,301	28,464	0,168	0,712
EC	1,986	16,586	1,429	34,536	5,543	34,664	0,347	0,308	3,856	0,746
EB	0,704	27,469	7,032	14,301	1,156	0,163	0,936	37,331	10,907	0,002
DUP	24,538	0,075	0,150	5,207	1,300	0,234	1,533	3,506	45,303	18,155
DuDep	18,280	0,022	3,446	7,172	10,532	2,231	45,208	8,478	0,008	4,621
DisDep	23,851	0,000	0,969	1,315	11,341	4,314	6,830	1,258	0,088	50,034
CouDep	24,453	0,360	1,068	2,192	3,015	2,067	2,369	2,273	39,215	22,988

**Cosinus carrés des variables :**

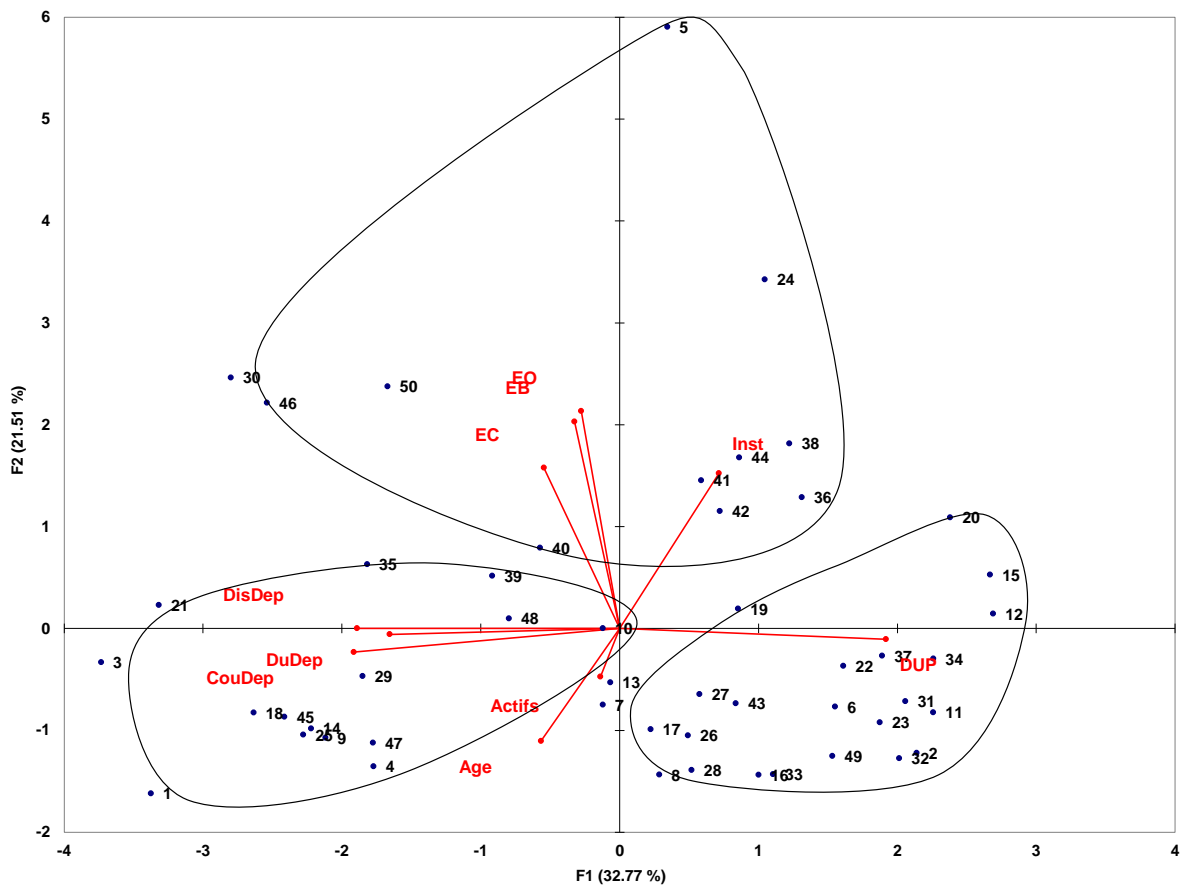
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Age	0,070	0,175	<b>0,405</b>	0,116	0,119	0,018	0,078	0,015	0,000	0,002
Inst	0,112	<b>0,332</b>	0,062	0,215	0,136	0,091	0,013	0,038	0,000	0,001
Actifs	0,004	0,032	<b>0,656</b>	0,007	0,232	0,006	0,061	0,002	0,001	0,000
EO	0,017	<b>0,654</b>	0,072	0,014	0,009	0,148	0,001	0,084	0,000	0,001
EC	0,065	<b>0,357</b>	0,020	0,344	0,041	0,162	0,001	0,001	0,008	0,001
EB	0,023	<b>0,591</b>	0,098	0,143	0,009	0,001	0,003	0,111	0,022	0,000
DUP	<b>0,804</b>	0,002	0,002	0,052	0,010	0,001	0,005	0,010	0,092	0,022
DuDep	<b>0,599</b>	0,000	0,048	0,072	0,078	0,010	0,162	0,025	0,000	0,005
DisDep	<b>0,782</b>	0,000	0,013	0,013	0,084	0,020	0,024	0,004	0,000	0,059
CouDep	<b>0,801</b>	0,008	0,015	0,022	0,022	0,010	0,008	0,007	0,080	0,027

Les valeurs en gras correspondent pour chaque variable au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

**Coordonnées des observations :**

Observation	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	-3,375	-1,619	-0,020	-1,405	-0,230	0,316	0,326	-0,366	-0,910	-0,120
2	2,139	-1,223	1,072	0,858	1,330	-0,027	0,728	0,479	-0,246	-0,291
3	-3,734	-0,333	0,981	-1,862	0,071	0,422	0,942	0,926	-0,107	-0,279
4	-1,772	-1,355	-0,529	-0,622	0,063	0,039	0,095	0,107	-0,363	-0,197
5	0,344	5,905	0,375	-3,661	1,021	-0,104	0,577	1,131	0,423	0,004
6	1,552	-0,767	-0,093	-1,160	0,633	1,138	-0,259	-0,896	0,249	0,188
7	-0,120	-0,748	-0,444	-0,758	-0,520	-0,206	0,263	0,631	-0,534	-0,381
8	0,286	-1,436	-0,875	-0,429	-1,095	0,108	0,439	-0,461	0,753	0,143
9	-2,118	-1,073	0,905	0,709	1,928	0,609	0,728	0,152	0,498	-0,401
10	-0,121	0,001	-0,894	-0,125	0,149	-1,604	-0,352	0,654	-0,470	1,105
11	2,258	-0,824	-0,278	0,935	0,620	-0,311	0,296	0,683	-0,194	-0,349
12	2,690	0,145	-0,904	-0,442	1,353	0,171	-0,286	-0,144	-0,089	-0,212
13	-0,067	-0,530	-0,132	0,601	0,526	-0,303	0,055	0,567	-0,904	1,032
14	-2,222	-0,982	1,749	0,549	1,305	0,453	0,094	-0,513	0,042	0,199
15	2,668	0,527	-1,519	0,031	0,851	0,355	-0,579	-0,187	-0,252	-0,191
16	1,001	-1,438	1,379	-0,210	0,349	0,050	0,592	-0,044	0,248	0,319
17	0,224	-0,990	0,302	0,145	0,472	-0,136	0,287	0,312	-0,551	0,100
18	-2,635	-0,826	-2,200	0,067	0,963	-0,786	0,029	0,454	0,275	0,119
19	0,854	0,193	-0,458	0,570	-0,303	-0,526	1,111	-0,042	0,164	0,219
20	2,380	1,089	-0,386	0,321	0,803	0,768	-0,521	-0,311	-0,327	-0,091
21	-3,318	0,231	0,397	-0,105	-0,778	0,278	-1,073	-0,300	0,482	-0,087
22	1,611	-0,367	-0,568	-1,457	-0,242	1,060	-0,048	-0,919	-0,037	0,503
23	1,874	-0,922	1,237	-0,502	-0,337	-0,207	-0,619	0,836	0,350	-0,070
24	1,046	3,425	-0,230	0,439	-1,116	1,519	0,263	-0,343	-0,186	0,470
25	-2,278	-1,042	-1,492	-0,130	0,084	-0,179	-0,238	-0,026	0,064	-0,373
26	0,492	-1,051	-1,271	0,030	-0,374	-0,206	1,226	-0,290	0,692	-0,110
27	0,575	-0,645	-1,248	0,729	-0,670	0,327	0,499	-0,008	0,511	-0,075
28	0,519	-1,389	-0,298	-0,458	-1,273	0,228	-0,244	-0,264	0,647	0,230
29	-1,851	-0,468	-0,308	-0,358	-0,647	0,197	-0,145	0,007	-0,398	-0,339
30	-2,800	2,463	-0,374	2,561	-0,906	2,075	-0,619	1,347	0,180	0,237

31	2,058	-0,716	-0,063	-0,128	-0,673	-0,708	-0,851	0,522	0,188	-0,201
32	2,014	-1,274	0,125	-0,332	-0,861	-0,299	-1,148	0,511	0,163	-0,069
33	1,104	-1,431	0,206	-0,133	-0,316	0,025	0,500	-0,212	0,192	0,131
34	2,259	-0,297	-1,038	0,947	-0,089	-0,538	-0,139	0,786	-0,117	-0,366
35	-1,818	0,629	0,378	1,615	0,816	0,279	-0,323	0,274	0,227	0,104
36	1,313	1,288	3,602	1,592	0,279	-0,212	0,194	-0,797	-0,427	-0,172
37	1,890	-0,267	0,226	0,303	-0,985	-0,391	-1,018	0,336	0,026	-0,130
38	1,223	1,815	-0,676	-0,651	0,647	-0,578	-0,210	-0,754	-0,304	-0,329
39	-0,917	0,517	0,536	-0,538	-1,598	-0,375	0,072	-0,597	-1,319	-0,405
40	-0,573	0,792	0,999	0,170	-0,885	-0,017	-0,491	0,040	0,481	-0,836
41	0,588	1,453	1,332	-0,469	-1,556	-0,730	0,515	0,019	0,596	0,207
42	0,722	1,151	-1,306	1,243	-1,041	-0,185	1,577	-0,161	-0,052	0,067
43	0,837	-0,735	-0,195	0,457	-0,685	0,271	0,661	-0,346	0,127	0,077
44	0,862	1,679	-1,179	-0,091	0,238	0,544	-0,281	-0,506	-0,792	-0,163
45	-2,413	-0,867	0,746	-1,192	-0,652	-0,340	-0,815	-0,476	-0,082	0,184
46	-2,539	2,215	-1,243	2,000	0,038	-0,996	-0,005	-0,646	-0,136	-0,311
47	-1,776	-1,122	0,131	0,097	0,349	0,226	-0,507	0,089	-0,123	0,530
48	-0,797	0,098	-1,942	-0,310	2,088	-0,020	-0,799	-0,642	0,758	0,052
49	1,532	-1,252	3,538	-0,143	0,400	0,635	-0,206	0,249	0,045	0,111
50	-1,670	2,376	1,946	0,701	0,457	-2,110	-0,298	-0,864	0,542	0,218



Contributions des observations (%) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	6,952	2,438	0,001	3,958	0,143	0,429	0,594	0,902	8,153	0,245
2	2,793	1,390	1,651	1,476	4,787	0,003	2,953	1,546	0,597	1,431
3	8,507	0,103	1,385	6,950	0,014	0,762	4,954	5,781	0,113	1,310
4	1,917	1,706	0,403	0,777	0,011	0,007	0,050	0,078	1,300	0,656
5	0,072	32,412	0,202	26,875	2,819	0,047	1,857	8,628	1,759	0,000
6	1,470	0,548	0,013	2,696	1,083	5,543	0,375	5,419	0,611	0,593
7	0,009	0,520	0,283	1,153	0,731	0,181	0,386	2,687	2,802	2,450
8	0,050	1,916	1,101	0,369	3,244	0,050	1,077	1,430	5,584	0,345
9	2,738	1,071	1,178	1,007	10,054	1,586	2,956	0,155	2,441	2,713
10	0,009	0,000	1,149	0,032	0,060	11,020	0,690	2,884	2,171	20,577
11	3,113	0,631	0,111	1,753	1,040	0,414	0,490	3,145	0,369	2,051
12	4,415	0,019	1,176	0,392	4,951	0,125	0,456	0,140	0,078	0,756
13	0,003	0,261	0,025	0,724	0,748	0,394	0,017	2,172	8,034	17,944
14	3,013	0,897	4,400	0,604	4,610	0,879	0,049	1,775	0,017	0,664
15	4,344	0,258	3,320	0,002	1,958	0,538	1,870	0,236	0,626	0,614
16	0,612	1,921	2,735	0,088	0,329	0,011	1,956	0,013	0,603	1,717
17	0,030	0,911	0,131	0,042	0,602	0,079	0,460	0,658	2,989	0,169
18	4,239	0,634	6,958	0,009	2,508	2,646	0,005	1,389	0,745	0,240
19	0,445	0,035	0,302	0,651	0,249	1,183	6,887	0,012	0,264	0,805
20	3,458	1,102	0,214	0,207	1,743	2,524	1,512	0,652	1,055	0,139
21	6,718	0,049	0,226	0,022	1,636	0,332	6,419	0,605	2,284	0,128
22	1,583	0,125	0,464	4,254	0,158	4,811	0,013	5,695	0,014	4,267
23	2,143	0,791	2,202	0,505	0,306	0,184	2,138	4,717	1,206	0,082
24	0,667	10,904	0,076	0,386	3,371	9,887	0,386	0,793	0,340	3,714

25	3,167	1,010	3,200	0,034	0,019	0,137	0,316	0,004	0,041	2,343
26	0,148	1,026	2,322	0,002	0,379	0,181	8,392	0,567	4,711	0,205
27	0,202	0,387	2,240	1,066	1,214	0,458	1,388	0,000	2,567	0,095
28	0,164	1,795	0,128	0,420	4,383	0,223	0,331	0,471	4,116	0,890
29	2,092	0,204	0,136	0,257	1,132	0,166	0,117	0,000	1,555	1,935
30	4,783	5,638	0,201	13,145	2,222	18,437	2,138	12,237	0,319	0,948
31	2,585	0,476	0,006	0,033	1,226	2,150	4,038	1,840	0,348	0,678
32	2,476	1,510	0,023	0,221	2,005	0,383	7,356	1,763	0,260	0,079
33	0,744	1,904	0,061	0,035	0,270	0,003	1,397	0,304	0,362	0,290
34	3,115	0,082	1,550	1,798	0,021	1,239	0,108	4,170	0,135	2,259
35	2,017	0,368	0,205	5,230	1,803	0,332	0,581	0,508	0,509	0,183
36	1,051	1,541	18,661	5,081	0,210	0,193	0,210	4,283	1,796	0,500
37	2,180	0,066	0,074	0,184	2,622	0,656	5,778	0,760	0,007	0,286
38	0,913	3,061	0,658	0,849	1,131	1,429	0,247	3,830	0,907	1,826
39	0,513	0,248	0,413	0,579	6,906	0,601	0,029	2,404	17,125	2,757
40	0,200	0,583	1,436	0,058	2,118	0,001	1,344	0,011	2,273	11,786
41	0,211	1,962	2,552	0,442	6,552	2,284	1,482	0,002	3,498	0,723
42	0,318	1,232	2,455	3,099	2,931	0,146	13,879	0,174	0,026	0,075
43	0,428	0,502	0,054	0,419	1,269	0,314	2,438	0,808	0,159	0,100
44	0,453	2,620	2,000	0,016	0,153	1,268	0,441	1,726	6,173	0,449
45	3,555	0,698	0,801	2,847	1,151	0,496	3,710	1,526	0,067	0,570
46	3,935	4,563	2,221	8,017	0,004	4,246	0,000	2,815	0,183	1,626
47	1,925	1,171	0,025	0,019	0,330	0,219	1,434	0,054	0,149	4,730
48	0,388	0,009	5,421	0,192	11,797	0,002	3,566	2,777	5,651	0,046
49	1,432	1,457	18,003	0,041	0,433	1,726	0,236	0,417	0,020	0,209
50	1,703	5,246	5,447	0,984	0,565	19,077	0,494	5,039	2,888	0,798

**Cosinus carrés des observations :**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	<b>0,661</b>	0,152	0,000	0,115	0,003	0,006	0,006	0,008	0,048	0,001
2	<b>0,430</b>	0,141	0,108	0,069	0,166	0,000	0,050	0,022	0,006	0,008
3	<b>0,680</b>	0,005	0,047	0,169	0,000	0,009	0,043	0,042	0,001	0,004
4	<b>0,538</b>	0,314	0,048	0,066	0,001	0,000	0,002	0,002	0,023	0,007
5	0,002	<b>0,679</b>	0,003	0,261	0,020	0,000	0,006	0,025	0,003	0,000
6	<b>0,343</b>	0,084	0,001	0,192	0,057	0,185	0,010	0,115	0,009	0,005
7	0,006	0,219	0,077	<b>0,225</b>	0,106	0,017	0,027	0,156	0,111	0,057
8	0,015	<b>0,389</b>	0,145	0,035	0,226	0,002	0,036	0,040	0,107	0,004
9	<b>0,374</b>	0,096	0,068	0,042	0,310	0,031	0,044	0,002	0,021	0,013
10	0,003	0,000	0,147	0,003	0,004	<b>0,475</b>	0,023	0,079	0,041	0,225
11	<b>0,644</b>	0,086	0,010	0,110	0,049	0,012	0,011	0,059	0,005	0,015
12	<b>0,703</b>	0,002	0,080	0,019	0,178	0,003	0,008	0,002	0,001	0,004
13	0,001	0,087	0,005	0,112	0,085	0,028	0,001	0,099	0,252	<b>0,329</b>
14	<b>0,430</b>	0,084	0,266	0,026	0,148	0,018	0,001	0,023	0,000	0,003
15	<b>0,646</b>	0,025	0,209	0,000	0,066	0,011	0,030	0,003	0,006	0,003
16	0,177	<b>0,365</b>	0,336	0,008	0,021	0,000	0,062	0,000	0,011	0,018
17	0,027	<b>0,522</b>	0,048	0,011	0,119	0,010	0,044	0,052	0,162	0,005
18	<b>0,485</b>	0,048	0,338	0,000	0,065	0,043	0,000	0,014	0,005	0,001
19	0,245	0,013	0,070	0,109	0,031	0,093	<b>0,414</b>	0,001	0,009	0,016
20	<b>0,642</b>	0,134	0,017	0,012	0,073	0,067	0,031	0,011	0,012	0,001
21	<b>0,822</b>	0,004	0,012	0,001	0,045	0,006	0,086	0,007	0,017	0,001
22	<b>0,348</b>	0,018	0,043	0,285	0,008	0,151	0,000	0,113	0,000	0,034
23	<b>0,467</b>	0,113	0,204	0,034	0,015	0,006	0,051	0,093	0,016	0,001
24	0,064	<b>0,687</b>	0,003	0,011	0,073	0,135	0,004	0,007	0,002	0,013
25	<b>0,593</b>	0,124	0,254	0,002	0,001	0,004	0,006	0,000	0,000	0,016
26	0,046	0,211	<b>0,309</b>	0,000	0,027	0,008	0,288	0,016	0,092	0,002
27	0,085	0,106	<b>0,399</b>	0,136	0,115	0,027	0,064	0,000	0,067	0,001
28	0,056	<b>0,405</b>	0,019	0,044	0,340	0,011	0,012	0,015	0,088	0,011
29	<b>0,742</b>	0,047	0,021	0,028	0,091	0,008	0,005	0,000	0,034	0,025
30	<b>0,280</b>	0,216	0,005	0,234	0,029	0,154	0,014	0,065	0,001	0,002
31	<b>0,623</b>	0,075	0,001	0,002	0,067	0,074	0,107	0,040	0,005	0,006
32	<b>0,492</b>	0,197	0,002	0,013	0,090	0,011	0,160	0,032	0,003	0,001
33	0,323	<b>0,542</b>	0,011	0,005	0,026	0,000	0,066	0,012	0,010	0,005
34	<b>0,619</b>	0,011	0,131	0,109	0,001	0,035	0,002	0,075	0,002	0,016
35	<b>0,444</b>	0,053	0,019	0,351	0,090	0,010	0,014	0,010	0,007	0,001
36	0,087	0,083	<b>0,652</b>	0,127	0,004	0,002	0,002	0,032	0,009	0,001
37	<b>0,588</b>	0,012	0,008	0,015	0,160	0,025	0,170	0,019	0,000	0,003
38	0,207	<b>0,455</b>	0,063	0,059	0,058	0,046	0,006	0,079	0,013	0,015
39	0,127	0,040	0,043	0,044	<b>0,384</b>	0,021	0,001	0,054	0,262	0,025
40	0,083	0,159	<b>0,254</b>	0,007	0,199	0,000	0,061	0,000	0,059	0,178
41	0,043	0,261	0,220	0,027	<b>0,300</b>	0,066	0,033	0,000	0,044	0,005
42	0,060	0,152	0,195	0,177	0,124	0,004	<b>0,285</b>	0,003	0,000	0,001
43	<b>0,269</b>	0,207	0,015	0,080	0,180	0,028	0,167	0,046	0,006	0,002
44	0,118	<b>0,447</b>	0,221	0,001	0,009	0,047	0,013	0,041	0,100	0,004
45	<b>0,581</b>	0,075	0,056	0,142	0,042	0,012	0,066	0,023	0,001	0,003
46	<b>0,350</b>	0,266	0,084	0,217	0,000	0,054	0,000	0,023	0,001	0,005
47	<b>0,610</b>	0,243	0,003	0,002	0,024	0,010	0,050	0,002	0,003	0,054
48	0,061	0,001	0,359	0,009	<b>0,415</b>	0,000	0,061	0,039	0,055	0,000
49	0,137	0,091	<b>0,731</b>	0,001	0,009	0,024	0,002	0,004	0,000	0,001
50	0,150	<b>0,304</b>	0,204	0,026	0,011	0,240	0,005	0,040	0,016	0,003

Les valeurs en gras correspondent pour chaque observation au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

## ANNEXE 8 : RESULTATS DES CLASSIFICATIONS SUPERVISEES (ACCURACY REPORTS)

### CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

#### Classification supervisée 2007 de la Commune de TISSAF (10 Classes)

##### ERROR Matrix

Classified Data	Reference Data										Row Total	
	SNLR	FNM	SF	SM	SD	CI	CB	FCN	AFR	Eau		
SNLR	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
FNM	1	6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	9
SF	0	1	8	1	0	1	0	0	0	0	0	11
SM	0	0	1	7	1	0	0	0	0	0	0	9
SD	0	0	0	1	6	1	0	0	0	0	0	8
CI	0	0	0	0	1	5	1	0	0	0	0	7
CB	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	5
FCN	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	5
AFR	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3
Eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
Column Total	5	7	10	10	8	7	5	5	4	3	3	64

End of Error Matrix

##### ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producer Accuracy	Users Accuracy
SNLR	5	4	4	80,00	100,00 %
FNM	7	9	6	85,71	66,67 %
SF	10	11	8	80,00	72,73 %
SM	10	9	7	70,00	77,78 %
SD	8	8	6	75,00	75,00 %
CI	7	7	5	71,43	71,43 %
CB	5	5	4	80,00	80,00 %
FCN	5	5	4	80,00	80,00 %
AFR	4	3	2	50,00	66,67 %
Eau	3	3	2	66,67	66,67 %
Totals	64	64	48		

Overall Classification Accuracy = 75,00 %

End of Accuracy Totals

##### KAPPA (K<sup>^</sup>) STATISTICS

Overall Kappa Statistics = 0,7232

Conditional Kappa for each Category.

Class Name	Kappa	
SNLR	1,0000	- SD - <i>Stipa tenacissima dense</i> ;
FNM	0,6257	- SM - <i>Stipa tenacissima moyennement dense</i> ;
SF	0,6768	- SF - <i>Stipa tenacissima de faible densité</i> .
SM	0,7366	- CI - <i>Culture irriguée (PMH Tissaf)</i> ;
SD	0,7143	- CB - <i>Culture en Bour</i> ;
CI	0,6792	- FCN - <i>Faciès chénopodiacées</i> ;
CB	0,7153	- AFR - <i>Affleurements rocheux</i> ;
FCN	0,7153	- Eau - <i>Surface eau (barrages collinaires et rivières intermittentes)</i> ;
AFR	0,6000	- FNM - <i>Faciès Noaea micronata (zone intermédiaire)</i> .
Eau	0,6175	- SNLR - <i>Sol nu et lits de rivières</i> .

## CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

### Classification supervisée 1988 de la Commune de TISSAF

#### ERROR Matrix

Classified Data	Reference Data						Row Total
	SNU	CHE	SF	SM	SD	STD	
SNU	6	1	0	0	0	0	7
CHE	1	6	1	0	0	0	8
SF	0	2	6	1	1	0	10
SM	0	0	1	7	1	0	9
SD	0	0	0	1	6	1	8
STD	0	0	0	0	1	3	4
Column Total	7	9	8	9	9	4	46

End of Error Matrix

#### ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producer Accuracy	Users Accuracy
SNU	7	7	6	85,71	85,71 %
CHE	9	8	6	66,67	75,00 %
SF	8	10	6	75,00	60,00 %
SM	9	9	7	77,78	77,78 %
SD	9	8	6	66,67	75,00 %
STD	4	4	3	75,00	75,00 %
Totals	46	46	34		

Overall Classification Accuracy = 73,91 %

End of Accuracy Totals

#### KAPPA (K<sup>^</sup>) STATISTICS

Overall Kappa Statistics = 0,6838

Conditional Kappa for each Category.

Class Name	Kappa	
SNU	0,8315	- SNU - Sols nus ;
CHE	0,6892	- CHE - Faciès chénopodiacées ;
SF	0,5158	- SF - Stipa tenacissima de faible densité.
SM	0,7237	- SM - Stipa tenacissima de moyenne densité ;
SD	0,6892	- SD - Stipa tenacissima dense ;
STD	0,7262	- STD - Stipa tenacissima à forte densité et cultures irriguées.



## CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

### Classification supervisée 2001 de la Commune de TISSAF

#### ERROR Matrix

Classified Data	Reference Data						Row Total
	SNU	CHE	SF	SM	SD	STD	
SNU	4	1	0	0	0	0	5
CHE	1	8	1	0	0	0	10
SF	0	1	8	2	0	0	11
SM	0	0	1	7	1	0	9
SD	0	1	0	1	7	1	10
STD	0	0	0	0	1	3	4
Column Total	5	11	10	10	9	4	49

#### End of Error Matrix

#### ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producer Accuracy	Users Accuracy
SNU	5	5	4	80,00	80,00 %
CHE	11	10	8	72,73	80,00 %
SF	10	11	8	80,00	72,73 %
SM	10	9	7	70,00	77,78 %
SD	9	10	7	77,78	70,00 %
STD	4	4	3	75,00	75,00 %
Totals	49	49	37		

Overall Classification Accuracy = 75,51 %

#### End of Accuracy Totals

#### KAPPA (K<sup>^</sup>) STATISTICS

Overall Kappa Statistics = 0,7000

#### Conditional Kappa for each Category.

Class Name	Kappa	
SNU	0,7773	- SNU - Sols nus ;
CHE	0,7421	- CHE - Faciès chénopodiacées ;
SF	0,6573	- SF - Stipa tenacissima de faible densité.
SM	0,7208	- SM - Stipa tenacissima de moyenne densité ;
SD	0,6325	- SD - Stipa tenacissima dense ;
STD	0,7278	- STD - Stipa tenacissima à forte densité et cultures irriguées.

## CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

### Classification supervisée 2007 de la Commune de TISSAF

#### ERROR Matrix

Classified Data	SNU	CHE	SF	Reference Data			Row Total	
				SM	SD	STD		
SNU		5	1	0	0	0	0	6
CHE		1	9	1	0	0	0	11
SF		1	1	9	1	0	0	12
SM		0	0	1	8	2	0	11
SD		0	1	1	1	7	1	11
STD		0	0	0	0	0	6	6
Column Total		7	12	12	10	9	7	57

#### End of Error Matrix

#### ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producer Accuracy	Users Accuracy
SNU	7	6	5	71,43	83,33 %
CHE	12	11	9	75,00	81,82 %
SF	12	12	9	75,00	75,00 %
SM	10	11	8	80,00	72,73 %
SD	9	11	7	77,78	63,64 %
STD	7	6	6	85,71	100,00 %
Totals	57	57	44		

Overall Classification Accuracy = 77,19 %

#### End of Accuracy Totals

#### KAPPA (K<sup>^</sup>) STATISTICS

Overall Kappa Statistics = 0,7235

#### Conditional Kappa for each Category.

Class Name	Kappa	
SNU	0,8100	- SNU - Sols nus ;
CHE	0,7697	- CHE - Faciès chénopodiacées ;
SF	0,6833	- SF - Stipa tenacissima de faible densité.
SM	0,6692	- SM - Stipa tenacissima de moyenne densité ;
SD	0,5682	- SD - Stipa tenacissima dense ;
STD	1,0000	- STD - Stipa tenacissima à forte densité et cultures irriguées.

## CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

### Classification supervisée 2000-2001 bassin versant Moulouya (13 Classes)

#### ERROR Matrix

Classified Data	Reference Data													Row Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2	1	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
3	0	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
4	0	0	1	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
5	0	0	0	1	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11
6	0	0	0	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	9
7	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
8	0	0	0	0	0	0	1	11	1	0	0	0	0	0	13
9	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1	0	0	0	0	13
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	5
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	0	0	0	7
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	0	9
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	5
Column Total	5	8	12	10	10	9	12	11	14	6	6	9	5	5	117

End of Error Matrix

#### ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producer Accuracy	Users Accuracy		
1	5	4	4	80,00	100,00 %	Overall Classification Accuracy =	71,79 %
2	8	10	8	100,00	80,00 %		
3	12	11	10	83,33	90,91 %		
4	10	10	8	80,00	80,00 %		
5	10	11	9	90,00	81,82 %		
6	9	9	8	88,89	88,89 %		
7	12	10	10	83,33	100,00 %		
8	11	13	11	100,00	84,62 %		
9	14	13	12	85,71	92,31 %		
10	6	5	4	66,67	80,00 %		
11	6	7	6	100,00	85,71 %		
12	9	9	8	88,89	88,89 %		
13	5	5	4	80,00	80,00 %		
Totals	117	117	84				

**End of Accuracy Totals**

**KAPPA (K^) STATISTICS**

Overall Kappa Statistics = 0,7067

Conditional Kappa for each Category.

Class Name	Kappa		
1	1,0000	1	Eau
2	0,7853	2	Forêt Très dense et arboriculture en irriguée
3	0,8987	3	Forêt dense et cultures irriguées
4	0,7813	4	Forêt moyennement dense et cultures irriguées
5	0,8012	5	Forêt faiblement dense et cultures de saison
6	0,8796	6	Forêt éparses et culture de saison
7	0,8857	7	Prairies et alpha dense
8	0,7424	8	Prairies et Alfa de moyenne densité
9	0,7872	9	Prairies et Alfa F. denses et cultures en bour
10	0,7459	10	Prairies, alpha éparses et terrains en jachère
11	0,8031	11	Végétation éparses
12	0,8056	12	Sol nu non consolidé
13	0,7554	13	Sol nu

## Annexe 9 : Résultats de l'analyse hiérarchique multicritères (AHP)

### Comparaison par paires en fonction de son importance vis-à-vis de l'attractivité des parcours

	Rdt UF/Ha	Aridité	Pente	Eau	Route
Rdt UF/Ha	1,00	5,00	8,00	8,00	8,00
Aridité	0,20	1,00	4,00	3,00	3,00
Pente	0,13	0,25	1,00	0,80	0,80
D. Eau	0,13	0,33	1,25	1,00	1,00
D. Routes	0,13	0,33	1,25	1,00	1,00

### Matrice normalisé

	Rdt UF/Ha	Aridité	Pente	Eau	Route
Rdt UF/Ha	0,6349	0,7229	0,5161	0,5797	0,5797
Aridité	0,1270	0,1446	0,2581	0,2174	0,2174
Pente (%)	0,0794	0,0361	0,0645	0,0580	0,0580
Distance Eau	0,0794	0,0482	0,0806	0,0725	0,0725
Distance Routes	0,0794	0,0482	0,0806	0,0725	0,0725

### Pondération Consistance Ratio

0,60667	3,17465	5,23289	
0,19288	0,97475	5,05360	
0,05919	0,29625	5,00476	
0,07063	0,35537	5,03174	
0,07063	0,35537	5,03174	
	CI=	0,01774	(Consistency index)
	CI/RI=	0,02	< 0.1

(RI = 1,12 pour n = 5)