

Université MUSTAPHA Stambouli  
Mascara



جامعة مصطفى أسطمبولي  
معسكر

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences agronomiques

## THESE de DOCTORAT en SCIENCES

Spécialité : Hydraulique Agricole

Intitulée

**AMENAGEMENT HYDRO-AGRO-SYLVO-PASTORAL DU SOUS  
BASSIN VERSANT D'OUED-TOUIL-AVAL / KSAR-CHELLALA DANS  
LE CONTEXTE DE LA LUTTE CONTRE LA DESERTIFICATION**

*Présentée par : Laouisset Mhamed Bensalah*

Le 03/juillet/2017

Devant le jury :

Président	Mr. BENABDELI Khelloufi	Professeur	Université de Mascara
Examineur	Mr MILOUDI Ali	Professeur	Université de Mascara
Examineur	Mr ADDA Ahmed	Professeur	Université de Tiaret
Examineur	Mr STAMBOULI Madani	Professeur	Université de Laghouat
Examineur	Mr HAMIMED	MCA	Université de Mascara
Encadreur	Mr DELLAL Abdelkader	Professeur	Université de Tiaret

Année Universitaire : 2016-2017

*Dédicace*

*A la mémoire de mes parents et de mon beau père,*

*A ma fidèle épouse pour sa patience,*

*A mes enfants : Abderrahaman, Fedoua et Mohamed Belkacem*

*A mes frères et sœurs en particulier Elhadj Boubakeur*

*A ma tante Aicha*

*A tous ceux qui comme moi croient aux forces du progrès  
dans l'humilité et avec lesquels j'ai partagé beaucoup d'illusions et de désillusions.*

*Je dédie ce travail*

## I

### Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse.

Je remercie tout particulièrement mon encadreur Professeur DELLEL Abdelkader. Je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien avec lequel il m'a guidé et encouragé, et pour m'avoir permis de terminer ce travail dans les meilleures conditions, il m'a aidé et m'a fourni de précieux conseils.

Une pensée particulière est adressée à la Directrice Générale du CRSTRA Dr LAKHDARI Fatum de l'aide qui m'a accordé pour achever ce travail.

Je tiens à mentionner et remercier les membres de la faculté SNV Université de Mascara à la tête Dr BELABID Lakhdar

Je suis particulièrement reconnaissant à Mr. BENABDELI Khelloufi Professeur à l'Université de Mascara d'avoir accepté de présider ce travail. Mes remerciements vont également à tous les membres de jury d'avoir examinés ce travail :Mr MILOUDI Ali, Professeur à l'Université de Mascara ; Mr ADDA Ahmed, Professeur à l'Université de Tiaret Mr *STAMBOULI* Madani Professeur à l'Université de Laghouat ; Mr HAMIMED Abderahmane Maître de conférence à l'Université de Mascara.

Je tiens à mentionner et remercier aussi le staff de l'Institut des Région Arides IRA-Mednine-Tunisie qui m'ont permis de mener sereinement et jusqu'au bout ce travail, à la tête le Directeur Général KHETALI Hocine, Dr OUESSAR Mohamed chargé de la formation, Dr MOUSSA Mohamed Directeur du Labo d'érimologie et lutte contre la désertification, l'attaché de recherche SIFI Bouagjila qui m'a guidé dans le traitement des images satellitaires et le maestro des SIG ZERIM Amar.

Je remercie ma cousine Dr SENI Khadija Enseignante à l'Université de Djelfa, qui m'a fourni des données très précieuses pour consolider ce travail.

Je tiens à remercier l'équipe de la station INSID Ksar-Chellala à la tête Monsieur Boudaoud qui m'a fourni des données très utiles.

Enfin je remercie tous les amis qui ont aidé de près ou de loin à la réalisation de cette étude.

## Table des matières

	Pages
Remerciements.....	I
Liste des symboles et des abréviations.....	II
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	VI
Introduction générale.....	1
<b>Première partie : Bibliographique</b>	
<b>Chapitre I : Développement des steppes algériennes: contraintes, atouts et perspectives de développement.....</b>	<b>8</b>
1.1 Caractérisation écologique et socioéconomique des hautes plaines steppiques.....	9
1.1.1 Présentation des régions steppiques.....	12
1.1.1.1 Climat.....	13
1.1.1.2 Le sol.....	15
1.1.1.3 Distribution des sels.....	17
1.1.1.4 Hydrologie et hydrogéologie.....	18
1.1.2 Les ressources pastorales des parcours steppiques et présahariens.....	18
1.1.3 Données socio-économiques.....	21
1.1.4 Les différents types d'études menées sur la steppe.....	23
1.2 Problématiques des steppes algériennes.....	24
1.2.1 La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte.....	25
1.2.1.1 La sécheresse.....	26
1.2.1.2 La pluviosité.....	28
1.2.1.3 L'érosion hydrique.....	32
1.2.1.4 L'érosion éolienne.....	33
1.2.2 Facteurs anthropozoïques.....	34
1.2.2.1 Evolution de la population steppique.....	36
1.2.2.2 La densité du cheptel steppique et surpâturage.....	37
1.2.2.3 Défrichement des parcours et pratiques culturelles.....	41
1.2.2.4 L'éradication des plantes ligneuses.....	41
1.2.2.5 Régime juridique des terres.....	41
1.2.3 Parcours steppiques : Etat des lieux.....	42
1.2.4 Les coûts économiques de la désertification.....	43
1.2.4.1 Évaluation des coûts économiques.....	44
1.2.5 Action de lutte contre la désertification.....	44
1.2.5.1 Évaluation et suivi de la désertification.....	45
1.2.5.2 Les indicateurs.....	46
1.2.5.3 Les observatoires.....	46
1.2.5.4 Les outils spatiaux pour le suivi de la désertification.....	48
1.2.5.5 Dégradation des terres et changements climatiques.....	48
1.2.6 Principales actions menées dans les hautes plaines steppiques.....	49
1.2.6.1 Le Barrage vert.....	49
1.2.6.2 Création de coopératives pastorales.....	50
1.2.7 Le dossier steppe.....	51
1.2.7.1 Le programme national de mise en valeur.....	52
1.2.7.2 Principales projets pastorales réalisés en milieu steppique.....	52
1.2.7.3 Étude de la carte nationale de sensibilité à la désertification.....	53
1.2.7.4 Travaux d'inventaire des ressources naturelles.....	54
1.2.7.5 Autres études dans le milieu steppique.....	54
1.3 Cadre institutionnel de la lutte contre la désertification en Algérie.....	55
1.3.1 Convention des nations unies sur la lutte contre la désertification.....	55
1.3.2 Les regroupements régionaux.....	57
1.3.3 Cadre institutionnel régional et local.....	58
1.3.4 Les plans d'actions nationaux, sous régionaux et régionaux.....	58
1.3.5 Profil institutionnel.....	59

1.3.6	Stratégies et priorités établies dans le cadre des plans et politiques de développement durable.	59
1.3.6.1	Stratégies et priorités établies.....	60
1.3.6.2	Plans et politiques établis.....	61
1.3.7	Mesures institutionnelles et leurs mécanismes.....	61
1.3.7.1	Les organes d'intermédiation.....	61
1.3.7.2	Principales mesures financières nationales relatives au développement durable.....	63
1.3.8	Historique des politiques et actions menées en Algérie dans la lutte contre la désertification...	64
1.3.9	Échecs des principales stratégies mises en œuvre dans la zone steppique.....	66
1.3.9.1	Sur le plan technique.....	66
1.3.9.2	Sur le plan socio-économique.....	67
1.3.9.3	Sur le plan recherche scientifique.....	68

## **Chapitre II : Apport de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques SIG à l'aménagement des bassins versants.....70**

2.1	Introduction.....	71
2.2	Progrès récents des applications de la télédétection a l'aménagement des bassins versants.....	72
2.2.1	Analyse de l'utilisation des terres du point de vue hydrologique.....	72
2.2.2	Caractéristiques physiographiques.....	73
2.2.3	Modèles de bassins versants.....	74
2.3	Système de collecte des données.....	76
2.4	La télédétection un potentiel à développer.....	76
2.5	Notion fondamentale sur la télédétection .....	77
2.5.1	Définition.....	77
2.5.2	Processus de télédétection.....	78
2.5.3	Apport de la télédétection.....	79
2.5.4	Les données de télédétection.....	79
2.6	Principes physiques de la télédétection.....	79
2.6.1	Le rayonnement électromagnétique (REM).....	79
2.6.2	Interaction rayonnement électromagnétique et la matière.....	81
2.6.3	Production de REM.....	82
2.7	Éléments de base de la télédétection.....	83
2.7.1	Éléments de radiométrie.....	83
2.7.2	Réflectance spectrale de la végétation, du sol et de l'eau.....	84
2.7.3	Les différents types de résolution.....	85
2.7.4	Adéquation entre type de capteur et échelle de résolution géographique.....	85
2.8	Traitements des données de télédétection.....	86
2.9	Prétraitement.....	86
2.9.1	Corrections radiométriques.....	86
2.9.2	Corrections géométriques.....	87
2.9.3	Géoréférencement de l'image.....	87
2.10	Traitement.....	87
2.10.1	Rehaussement de l'image.....	87
2.10.2	Composition colorée.....	88
2.10.3	Méthodes d'analyse numérique d'image (Les transformations d'images).....	89
2.10.4	Statistiques spatiales et Analyse en Composantes Principales (ACP).....	89
2.10.5	Classification de l'image satellitaire.....	89
2.10.6	Les notions de texture et de structure.....	91
2.10.7	Synthèse des néo-canaux.....	91
2.11	Caractéristiques spectrales des couverts végétaux.....	82
2.11.1	Les différents indices de végétation utilisés en télédétection.....	92
2.11.2	Comportement spectral du sol.....	93
2.11.3	Les indices prenant en compte l'influence des sols.....	93
2.11.4	L'indice de brillance.....	95
2.12	Notion de changement de la végétation (CRTS, 2004).....	95
2.12.1	Fluctuations.....	95
2.12.2	Successions.....	95
2.13	Les indicateurs de suivi de la désertification.....	96

2.14	Programme MEDALUS.....	96
2.15	Introduction aux Systèmes d'Information Géographique «SIG».....	98
2.15.1	ArcGIS 9.2.....	99
2.15.1.1	ArcGIS Desktop.....	99
2.15.1.2	Les deux grands types de donnée géographique.....	100
2.15.1.3	Données géographiques et tables associées.....	201
2.15.2	ModelBuilder.....	201

## Deuxième partie : **Expérimentation**

### **Chapitre III : Caractéristiques générales de la région d'étude..... 104**

3.1	Localisation de la zone d'étude.....	105
3.2	Le climat.....	106
3.2.1	La pluviométrie.....	107
3.2.2	Régime saisonnier.....	108
3.2.3	La température.....	109
3.2.3.1	Température moyenne mensuelle.....	110
3.2.3.2	Les températures minimales.....	110
3.2.3.3	Les températures maximales.....	111
3.2.4	Humidité relative de l'air.....	113
3.2.5	L'insolation et rayonnement solaire globale.....	114
3.2.6	Les vents.....	115
3.2.7	L'évapotranspiration.....	116
3.2.7.1	Bilan d'énergie.....	117
3.2.7.2	Formule générale de PENMAN-MONTEITH.....	117
3.2.7.3	Formule horaire de PENMAN-MONTEITH.....	119
3.2.7.4	Formule de Penman-Monteith pour le calcul de l'ETP journalier.....	120
3.2.7.5	Formule mensuelle.....	121
3.2.8	Le bioclimat.....	122
3.2.8.1	Les indices climatiques.....	122
3.2.8.2	Diagramme Ombrothermique.....	123
3.2.8.3	Indice d'aridité.....	123
3.2.8.4	Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	124
3.2.9	Carte bioclimatique du sous bassin versant Oued-Touil Aval.....	126
3.3	Le contexte géo-structurel.....	129
3.3.1	Géologie.....	129
3.3.2	Géomorphologie.....	130
3.3.3	Les sols.....	132
3.3.3.1	Etudes précédentes portant sur les sols de la région d'étude.....	135
3.3.3.2	Carte pédologique du sous bassin versant Oued-Touil Aval.....	135
3.4	Végétation.....	135
3.4.1	Histoire.....	136
3.4.2	Situation présente.....	137
3.4.3	L'Association dominée de <i>Artemisia herba-alba</i> .....	137
3.4.4	L'Association dominée de <i>Stipa tenacissima</i> .....	138
3.4.5	L'Association dominée de <i>Lygeum spartum</i> .....	138
3.4.6	Les Associations dominées des Halophytes.....	139
3.4.7	Relation végétation-sol.....	139
3.5	Ressources en eau.....	142
3.5.1	Considérations générales.....	142
3.5.2	Evaluation des ressources en eaux souterraines.....	143
3.5.3	Différentes horizons aquifères.....	143
3.5.3.1	L'aquifère à nappe libre du Plio-Quaternaire.....	145
3.5.3.2	Les aquifères à nappes profondes.....	145
3.5.3.2.	La nappe du Crétacé inférieur.....	145
3.5.3.2.	La nappe du Jurassique supérieur.....	146
3.5.4	Piézométrie.....	147

3.5.5	Recharges des aquifères.....	147
3.5.6	Stockage.....	148
3.5.7	Critères.....	148
3.5.8	Capacité d'exploitation.....	148
3.5.9	Qualité de l'eau.....	149
3.5.10	Considérations générales concernant l'eau de surface.....	150
3.5.11	Les caractéristiques du captage des eaux.....	150
3.5.12	Collecte des eaux de surface.....	153

**Chapitre IV : Possibilités d'exploitation des énergies renouvelables dans les steppes algériennes le cas du sous bassin versant Oued-Touil Aval.....154**

4.1	Potentiel des Energies Renouvelables en Algérie.....	155
4.2	L'étude du Vent et de l'Energie éolienne.....	156
4.2.1	Sélection de la climatologie régionale du vent.....	157
4.3	Détermination du potentiel éolien de la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala.....	159
4.3.1	Climatologie régionale du vent à la station météorologique de Ksar-Chellala.....	159
4.3.2	Identification de la station.....	160
4.4	Statistiques des données brutes.....	161
4.4.1	Distribution des mesures de vent.....	161
4.4.2	Variation journalière et annuelle de la vitesse du vent.....	162
4.4.3	Classification de la rugosité du terrain de la station météorologique de Ksar-Chellala.....	162
4.4.4	Inventaire des obstacles.....	164
4.5	Tableaux climatologiques.....	165
4.6	Energie Solaire.....	167

**Chapitre V : Cartographie diachroniques des changements dynamiques du sous bassin versant Oued-Touil-Aval à l'aide des images TM et OLI\_TIRS de Landsat.....169**

5.1	Introduction.....	170
5.2	Méthodologie.....	170
5.3	Choix des images satellites.....	171
5.3.1	Inventaire des Images Landsat.....	171
5.4	Correction radiométrique et atmosphérique.....	173
5.4.1	Prétraitements des images Landsat.....	174
5.4.2	Traitement des images Landsat.....	176
5.4.3	Interprétation des cartes d'occupation et d'utilisation de sol.....	178

**Chapitre VI : Classification automatique des sols par télédétection : Classification non-supervisé des sols du sous bassin versant Oued-Touil-Aval.....184**

6.1	Introduction.....	185
6.2	Etudes précédentes portant sur les sols de la région d'étude.....	185
6.3	Réalisation d'une Cartographie des sols de la région d'étude.....	186
6.3.1	Identification des classes utiles.....	189
6.3.2	Données et méthodes.....	189
6.3.3	Le référentiel cartographique.....	191
6.4	Prétraitements des images Landsat.....	191
6.5	Classifications non-supervisées.....	193
6.5.1	Détermination du nombre de classes.....	193
6.6	Sol et aptitude.....	194
6.6.1	Classe des sols minéraux bruts.....	195
6.6.1.1	Sols minéraux bruts d'érosion.....	195
6.6.1.2	Sols minéraux bruts d'apport alluvial modaux.....	195
6.6.1.3	Sols minéraux bruts d'apport éolien modaux.....	195
6.6.2	Classe des sols peu évolués.....	195
6.6.2.1	Sols peu évolués d'érosion.....	195
6.6.2.2	Sols peu évolués d'apport alluvial modaux.....	196

6.6.2.3	Sols peu évolués d'apport alluvial vertiques.....	196
6.6.2.4	Sols peu évolués d'apport alluvial halomorphes.....	197
6.6.2.5	Sols peu évolués d'apport alluvial noircis.....	197
6.6.3	Classe des sols calcimagnésiques.....	197
6.6.3.1	Sols xériques à accumulation calcaire.....	198
6.6.4	Classe des sols halomorphes.....	198

### **Troisième partie : Schémas d'Aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral du sous bassin versant Oued-Touil-Aval**

#### **Chapitre VII : Application de l'Approche MEDALUS pour l'Evaluation de la Sensibilité à la Désertification du Bassin Versant d'Oued-Touil-Aval.....201**

7.1	Introduction.....	202
7.2	Modélisation spatiale.....	203
7.3	Méthode d'évaluation de la désertification utilisée.....	204
7.4	Methodologie adoptée pour l'évaluation du risque de la désertification dans le sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval.....	204
7.4.1	Elaboration de la carte de l'Indice de Sensibilité à la désertification.....	205
7.4.2	Carte de l'Indice de la qualité de la végétation.....	207
7.4.3	Carte de l'Indice de la qualité des sols.....	210
7.4.4	Traitement des Modèles Numériques de Terrain.....	210
7.4.5	Carte de l'Indice de la qualité du climat.....	216
7.4.6	Carte de l'Indice de la qualité du système d'aménagement.....	218
7.5	Résultats et Discussions.....	219
7.6	Conclusion.....	221

#### **Chapitre VIII : Schémas d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral du sous bassin versant.....223**

8.1	Introduction.....	224
8.2	Elaboration de la carte d'aménagements hydro-agro-sylvo-pastoral.....	224
8.2.1	Carte d'aménagements hydro-agro-sylvo-pastoral.....	225
8.2.2	Carte du réseau hydrographique.....	227
8.2.3	Carte des ressources en eau souterraine.....	227
8.2.4	Carte des villes et du réseau routier.....	229
8.2.5	Exploitation de l'énergie éolienne et solaire.....	230
8.2.6	Lutte contre l'érosion hydrique.....	230
	Conclusion.....	233

#### **Chapitre IX Sol et les possibilités de leur mise en valeur culturale par irrigation dans les limites des périmètres irrigués du sous bassin versant Oued-Touil-Aval.....235**

9.1	Introduction.....	236
9.2	Possibilités de mise en valeur des sols pas irrigation.....	237
9.2.1	Aptitude culturale des différents sols.....	237
9.2.2	Etat de la qualité des eaux d'irrigation des périmètres.....	239
9.3	Lessivages des sols salins.....	245
9.4	Nécessité de l'installation d'un réseau de drainage.....	246
9.5	Choix du système d'irrigation et pilotage de l'irrigation.....	247
9.6	La bonification des sols fortement alcalins.....	248
9.7	L'apport des engrais et les particularités des techniques culturales des fourrages.....	248
9.8	Nécessité de l'installation des brise-vent.....	251
9.9	Détermination des besoins en eau de quelques cultures au niveau des périmètres.....	251
9.9.1	Disponibilité et Accès à l'eau.....	252
9.9.2	Etude des besoins en eau des cultures.....	252
9.11	Calcul des besoins en eau des cultures et besoins d'irrigation.....	253
9.11.1	Collecte des données.....	253

9.12	Besoins en eau d'irrigation des différentes cultures sélectionnées.....	257
	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>263</b>
	<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>272</b>
	<b>Annexe.....</b>	<b>284</b>

**Résumé :** Ce travail se propose pour objectif principal l'esquisse d'un schéma d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral de la région du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval, cette région qui fait partie des steppes algériennes. Ce schéma d'aménagement a été projeté dans le contexte de la lutte contre la désertification. Il est basé essentiellement sur l'élaboration de la carte d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral, alors que cette dernière carte d'aménagement est basée principalement sur l'élaboration de la carte de synthèse de sensibilité à la désertification, cette carte synthèse elle-même est le résultat de croisement de 8 cartes : Carte lithologique ; Carte d'occupation du sol ; Carte des isohyètes ; Carte des étages bioclimatiques ; Carte de l'humidité moyenne annuelle disponible du sol ; Carte des zones aménagées ; Carte des classes des pentes ; Carte des expositions. Ces couches thématiques, qui sont issues de plusieurs sources, sont transformées en format numérique ce qui nous a conduit à la constitution d'une base de données géomatique détaillée de cette région et qui va servir comme outils d'aide à la décision aux différents service et/ou organisme chargé de la gestion de cette espace steppique. Le modèle qui nous a permis de croiser ces couches thématiques est le *modelBuilder* sous environnement ArcGIS. Donc, il s'agit d'un travail original entamé dans cette région, il est axé sur l'évaluation spatiale et quantitative de la sensibilité à la désertification de la région d'étude. L'élaboration de cette carte est basée sur l'approche MEDALUS. Cette approche est concrétisée par l'élaboration d'un modèle régional de calcul géo-spatiale des niveaux de sensibilité à la désertification et qui a été développé en utilisant les outils SIG et télédétection. Il est donc impérativement primordial d'évaluer spatialement les effets de la désertification pour faire face à ce phénomène et pouvoir proposer les meilleures stratégies de lutte, de conservation et d'aménagement de cette espace. Ainsi l'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification nous a menés à constater quatre aspects bien distincts : les zones peu sensibles ; les zones potentiellement sensibles ; les zones fragiles ; les zones critiques, en conséquence pour chaque zone les interventions de gestion peuvent être précisément ciblées. Néanmoins, les zones critiques nécessitent une attention particulière à cause de l'état de dégradation avancé du sol, donc pour protéger ces zones des dégâts causés par la désertification, il faut intervenir d'une façon urgente. En outre l'étude diachroniques des changements dynamiques d'occupation et d'*utilisation du sol* de ce sous bassin versant et à titre indicatif pour les deux années d'étude (2007 et 2014) et si on prend uniquement les statistiques des parcours en particulier les parcours dégradés et défrichés surtout par les labours illicites, on a constaté, dans l'espace de sept (7) ans, on est passé de 27% à 52% des parcours steppiques de cette région qui sont dégradés (désertifiés), l'équivalent de 89037 ha et qui représente 50% de la superficie totale du sous bassin. Pour compléter l'analyse du schéma d'aménagement, il absolument nécessaire d'utiliser les cartes suivantes : Carte du réseau hydrographique ; Carte des ressources en eau souterraine ; Carte des villes et des routes.

Les objectifs spécifiques qui découlent de cette thèse est l'élaboration d'une carte pédologique ; l'étude de la disponibilité des énergies renouvelables ; la détermination des besoins en eau d'irrigation des cultures fourragères répondus dans cette région.

Alors la réalisation d'une carte pédologique a contribué aussi à l'achèvement du schéma d'aménagement. Cependant, la connaissance des sols est indispensable à la gestion des territoires, tant au niveau d'une parcelle agricole qu'au niveau paysagique. Donc, cette carte pédologique a été réalisée par le biais de l'utilisation des techniques de la télédétection (classification non-supervisée) et SIG, on se basant sur l'étude faite par le pédologue Pouget en 1973 dans les limites nord-ouest de notre région d'étude en plus d'une image satellite LANDSAT5-TM choisie et qui correspondant au 11 septembre 2011, cette image nous a permis de mieux apprécier les différents types de sols.

Vu l'immense territoire des régions steppiques (environ 30 millions d'hectares), l'exploitation des énergies renouvelables par le biais des systèmes de conversion est plus intéressante dans le cas où on se refuse d'installer un groupe électrogène ou une motopompe, pour mobiliser l'eau à des fins de production agricole, on peut confirmer que la région de Oued-Touil/Ksar-Chellala renferme un potentiel éolien et solaire très encourageant pour son exploitation. Les résultats obtenus confirment bien l'importance et la disponibilité de ce potentiel énergétique.

La production des cultures agricoles par irrigation au niveau des sols des Hauts Plateaux n'est possible qu'à condition de respecter la réalisation d'un complexe des opérations de bonification. Alors que la superficie des classes des sols aptes à l'irrigation est estimée à 26933,2 ha soit 15% de la superficie total du sous bassin. L'exploitation rationnelle de cette superficie peut minimiser la charge sur les parcours steppiques. En conséquence, les besoins en eau d'irrigation totale, il faut noter que le système d'irrigation préconisé est l'aspersion, des cultures fourragères (sélectionnées) cultivées sur des sols bruns calcaire, ces sols qui sont très répondus dans les régions steppiques, sont pour :

- L'orge : varient de 3497.6 à 3951.8 m<sup>3</sup>/ha ;
- La luzerne (première coupe) : varient de 9318.5 à 10528.7 m<sup>3</sup>/ha ;
- La vesce-avoine : varient de 3980.7 à 5126.3 m<sup>3</sup>/ha.

**Mots clés : Steppe, aménagement, désertification, MEDALUS, télédétection & SIG, bas de données, irrigation**

**ملخص:** يتلخص هذا العمل في هدف رئيسي، يتمثل في رسم مخطط التهيئة المائية و الزراعة والغابية والرعية في منطقة الحوض الإنداري لواد الطويل الامامي، وتعتبر هذه المنطقة جزء من السهوب الجزائرية. وقد تم تصميم خطة تهيئة هذه المنطقة في سياق مكافحة التصحر. ويستند هذا المخطط في المقام الأول على انجاز خارطة التهيئة المائية و الزراعة والغابية والرعية، بينما تستند هذه الخارطة السالف ذكرها على تصميم خارطة حساسية التصحر، بدورها هذه الاخيرة هي عبارة عن تقاطع 8 خارطات : الخارطة الصخرية ، خارطة استخدام الأراضي ، خارطة التساقط ، الخارطة البيو-المناخية ، خارطة المتوسط السنوي لرطوبة التربة المتاحة؛ خريطة المناطق المهيئة. خارطة المنحدرات ، خارطة الوجيهات. يتم تحويل هذه الخارطات، والتي هي مستمدة من عدة مصادر، إلى خارطة ذات شكل رقمي، مما أدى بنا إلى إنشاء قاعدة بيانات نظام معلومات جغرافي مفصلة لهذه المنطقة، والتي من شأنها أن تكون بمثابة أدوات لتساعد لاتخاذ قرارات لمختلف المصالح أو هيئات مسؤولة عن إدارة هذه المنطقة السهبية.

النموذج الذي سمح لنا بتقاطع هذه الخارطات هو ModelBuilder تحت نظام ArcGIS. بالمحصلة يعتبر هذا العمل أولي في هذه المنطقة، لأنه يركز على تقييم الفضائي و الكيفي لظاهرة حساسية التصحر لدراسة هذه المنطقة. وتستند خارطة حساسية التصحر على نهج MEDALUS.

ويتجسد هذا النهج في تطوير نموذج إقليمي لحساب الجغرافي لمستويات حساسية التصحر، وقد تم تطوير هذا النموذج باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وأدوات الاستشعار عن بعد.

ولذلك فمن الضروري للغاية تقييم أثار التصحر المكاني وهذا لأجل مجابهة هذه الظاهرة واقتراح أفضل الاستراتيجيات لمكافحة التصحر وحفظ وتنمية هذه المنطقة. وكنتيجة لإعداد خارطة حساسية التصحر، تحصلنا على أربعة مظاهر مختلفة : المناطق الأقل حساسية ، المناطق المعرضة للتصحر، المناطق الهشة، المناطق الحرجة ، وكنتيجة لهذا التقسيم نستطيع أن نرسم خطة تهيئة تدخل بطريقة محددة لكل منطقة.

على الأقل المناطق الحرجة تتطلب اهتماما خاصا نظرا لحالة تدهور المتقدم للتربة، وبالتالي لحماية هذه المناطق من الأضرار الناجمة عن التصحر يجب أن تأخذ بعين الاعتبار بصورة عاجلة.

اضافة الى كل ما سبق نجد ان دراسة مقارنة التغيرات الديناميكية لاستغلال واستخدام الأراضي في هذه المنطقة وهذ لسنتي (2007 و 2014)، وإذا أخذنا فقط سوى إحصاءات المراعي المتدهورة والمنزوعة الغطاء النباتي خاصة عن طريق الحرث العشوائي، نستطيع أن نستنتج في غضون سبعة (7) سنوات، أن نسبة تدهور المراعي السهبية (المراعي المتصحرة) لهذه المنطقة قد انتقل من 27٪ إلى 52٪ أي ما يعادل 89037 هكتار وتمثل هذه المساحة الشاسعة حوالي 50٪ من المساحة الكلية للحوض الإنداري لواد الطويل.

لاستكمال تحليل خطة التنمية لهذه المنطقة، أنه من الضروري على الاطلاق لاستخدام الخارطات التالية: خارطة الشبكة الهيدرولوجية. خارطة موارد المياه الجوفية؛ خارطة المدن والطرق.

الأهداف الثنائية الناجمة عن هذه الأطروحة هو انجاز خارطة التربة ؛ دراسة توافر الطاقات المتجددة؛ حساب إحتياجات الماء لري الأعلاف المشهورة في هذه المنطقة.

ان انجاز خارطة التربة تساهم أيضا في إنجاز مخطط التنمية، لأن معرفة التربة ضرورية لإدارة الأراضي، سواء على مستوى قطع الأراضي أو على مستوى كل المنطقة.

أذاً ان انجاز خارطة التربة قد اعتمد على استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (تصنيف غير خاضعة للرقابة) ونظم المعلومات الجغرافية، و هذا بناءً على دراسة قام بها عالم التربة بوجيه في عام 1973 في حدود شمال غرب هذه المنطقة بالإضافة إلى تحليل صورة القمر الصناعي Landsat5 TM- الموافقة لـ 11 سبتمبر 2011، هذه الصورة سمحت لنا أن نميز جل أنواع التربة المختلفة.

نظرا لمساحة شاسعة أراضي المناطق السهبية (حوالي 30 مليون هكتار)، ان استغلال الطاقات المتجددة من خلال أنظمة التحويل الطاقة، أكثر إثارة للاهتمام إذا رفضنا استخدام مولد كهرباء أو مضخة تشتغل بالمازوت، وهذا لأجل شحذ المياه للإنتاج الفلاحي، يمكننا أن نؤكد أن منطقة واد تويل / قصر الشلالة تحتوي على طاقة رياح و طاقة شمسية جد مشجعة لأجل استغلالها، والنتائج التي تحصلنا عليها تؤكد على أهمية وجود هذه الطاقة الكامنة.

ان إنتاج محاصيل الفلاحية عن طريق الري على مستوى ترب الهضاب العليا ممكن، شريطة اتباع و تحقيق مجموعة معقدة من العمليات الضرورية. في حين تشير التقديرات إلى أن مساحة التربة المناسبة للري لهذه المنطقة هي في حدود 26933.2 هكتار أي 15% من المساحة الكلية للحوض الإنحداري. ان الاستغلال العقلاني لترب هذه المنطقة يمكن أن تقلل من الاستغلال الغير عقلاني للمراعي السهبية. ونتيجة لذلك، بلغ مجموع احتياجات مياه الري - وتجدر الإشارة إلى أن نظام الري الموصى به هو الري بالرش- للنباتات العلفية (المختارة) في التربة الكلسية والبنية، هذه الترب جد شائعة في المناطق السهبية هي بالنسبة لـ:

• الشعير : تتراوح بين 3497,6 و 3951,8 م<sup>3</sup> / هكتار.

• البرسيم (قص أول) : تتراوح 9318,5 و 10528,7 م<sup>3</sup> / هكتار.

• البيقية-الشوفان : تتراوح 3980,7 و 5126,3 م<sup>3</sup> / هكتار.

**الكلمات الرئيسية : السهوب، التهيئة، التصحر،MEDALUS، الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية، قاعدة بيانات، الري**

**Abstract:** The aim of this work is to outline a hydro-agro-sylvo-pastoral management scheme for the Oued-Touil-Aval sub-basin region, which is part of the Algerian steppes. This planning scheme has been planned in the context of combating desertification. It is based mainly on the development of the hydro-agro-sylvo-pastoral management map, whereas this latter map is based mainly on the development of the map of synthesis of sensitivity to desertification, this map synthesis itself is the result of crossing 8 maps: Lithological map; Land use map; Map of isohyets; Map of bioclimatic floors; Map of available annual soil moisture; Map of developed areas; Slope class map; Aspects map.

These thematic layers, which come from several sources, are transformed into a digital format, which led us to the creation of a detailed geomatics database of this region and which will serve as decision-making tools for the different departments and/or body responsible for managing this steppe area. The model that allowed us to cross these thematic layers is the modelBuilder under ArcGIS environment.

So this is an original work started in this region, it focuses on the spatial and quantitative evaluation of the sensitivity to desertification of the study area. The development of this map is based on the MEDALUS approach. This approach is concretized by the development of a regional model of geo-spatial computation of levels of sensitivity to desertification and which has been developed using GIS and remote sensing tools. It is therefore imperative to assess spatially the effects of desertification in order to face this phenomenon and to propose the best strategies for the control, conservation and management of this area.

Thus, the elaboration of the map of sensitivity to desertification has led us to note four very distinct aspects: Areas with little sensitivity; potentially sensitive areas; Fragile areas; The critical areas, consequently for each zone management interventions can be precisely targeted. Nevertheless, critical areas need special attention because of the state of advanced soil degradation, so to protect these areas from the damage caused by desertification, urgent action is needed. In addition, the diachronic study of the dynamic changes for land-use/land cover of this sub-catchment and as an indication for the two years of study (2007 and 2014) In the course of seven (7) years, there has been an increase from 27% to 52% of the steppe zones of this region which are degraded, equivalent to 89037 ha and which represents 50% of the total area of the sub-basin.

To complete the analysis of the management plan, it is absolutely necessary to use the following maps: Map of the hydrographic network; Map of groundwater resources; Map of cities and roads.

The specific objectives that result from this thesis are the development of a soil map; The study of the availability of renewable energies; The determination of the irrigation water requirements of the forage crops answered in this region.

So the completion of a soil map also contributed to the completion of the development plan. However, knowledge of soils is essential to the management of the territories, both at the level of an agricultural plot and at the landscape level. So, this soil map was carried out using the techniques of remote sensing (unsupervised classification) and GIS, based on the study carried out by the pedologist Pouget in 1973 in the north-western limits of Our region of study in addition to a satellite image LANDSAT5-TM chosen and which corresponds to September 11, 2011, this image allowed us to better appreciate the different types of soils.

Considering the immense territory of the steppe regions (about 30 million hectares), the exploitation of renewable energies through the conversion systems is more interesting in the case where one refuses to install a generator or a motor pump, To mobilize water for agricultural production, it can be confirmed that the Oued-Touil / Ksar-Chellala region has a very encouraging wind and solar potential for its exploitation. The results obtained confirm the importance and availability of this energy potential.

The production of agricultural crops by irrigation at the level of the soils of the Hauts Plateaux is only possible on condition of respecting the realization of a complex of bonus operations. Whereas the area of irrigated soil classes is estimated at 26933.2 ha, ie 15% of the total surface area of the sub-basin. The rational exploitation of this area can minimize the burden on the steppe routes. As a result, the total irrigation water requirements, it should be noted that the recommended irrigation system is sprinkling, (selected) forage crops grown on calcareous brown soils, which are highly responsive in the steppe regions , are for :

- Barley: range from 3497.6 to 3951.8 m<sup>3</sup> / ha;
- Alfalfa (first cut): range from 9318.5 to 10528.7 m<sup>3</sup> / ha;
- Vetch-oats: range from 3980.7 to 5126.3 m<sup>3</sup> / ha.

**Keywords: Steppe, development, desertification, MEDALUS, remote sensing & GIS, databases, irrigation**

## Liste des symboles et des abréviations

AARDES :	Association Algérienne et de Développement Economique et Social
ADEP :	Association du Développement de l'Elevage Pastoral
ANPE :	Agence Nationale de Protection de l'Environnement
ANRH :	Agence national des Ressources Hydrauliques
APFA :	Accession à la Propriété Foncière Agricole
AVHRR :	Advanced Very High Resolution Radiometer
CAPCS :	Coopératives Agricoles Polyvalentes Communales de Service
UNCCD :	Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification
CCD :	Convention sur la lutte Contre la Désertification
CCT :	Centre Canadien de Télédétection
CEPRA :	Coopératives d'Elevage de Production de la Révolution Agraire
CNIG :	Conseil National de l'Information Géographique
CNTS :	Centre National de Techniques Spatiales
CNUED :	Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement
CPCS :	Commission de Pédologie et de Cartographie des sols
CPR :	Chantiers Populaires de Reboisement
CRBT :	Centre de Recherches Biologiques Terrestres
CREAD :	Centre de Recherche de l'Economie Appliqué et développement
CRSTRA :	Centre de Recherche Scientifique et Technique des Régions Arides
CST :	Comité de la Science et de la Technologie
DCP :	Data Collection Platforms
DDE :	Direction de l'Environnement
DGE :	Direction Générale de l'Environnement
DGF :	Direction Général de Forêts
EROS :	Earth Resources Observations Systems
FAO :	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FIDA :	Le Fonds International de Développement Agricole
FLDDPS :	Fonds de Lutte contre la Désertification et de Développement du Pastoralisme et de la Steppe
FNRDA :	Fond National de Régulation et du Développement Agricole
GLASOD :	Global Assessment of Soil Degradation
GOES :	Geostationary Operational Environmental Satellite
HCDS :	Haut-Commissariat de Développement de la Steppe
HCEDD :	Le Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable
ICASALS :	International Center for Arid and Semi-Arid Land Studies
IGE :	Inspection Générale de l'Environnement
INRA :	Institut National de la Recherche Agronomique
INRF :	Institut National de la Recherche Forestière
INTRALAB :	Laboratoire de transfert de l'information
LANDSAT :	Programme américain de télédétection spatiale
LCD :	Lutte Contre la Désertification
MADR :	Ministère de l'Agriculture et le Développement Rural
MARA :	Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales
MATE :	Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement
MEDALUS :	Mediterranean Desertification and Land Use
MM :	Mécanisme Mondial
MS :	Matière Sèche
NASA :	National Aeronautics and Space Administration

NOAA :	National Oceanic and Atmospheric Administration
OCDE :	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OMM :	Organisation Météorologique Mondiale
ONG :	Organisation Non Gouvernemental
ONS :	Office National des Statistiques
OSS :	Observatoire du Sahara et du Sahel
PAN :	Plan d'Action National
PIB :	Produit Intérieur Brut
PNAE-DD :	Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable
PNDA :	Plan National de Développement Agricole
PNR :	Plan National de Reboisement
REM :	Rayonnement Electromagnétique
ROSELT :	Réseau d'Observatoire de Surveillance. Environnementale à Long Terme
SCET :	Société Centrale pour l'Équipement du Territoire
SIG :	Système d'Information Géographique
TIROS :	Television and Infra-Red Observation Satellite
UF :	Unité Fourragère
UNDP/FAO :	Programme des Nations Unies pour le développement
URBT :	Unité de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres
USGS :	United States Geological Survey
USTHB :	Université des Sciences et Technologie Houari Boumédiène
UTM :	Universal Transversal Mercator
VSD :	Veille Satellitaire de la Désertification
WSSD :	Sommet Mondial sur le Développement Durable
ZDIP :	Zone de Développement Intégré du Pastoralisme

### III

#### Liste des figures

- Figure 1.1 a : Délimitation des steppes algériennes.  
Figure 1.1 b : Image Google-Earth des hauts plateaux centre, l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien  
Figure 1.2 : Carte bioclimatique des steppes algériennes  
Figure 1.3 : Carte pluviométrique de l'Algérie. Source : (ANAT, 2004)  
Figure 1.4 : Évolution de la population steppique par rapport à la population totale.  
Figure 1.5 : Les stations d'observation des steppes algériennes (CRBT/URBT/USTHB)  
Figure 1.6 : Mise en évidence du lien existant entre les 3 types de sécheresse  
Figure 1.7 : Évolution de la pluviosité (1907-2003) dans le Sud Oranais  
Figure 1.8 : Evolution de la population  
Figure 1.9 : Evolution du cheptel  
Figure 1.10 : La réduction de la production nationale d'Alfa  
Figure 1.11 : Rotation d contiguïté entre les principaux groupements steppiques des hautes plaines Algériennes.  
Figure 1.12 : Carte nationale de sensibilité à la désertification  
Figure 2.1 : Réseau de drainage de la rivière Kickapoo  
Figure 2.2 : La réflexion et l'émission du rayonnement  
Figure 2.3 : Image satellite (CCT, 2005).  
Figure 2.4 : Représentation schématisée d'une onde électromagnétique  
Figure 2.5 : Le spectre électromagnétique  
Figure 2.6 : Absorption, réflexion et transmission  
Figure 2.7 : Représentation de la direction des repères spatiaux  
Figure 2.8 : Courbes typiques de la réflectance spectrale de la végétation du sol et de l'eau  
Figure 2.9 : Les quatre types de résolution des données LANDSAT  
Figure 2.10 : Principe de correction géométrique, corrections par points d'amers ou de contrôle.  
Figure 2.11 : Rehaussement des images: amélioration de la qualité visuelle de l'image afin de faciliter son interprétation.  
Figure 2.12 : Rehaussement de l'image (CCT, 2005).  
Figure 2.13 : Classification de l'image.  
Figure 2.14 : Classification supervisée  
Figure 2.15 : Les 3 éléments constituant le noyau d'un SIG complet  
Figure 2.16 : Présentation d'ArcGIS  
Figure 2.17 : Types de données géographiques : Vecteur versus Raster  
Figure 2.18 : Données géographiques et tables associées  
Figure 2.19 : Fenêtre ModelBuilder dans Arc-GIS  
Figure 2.20 : Exemple de modèle de géotraitement  
Figure 3.1 A : Bassin hydrographique du Cheliff-Zahrez  
Figure 3.2 : Cartes de localisation de la zone d'étude  
Figure 3.3 : Limites administratives des communes appartenant au sous bassin Oued-Touil-Aval  
Figure 3.4 : Pluie annuelle  
Figure 3.5 : Régime saisonnier de la région d'Oued-Touil / Ksar-chellala  
Figure 3.6 : Températures moyenne, maximale et minimale mensuelles  
Figure 3.7 : Climatologie des différentes températures  
Figure 3.8 : Variation de la moyenne journalière de l'Humidité Relative pour chaque mois  
Figure 3.9 : Courbe ombrothermique de la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala (1990-2013).  
Figure 3.10 : Moyenne mensuelle de l'ETP<sub>0</sub> et de la pluie de la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala  
Figure 3.11 : Climagramme pluviothermique d'Emberger  
Figure 3.12 : Carte bioclimatiques de l'Algérie steppique  
Figure 3.13 : Carte des étages bioclimatiques des steppes algériennes géo-référenciée et digitalisée

- Figure 3.14 : Carte des étages bioclimatiques du sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 3.15 : Schéma théorique montrant quelques unités géomorphologiques
- Figure 3.16 : Carte géologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 3.17 : Légende de la carte géologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 3.18 : Carte des altitudes du sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 3.19 : Carte du réseau hydrique drapé sur modèle numérique du terrain (résolution 30m) du sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 3.20 : Extrait de la carte hydrogéologique de la région d'étude
- Figure 3.21 : Log stratigraphique synthétique de la région d'étude
- Figure 3.22 : Potentiel d'exploitation de l'eau souterraine (aquifères profondes)
- Figure 3.23 : Carte hydrogéologique (potentiel d'exploitation de l'eau souterraine) du sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 4.1 : Energie éolienne disponible à 10 mètres
- Figure 4.2 : Rose des vents
- Figure 4.3 : Modèle numérique du terrain en trois dimensions de la région de Ksar-Chellala
- Figure 4.4 : Variation de la vitesse du vent moyenne brute selon les heures et les mois
- Figure 4.5 : Secteur Nord / anémomètre
- Figure 4.6 : Vue de dessus des obstacles qui entourent l'anémomètre
- Figure 4.7 : Vue de la face Est de la station météorologique de Ksar-chellala
- Figure 4.8 : Variation de l'ensoleillement dans le monde
- Figure 4.9 : Durée d'insolation moyenne en heures
- Figure 4.10 : Estimation de l'irradiation globale sur une surface horizontale
- Figure 5.1 : Organigramme de la méthodologie suivie pour l'étude de la dynamique de l'occupation et d'utilisation du sol pour le sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 5.2 : Fenêtre du module correction atmosphérique (Cas de l'image LandsatLT51960362007083MPS00)
- Figure 5.3 : Image avant (A) et après (B) la correction atmosphérique de la 1<sup>ère</sup> bande Landsat TM 2007 du sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 5.4 : Carte de végétation de 1983 de l'étude australienne
- Figure 5.5 : Image dans le visible du sous bassin versant Oued-Touil-Aval, Composition en couleur naturelle (bande 1,2,3 RVB)
- Figure 5.6 : Détection de changement d'occupation et d'utilisation de sol dans le sous bassin versant Oued-Touil-Aval (2007 et 2014)
- Figure 5.7 : Carte d'occupation et d'utilisation du sol du sous bassin versant Oued-Touil-Aval (année 2007)
- Figure 5.8 : Carte d'occupation et d'utilisation de sol du sous bassin versant Oued-Touil-Aval (2014)
- Figure 6.1 : Image satellite LANDSAT5 TM (canal B1) du 11/09/2011 (couvre plus de 50% du plateau de Sersou et tout le bassin versant Oued-Touil-Aval)
- Figure 6.2 : Association de la carte pédologique du plateau de Sersou (Feuille du Sersou) et le périmètre du sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 6.3 : Légende de la carte pédologique à 1/100.000 (feuille du sersou)
- Figure 6.4 : Image satellite LANDSAT5-TM
- Figure 6.5 : Passage de l'image brute « A » à l'image filtrée « B » (filtre Median 3 x 3) de la 1<sup>ère</sup> bande de la zone d'étude: sous bassin versant N°6 Oued-Touil-Aval
- Figure 6.6 : Passage de l'image filtrée « A » (filtre Median 3 x 3) à l'image corrigée des effets atmosphériques « B » de la 3<sup>ème</sup> bande de la zone d'étude: sous bassin versant Oued-TouilAval
- Figure 6.7 : Image du SBV Oued-Touil Aval après classification
- Figure 6.8 : Carte pédologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Figure 7.1 : Etapes de calcul de l'ISD selon l'approche MEDALUS

Figure 7.2 : Modelbuilder pour l'élaboration de la carte de désertification du sous bassin versant Oued-Touil-aval

Figure 7.3 : Carte géologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Figure 7.4 : Carte des classes lithologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Figure 7.5 : Carte des classes de l'humidité moyenne annuelle disponible du sol sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Figure 7.6 : Carte de l'humidité moyenne annuelle disponible du sol

Figure 7.7 : Carte de l'Indice de la qualité des sols IQV

Figure 7.8 : carte du MNT du sous bassin versant Oued-Touil-aval

Figure 7.9 : Carte des pentes du sous bassin versant Oued-Touil-aval

Figure 7.10 : Carte des expositions du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Figure 7.11 : Carte d'indice de la qualité du sol du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Figure 7.12 : Carte des isohyètes du sous bassin versant Oued-Touil Aval

Figure 7.13 : Carte des étages bioclimatiques du sous bassin versant Oued-Touil Aval

Figure 7.14 : La carte de l'indice de la qualité du climat du sous bassin versant Oued-Touil Aval

Figure 7.15 : Carte de l'Indice de la qualité du système d'aménagement

Figure 7.16 : Carte de sensibilité à la désertification du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Figure 8.1 : Carte des altitudes et du réseau hydrographique d'Oued-Touil-Aval

Figure 8.2 : Carte du potentiel d'exploitation de l'eau souterraine du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Figure 8.3 : Carte des routes et des communes du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Figure 8.4 : Carte du schéma d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastorale du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Figure 9.1 : schémas d'emplacement des périmètres irrigués

Figure 9.2 : Diagramme de Riverside des eaux d'irrigation des forages des trois périmètres

Figure 9.3 : Tolérance des cultures à la salinité du sol *CEe*

## Liste des tableaux

- Tableau 1.1 : Évolution de la population steppique par rapport à la population totale
- Tableau 1.1 : Evolution de la population de la steppe
- Tableau 1.2 : Effectif du cheptel en régions steppiques
- Tableau 1.3 : Effectifs du cheptel en équivalents-ovin et charges pastorales
- Tableau 1.4 : Evolution de la structure de l'occupation du sol de la steppe
- Tableau 1.5 : état des parcours steppiques en 2005
- Tableau 1.6 : Superficies affectées par la désertification
- Tableau 1.1 : Programmes et plans de 1962 à 1990
- Tableau 2.1: Relations entre couleurs et bandes spectrales pour les images couleurs et infrarouge
- Tableau 2.2 : Les indices de végétation les plus couramment utilisés
- Tableau 3.1: Le régime saisonnier de la zone d'étude
- Tableau 3.2 : Climatologie annuelle de la température
- Tableau 3.3 : Nombre de jours où la température sous abri est inférieure à 0°C et à -6°C
- Tableau 3.4: Nombre de jours de gelés
- Tableau 3.5 : Moyenne journalière de l'Humidité Relative
- Tableau 3.6 : Moyenne journalière de la Durée d'ensoleillement et du Rayonnement globale
- Tableau 3.7: Calcul de l'évapotranspiration potentiel  $ET_0$
- Tableau 3.8 : Zonage bioclimatique résultant de l'utilisation du rapport P/ETP
- Tableau 3.9 : Les étages bioclimatiques
- Tableau 3.10 : La relation entre le climat, le substratum géologique, le type de végétation et des sols
- Tableau 3.11 : Régions et structures relatives à la végétation de la zone d'étude
- Tableau 3.12 : Capacité d'exploitation de l'eau souterraine en aquifères profonds
- Tableau 3.13 : Moyennes de qualité de l'eau
- Tableau 4.1 : Statistiques des données du vent brut
- Tableau 4.2 : Rugosité du terrain qui entoure la station météorologique Ksar-chellala
- Tableau 4.3: Description des obstacles qui entourent l'anémomètre de la station météorologique
- Tableau 4.4 : Variation journalière et annuelle de la vitesse du vent
- Tableau 4.5 : Classe de rugosité "0"
- Tableau 4.6 : Classe de rugosité "1"
- Tableau 4.7 : Classe de rugosité "2"
- Tableau 4.8 : Classe de rugosité "3"
- Tableau 4.9 : les valeurs calculées de la vitesse moyenne et de la puissance totale moyenne du vent
- Tableau 5.1 : Scènes d'images Landsat disponibles couvrant le sous bassin versant Oued-Touil-aval
- Tableau 5.2 : Les bandes spectrales de l'instrument TM et OLI TIRS
- Tableau 5.3 : Caractéristiques d'occupation et d'utilisation de sol du sous bassin versant Oued-Touil-Aval (années : 2007 et 2014)
- Tableau 5.4 : Statistiques des parcours steppique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval (2007 et 2014)
- Tableau 5.5 : Caractéristiques du croisement des classes d'occupation et d'utilisation de sol dans le sous bassin versant Oued-Touil Moyen (2007 et 2011)
- Tableau 6.1 : Scène d'image Landsat7 disponibles couvrant le sous bassin versant Oued-Touil-Aval
- Tableau 6.2 : Thèmes détectés en mode non-supervisé
- Tableau 6.3 : Légende de la carte pédologique du Sous bassin versant Oued-Touil Aval
- Tableau 7.1 : Normes affectées aux différents indices utilisés
- Tableau 7.2 : Classes et indice de sensibilité à la désertification (ISD)

Tableau 7.3 : Superficies et normes des quatre classes de sensibilité à la désertification  
Tableau 8.1 : Capacité d'exploitation de l'eau souterraine en aquifères profonds  
Tableau 8.2 : Les principales techniques de lutte anti-érosive  
Tableau 9.1 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation  
Tableau 9.2 : Composition chimique des eaux d'irrigation des forages du périmètre P2  
Tableau 9.3: Composition chimique des eaux d'irrigation des forages du périmètre P1  
Tableau 9.4 : Composition chimique des eaux d'irrigation des forages du périmètre P3  
Tableau 9.5 : Tolérance des cultures à la salinité du sol CEe  
Tableau 9.6 : Récapitulatif des paramètres dont dépend le calcul des besoins en eau des cultures  
Tableau 9.7 : pluie efficace à 80 % de la pluie totale d'une année sèche  
Tableau 9.8 : Estimation du vent à 2 m  
Tableau 9.9 : Calcul de l'évapotranspiration de référence ( $ET_0$ ) de la station de Ksar-Chellala.  
Tableau 9.10 : Durée des stades phénologiques  
Tableau 9.11 : Valeurs du Coefficient culturale  $K_c$   
Tableau 9.12 : Composition chimique des eaux d'irrigation des forages choisis  
Tableau 9.13 : Caractéristique chimique des sols bruns calcaire Profile N° 1, P1  
Tableau 9.14 : Caractéristique chimique des sols bruns calcaire Profile N° 2, P2  
Tableau 9.15 : Besoins d'irrigation de l'Orge  
Tableau 9.16 : Besoins d'irrigation de la luzerne  
Tableau 9.17 : Besoins d'irrigation de la vesce-avoine

# Introduction Générale

### Introduction générale

Les problèmes d'aménagements et de développement des régions arides et semi-arides, constituent depuis plusieurs décennies l'une des principales préoccupations et un souci des pouvoirs publics en Algérie, (Azzouz, 2007).

S'il est vrai aujourd'hui, que presque tous les problèmes posés au niveau de cet espace sont connus et admis de tous, il n'en demeure pas moins que le cadre dans lequel doivent s'inscrire les solutions est à rechercher tant sur les plans juridique, réglementaire, institutionnel, socio-culturel et technico-économique... Aussi la connaissance approfondie des différents composantes constituant le milieu steppique (écologique, sociologique, économique, culturel...) par des études rigoureuses, détaillées et surtout applicables aux diversités et spécificités de cette région sont nécessaires pour élaborer « la base de données » à partir de laquelle non seulement tous les aspects de la problématique seront cernés mais aussi, permettre la projection des stratégies à moyen et long terme dans un contexte planifié (Nedjimi, 2006).

Par sa position géographique, entre les zones telliennes au nord et le Sahara au sud, et son étendue près de 30 millions d'ha (dont 20 millions c'est des parcours), la steppe algérienne est une zone naturelle tampon qui agit comme rempart contre l'avancée du désert vers le nord de l'Algérie (Le Houerou, 1985).

Cependant, les régions steppiques font parties de des régions arides. Selon (Le Houerou, Claudin, Pouget, 1977) les étages bioclimatiques des steppes algériennes s'étalent du semi-aride avec ces nuances qui caractérise quelques reliefs de ces régions à l'étage bioclimatique saharien avec ces nuances, spécifique à la partie sud des wilayates steppiques. En outre ces régions ont fait l'objet de nombreuses études tant sur le plan socioéconomique (Boukhobza, 1982), (Bedrani, 1994), (Khaldoun, 2004, et al), que sur le plan écologique, on peut citer entre autres, (Djebaili, 1978), (Djellouli, 1981), (Le Houerou, 1985), (Aidoud, 1989), (Nedjraoui, 2002), (Nedjraoui et Bedrani, 2008), (Hirche et al 2011), pour l'étude des sols -élément clé des études écologiques- des régions steppique on peut citer les travaux de (Halitim), 1988 et celles de (Dellal, 1994).

D'après les investigations faites par (Bensouiah, 2003) et (Nedjraoui, 2007), ils ont mis en évidence l'importance des régions steppiques, théoriquement ces régions jouent un rôle important dans l'économie nationale en tant que réservoir de viande ovine -sources de protéine animal- du pays, alors que sur le plan écologique, elles constituent un tampon entre l'Algérie côtière et l'Algérie saharienne dont elles limitent les influences climatiques négatives sur la première.

Les régions steppiques sont à tradition pastorale, la population est composée essentiellement de pasteurs-éleveurs, anciennement nomades pour la plupart, avec une forte tendance à la

sédentarisation aujourd'hui. La gestion irrationnelle des parcours, l'introduction de moyens et de techniques de développement inadaptés au milieu, le manque de concertations entre les différents acteurs du développement sont autant de facteurs qui ont contribué à la dégradation du milieu et des ressources naturelles et à la rupture des équilibres écologiques, et socioéconomiques (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Cependant, l'économie des régions steppiques est basée sur l'élevage extensif des ovins, ainsi que la culture sporadique de céréales en sec (Le Houérou, 2001). Le problème majeur auquel l'élevage fait face dans ces zones est la rareté et l'irrégularité des ressources alimentaires. Nonobstant que la production animale des ruminants dans les zones arides se caractérise par des crises périodiques dues à des disettes résultant de la sécheresse (Le Houérou, 2006), en conséquence les faibles rendements obtenus (2 à 5 qx/ha) sont loin de compenser la perte de sol qui en résulte et les nuisances générées (Le Houérou, 2002). Alors que l'importance des potentialités hydriques dans les régions steppiques varie d'une zone à un autre, le caractère en commun de celles-ci c'est qu'ils sont peu renouvelables et inégalement réparties. En outre et suite à l'exploitation anarchique de ces ressources en eau sont devenues très vulnérables. En outre, les programmes de développement de l'agriculture<sup>s</sup> notamment ceux de la gestion des périmètres irrigués ne peuvent jamais atteindre leurs objectifs sans prendre la mobilisation des ressources hydriques comme la principale action à soutenir et à résoudre ses problèmes existants par un plan de gestion global et professionnel.

Les ressources en terres cultivables ou pâturables dans le monde, et les techniques durables permettant de les exploiter sont à peine suffisantes pour nourrir convenablement toute l'humanité au XXI<sup>ème</sup> siècle (Mazoyer et Roudart, 2008). Or, le droit à l'alimentation est imprescriptible pour tous, et fait obligation à chaque Etat et à chaque gouvernement d'assurer la sécurité alimentaire de ses ressortissants, sans nuire à celle des autres. Ce droit contraint donc tout pays à tirer le meilleur parti possible de l'ensemble des terres cultivables et des pâturages dont il dispose, pour améliorer durablement les productions végétales et animales possibles sur son territoire, en utilisant, sans excès, toutes les techniques disponibles (Mazoyer, 2010).

Suite aux travaux de (Halitim, 1988), en général les sols des régions steppiques sont peu fertiles, peu profonds, trop calcaires ou trop gypseux, salés, pauvres en matière organique et à structure défavorable, les hautes plaines steppiques algériennes sont des régions à vocation essentiellement pastorale à l'exception de quelques géomorphologies qui présentent un bon sol et qui sont susceptibles d'être mises en valeur par des cultures qui sont normalement destinées à l'alimentation du cheptel ovin, on parle ici de l'agropastoralisme, ainsi l'écosystème des régions arides connaît un équilibre délicat, très fragile et une sensibilité à la dégradation et à la désertification. La mise en valeur des sols par irrigation dans ces régions, l'augmentation de la

productivité par unité de surface, leur conservation exige ici plus qu'ailleurs des études très détaillées. Alors que le sol est l'élément de l'environnement dont la destruction est souvent irréversible et qui entraîne les conséquences les plus graves à court et long terme. Chaque année des milliers d'hectares sont soustraits à une utilisation agro-pastorale par la désertification.

Suite aux rapports d'activité (FAO, 1997) le chapitre 14 a étalé la notion de l'agriculture et du développement rural durables (ARD) en 12 domaines d'activité, on peut se limiter à : l'amélioration des systèmes d'exploitation agricole; conservation et remise en état des terres; utilisation de l'eau pour la production alimentaire et le développement rural; systèmes durables de nutrition des plantes; diversification de l'énergie rurale. Ainsi, l'élément capitale, qu'il ne faut pas négliger, pour le développement des régions steppiques, c'est la disponibilité de l'énergie, ainsi l'«énergisation» - quantitative et qualitative - de la chaîne de production alimentaire, sur la base de sources diversifiées et d'une meilleure utilisation de l'énergie commerciale, est une des clés de la sécurité alimentaire.

En parallèle de ce qui a été avancé, la dégradation de l'environnement se manifeste avec acuité, notamment dans les zones steppiques. Ces zones, dont les ressources pastorales constituent la principale source de revenu pour ces habitants, sont en effet depuis plus de vingt ans soumises à une dégradation croissante qui touche essentiellement la ressource « parcours ». La superficie des parcours steppiques dégradés ou en voie de dégradation ne cesse d'augmenter, hypothéquant ainsi le revenu déjà faible des populations pastorales et encourageant une course effrénée pour la maîtrise de la ressource parcours en l'absence de règles juridiques claires et capables d'organiser la gestion et l'utilisation des parcours steppiques. La relation de type fragilité-marginalité qui marque le milieu naturel et l'environnement socio-économique de la steppe algérienne depuis plus d'une quarantaine d'années a obligé les pouvoirs publics à intervenir pour trouver des solutions adaptées aux problèmes de la steppe (Bensouiah, 2003). Alors, les écosystèmes steppiques arides, sont marqués par une grande diversité paysagère en relation avec une grande variabilité des facteurs écologiques.

En conséquence la multiplication des programmes d'aménagement dont la vision, ou l'approche, adaptée, n'a pas pris forme à ce jour (Azzouz, 2007). Selon (Hadeid, 2011), il a mis l'accent sur la politique de mise en valeur agricole en milieu steppique, qui a été lancée essentiellement depuis la promulgation de la Loi de l'APFA en 1983 jusqu'au PNDA en 2000. Cette politique, appliquée dans des zones aux compétences agro-pédologiques convenables (bas fond des vallées, *daiias*...), peut réussir facilement, alors que dans un espace steppique connu pour sa vocation pastorale, a rencontré plusieurs contraintes en particulier les problèmes d'ordre technique et juridique.

Dans le monde en développement, la planification et la gestion sont gravement entravées par un manque de formation, d'informations de base et de fonds. Toutefois, des progrès considérables sont faits dans ce domaine par un nombre croissant de pays, notamment dans le cadre des plans d'action nationaux pour l'environnement financés par la Banque mondiale. Rapports d'activité (FAO, action N°21, 1997).

Les auteurs suivants (Le Houérou, 1985 ; Aidoud, 1996 ; Bedrani, 1999), ont arrivés à un constat où la résultante des contraintes qui marque les régions steppique, c'est la désertification. La sécheresse traditionnellement considérée comme le principal élément induisant la rareté du couvert végétal n'est, en fin de compte, qu'un facteur secondaire. L'intervention de l'homme par les labours inconsidérés et illicite, l'arrachage de l'ossature du parcours et surtout la rétention d'une charge animale minière sur ce dernier, constituent les principales causes de destruction du couvert végétal (Azzouz, 2007).

Suite au rapport annuel du Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement en 2002 et qui a établi un bilan sur la dégradation des régions steppiques en Algérie : près de 500.000 hectares de terres en zones steppiques sont en voie de désertification, et plus de 7 millions d'hectares sont directement menacés par le même processus. En parallèle, Bensouiah en 2003 a tiré la sonnette d'alarme : La superficie des parcours dégradés, après avoir atteint 5 millions d'ha en 1985, s'est élevée à 7,5 millions d'ha en 1995, alors que les superficies palatables sont passées de 10 millions d'ha à 8,7 millions d'ha sur cette même période.

En conséquence sur ce qui a été avancé par (Halitim en 1988 et al), ont préconisé une stratégie d'exploitation rationnelle des zones arides où la recherche d'un équilibre entre productivité et protection des écosystèmes est justifié ici plus qu'ailleurs. Il devra se traduire par :

- Renforcer les connaissances de base et développer des systèmes d'information et de surveillance pour les zones sujettes à la sécheresse et à la désertification, y compris les aspects économiques et sociaux de ces écosystèmes;
- Lutter contre la dégradation des sols, notamment en intensifiant les activités de conservation des sols, de boisement et de reboisement;
- L'utilisation des ressources naturelles dans le cadre d'un aménagement agro-sylvo-pastoral.
- A l'aide d'indicateurs pédologiques et biologiques à différentes échelles, et en utilisant divers outils d'investigation et de représentation en particulier les systèmes d'information géographiques « SIG » et télédétection, il est essentiel de déterminer les stades de dégradation des écosystèmes, afin d'élaborer un programme d'intervention et de réhabilitation des zones dégradées et où le processus de désertification est réversible.

- Veiller à l'extension et à la durabilité des périmètres irrigués, par l'utilisation des procédés d'irrigation économique en se basant sur la détermination de besoins en eau des cultures adaptées dans ce milieu et par un suivi de la qualité des sols irrigués.
- Vu le recouvrement faible en matière de l'électrification rurale, il est temps d'adapter de nouveaux modèles énergétiques basés sur les énergies renouvelable.

Dans ce contexte, la télédétection spatiale, s'appuyant sur des mesures au sol et combinée aux Systèmes d'Information Géographique, apporte aujourd'hui une contribution décisive aux diverses questions qui se posent en matière d'environnement, de santé, d'aménagement du territoire, d'exploitation rationnelle des ressources naturelles ou de prévention contre les catastrophes naturelles. La mise en œuvre de ces technologies de façon autonome et continue est conditionnée par un effort soutenu d'information, de formation, de renforcement de capacités et d'adaptation aux conditions locales d'utilisation. A cet égard, le Sommet Mondial sur le Développement Durable (WSSD) a nettement mis l'accent sur l'utilisation des technologies spatiales pour améliorer les processus décisionnels dans différents domaines, afin de mettre un terme au sous-développement, particulièrement en Afrique. Cependant les modèles d'aménagement varient dans leur conception d'un sous bassin versant à un autre, l'application d'une approche ou autre, dans un système écologique bien particulier tel que le cas de cette région, requiert une vision intégrale. Cette approche nécessite donc, de prendre en considération tous les aspects : la compréhension du fonctionnement du système de production, le milieu physique et écologique.

En se basant sur l'approche (stratégie) recommandée par (Halitim et al), la présente étude a été menée dans le sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval/Ksar-Chellala, région à vocation agropastorale, assez représentative de la steppe algérienne. Donc, face à l'exploitation anarchique et irrationnelle des ressources naturelles qui entraîne la dégradation avancée de la région d'étude, et suite aux différentes études menées dans la steppe algérienne, l'objectif principal de cette thèse est donc, de consister en une réflexion relative à une approche d'aménagement intégré et durable dans cet espace qui tienne compte à la fois de ses contraintes et de ses potentialités. La consultation des recherches réalisées antérieurement dans la région d'Oued-Touil Aval / ksar-Chellala en particulier l'étude Russe et Australienne nous ont permis d'élaborer un schéma d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral dans le contexte de la lutte contre la désertification dans les régions steppiques.

### ***Plan de la thèse :***

Ce document est constitué de deux parties :

**La première partie «Partie bibliographique»** est composée de 2 chapitres.

**Le premiers chapitre intitulé** «Développement des steppes algériennes : contraintes, atouts et perspectives de développement» ce chapitre représentent une synthèse bibliographique sur les steppes algériennes tout en mettant en relief les problématiques de ces régions, ces chapitres exposent les enjeux en particulier la prise en charge détaillé du phénomène de la désertification en conséquence dégagé les objectifs de la thèse.

**Le deuxième chapitre** présente un aperçu plus ou moins détaillé sur l'apport de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques SIG à l'aménagement des bassins versants, ces éléments qui représentent les clés pour la lecture du reste du travail.

**La deuxième partie, c'est la partie expérimentale,** est composée de quatre chapitres :

**Le troisième chapitre** donne une description détaillé sur les caractéristiques du milieu physique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval.

**Le quatrième chapitre** est considéré comme un chapitre hors commun, il relate les possibilités d'exploitation des énergies renouvelables dans les steppes algériennes où on a traité le cas du sous bassin versant Oued-Touil-Aval, il s'agit dans ce chapitre de présenter mon modeste expérience dans ce domaine.

**Le cinquième chapitre** est consacré à l'analyse des changements détectés à l'échelle du bassin versant, en détaillant les dynamiques spatio-temporelles interannuelles d'indicateurs de l'occupation et d'utilisation des sols relatifs à la couverture végétale. L'objectif poursuivi dans ce chapitre est de mettre en évidence l'état de dégradation des sols de la région d'étude.

**Le sixième chapitre :** Il s'agit dans ce chapitre d'une première tentative pour réaliser une carte pédologique de la région d'étude où on a fait recours aux techniques de la télédétection et SIG.

**La troisième partie intitulé : Schémas d'Aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral du sous bassin versant Oued-Touil Aval. Elle est composée de trois chapitres :**

**Le septième chapitre :** Il est considéré comme le noyau central de cette thèse, donc il s'agit dans ce chapitre d'évaluer spatialement et quantitativement le degré de sensibilité à la désertification du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval (élaboration d'une carte de sensibilité à la désertification) en se basant sur l'approche MEDALUS, ce dernier c'est un modèle régional de calcul géo-spatiale des niveaux de sensibilité et qui a été développé en utilisant les outils SIG et télédétection. Autrement-dit la carte de sensibilité à la désertification représente l'assise principale pour esquisser la carte d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval.

**Le huitième chapitre:** Il représente l'objectif principale de cette thèse c'est-à-dire l'élaboration d'un schéma d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral du sous bassin versant Oued-Touil-Aval. Ce schéma d'aménagement est basé essentiellement sur l'élaboration de la carte d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral de ce sous bassin versant. Parmi les résultats de ce

chapitre est la conception d'une base de données géomatique détaillée de cette région qui va servir comme outils d'aide à la décision aux différents service et/ou organisme chargé de la gestion de cette espace steppique.

**Le neuvième chapitre :** C'est le résultat du schéma d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral. Suite à la localisation des zones aptes à l'irrigation dans la carte d'aménagement, on a essayé de voir quelles sont les possibilités de mise en valeur culturale par irrigation des sols de ces zones en particulier dans les limites des périmètres irrigués choisis du sous bassin versant Oued-Touil-Aval. La détermination des besoins en eau des cultures sélectionnées en particulier l'orge a fait l'objet d'une publication internationale, ci-joint, en annexe.

# **Chapitre I**

**Développement des steppes algériennes :  
Contraintes, atouts et perspectives de développement**

## **1.1 Caractérisation écologique et socioéconomique des hautes plaines steppiques**

Par sa position géographique, entre les zones telliennes au nord et le Sahara au sud, et son étendue près de 30 millions d'ha (dont 20 millions c'est des parcours), la steppe algérienne est une zone naturelle tampon qui agit comme rempart contre l'avancée du désert vers le nord de l'Algérie (Le Houerou, 1985).

Selon (Nedjraoui et Bédrani, 2008), la croissance démographique des zones steppiques est plus forte que celle enregistrée dans le reste du pays et a concerné aussi bien la population agglomérée que la population éparse.

Cette répartition inégale de la population entraîne de sérieux problèmes d'aménagement du territoire. Aussi, une répartition plus équilibrée est-elle nécessaire. Elle dicte la prise de dispositions pour l'encouragement d'un flux migratoire vers les espaces steppiques où les spécialistes de l'aménagement du territoire avaient même, un moment, envisagé la création d'une nouvelle capitale (Bouguezoul près de Djelfa). Or, le phénomène de désertisation entraîne l'exode en sens inverse aggravant l'accroissement anarchique des établissements humains et accentuant les risques de dégradation de l'environnement (Tarik ; Bouchetata et Arslan, 2005).

Outre son rôle capital dans l'équilibre écologique des différentes zones naturelles du pays, elle constitue, par ses richesses naturelles, le support de nombreuses activités économiques, à leur tête, l'élevage pastoral (source de la protéine animale) (Aidoud, 1996).

La relation de type fragilité-marginalité qui marque le milieu naturel et l'environnement socio-économique de la steppe algérienne depuis plus d'une quarantaine d'années a obligé les pouvoirs publics à intervenir pour trouver des solutions adaptées aux problèmes de la steppe, qui devait théoriquement jouer un rôle important dans l'économie nationale en tant que réservoir de viande ovine du pays (Bensouiah, 2003).

Depuis plusieurs décennies les ressources naturelles de l'espace steppique (sol, eau, végétation, climat) ont subis de sévères dégradations dues aux effets conjugués d'une pression humaine et animale croissante et d'une sécheresse aggravante sur ces écosystèmes (Nedjimi et Homida, 2006).

Cette steppe subit une dégradation dont le rythme et l'intensité s'accroissent de plus en plus, conduisant à une réduction du potentiel biologique et à une rupture des équilibres écologique et socio-économique (Nedjraoui, 2004).

En outre et Dans un contexte marqué par la mondialisation de l'économie, la steppe algérienne subit une dégradation qui se manifeste à tous les niveaux. Cela se traduit sur le plan physique par une diminution de la superficie des parcours et l'extension du paysage désertique, et sur le plan socio-économique par la paupérisation de la population locale et l'accentuation des inégalités sociales (Bensouiah, 2003).

On désigne généralement par parcours, des pâturages formés par une végétation spontanée et exploitée de manière extensive en vue de l'alimentation d'un cheptel, dans notre cas, essentiellement ovin (Benrebiha et Bouabdellah, 1992).

Les Hautes Plaines steppiques algériennes sont des régions à vocation essentiellement pastorale, à l'exception de quelques géomorphologies qui présentent un bon sol et qui sont susceptibles d'être mise en valeur par des cultures qui sont normalement destinées à l'alimentation du cheptel ovin, on parle ici de l'agropastoralisme.

Outre son aridité climatique caractérisée par une grande variabilité pluviométrique, aussi bien interannuelle que saisonnière, cette région est très intensivement exploitée par le bétail; elle nourrit les 2/3 du cheptel ovin et caprin de l'Algérie. Cette utilisation entraîne un surpâturage prononcé résultant de la sédentarisation progressive des pâtres, de l'augmentation du cheptel et du cloisonnement par des périmètres de culture. Cette région se trouve actuellement dans un état de dégradation généralisée, attesté par sa très faible production de l'ordre de 70 à 100 U.F./ha/an (Djebaili, Djellouli et Daget).

Suite à la croissance démographique et à la sédentarisation d'une partie croissante de la population steppique, on assiste actuellement à une extension rapide de l'agriculture au détriment des meilleures zones pastorales dont la végétation naturelle est détruite par des moyens mécaniques de plus en plus puissants. Cette destruction est également aggravée par l'accroissement de la pression animale sur les surfaces pastorales et par le prélèvement des produits ligneux destiné à la satisfaction des besoins en combustibles (Floret, LE Floc'h et Pontanier, 1992).

Ces différents phénomènes ont contribué à accroître la fragilité des écosystèmes, à réduire leur capacité de régénération et à diminuer leur potentiel de production. Dans les zones les plus vulnérables, la surexploitation des ressources naturelles renouvelable a eu pour effet de favoriser différents processus de dégradation conduisant à une progression rapide de la désertification (Nefzaoui et Chermiti, 1991), dont le problème majeur auquel l'élevage fait face dans ces zones est la rareté et l'irrégularité des ressources alimentaires. La production animale des ruminants dans les zones arides se caractérise par des crises périodiques dues à des disettes résultant de la sécheresse (Nedjimi et Homida, 2006).

Les systèmes pastoraux et agropastoraux des régions marginales du Maghreb connaissent des changements fondamentaux qui amènent à se poser impérativement des questions sur l'impact qu'ils génèrent à la fois sur l'économie et sur les écosystèmes. Les idées fortes, appuyées sur des faits incontestables relatives aux risques de désertification, à la réduction de la biodiversité, à l'aggravation de l'érosion... et qui se rapportent en bref à une mauvaise gestion de l'environnement, semblent battues en brèche par la mise en évidence d'un dynamisme

économique surprenant d'une population toujours en croissance, traversée par les courants d'une émigration active et un va-et-vient permanent de biens et de personnes. Ces espaces, pourtant en apparence fort peu productifs, font l'objet de puissants enjeux et sont le théâtre de compétitions très vives. Les modes d'utilisation changent de nature, les statuts fonciers et les structures d'exploitation se modifient au gré des privatisations. De nouveaux investisseurs apparaissent sur le marché. Dans ces espaces steppiques, les déplacements traditionnels des troupeaux et des hommes qui les accompagnent sont bousculés au rythme de l'acquisition de camions et de citernes mobiles. Parallèlement, un vaste mouvement de sédentarisation balaye toutes ces régions et l'on pressent l'émergence de systèmes d'élevages moins nomades et moins extensifs, mieux adaptés aux conditions nouvelles. Qui pourrait reconnaître dans ces terres arides, ici défrichées et mises en valeur, là sur-pâturées et en déshérence, les steppes des siècles passés, couvertes, aux dires de Léon l'Africain, d'une végétation abondante? (Abaab, Bédrani, Bourbouze, et Chiche).

L'écosystème dans les zones arides connaît ainsi un équilibre délicat et très fragile. La mise en valeur des terres dans ces régions, l'augmentation de la productivité par unité de surface, leur conservation exige ici plus qu'ailleurs des études très détaillées. Le sol est l'élément de l'environnement dont la destruction est souvent irréversible et qui entraîne les conséquences les plus graves à court et long terme. Chaque année des millions d'hectares sont soustraits à une utilisation agro-pastorale par la désertification (Halitim, 1988).

L'importance du phénomène de désertification dans la steppe algérienne n'est plus à démontrer. Chaque année, de nouveaux parcours sont soumis à divers types d'érosion. Le territoire « utile » de la steppe diminue, laissant place à des paysages incultes et « inutiles » pour les hommes et les animaux. La lutte contre la désertification, objectif que s'est assigné l'Etat depuis le début des années 70, devait stopper, sinon limiter la diminution des superficies de parcours steppiques à travers des actions touchant aussi bien le milieu physique que l'environnement socio-économique. Cependant, le bilan que l'on peut faire sur ces quarante dernières années montre que, hormis certaines améliorations, notamment sur le plan des infrastructures, la steppe algérienne se trouve bien plus dégradée qu'au lendemain de l'indépendance (Bensouiah, 2003).

Aujourd'hui, la situation dans les zones pastorale et agro-pastorale reste préoccupante et la concrétisation des objectifs est toujours confrontée à d'importantes contraintes notamment

- Le caractère souvent trop sectoriel des actions de développement entreprises et la place insuffisante accordée à l'approche globale et intégrée. La faible prise en compte des données écologique et socio-économique dans de nombreux projets et l'absence d'une politique d'aménagement du territoire et de gestion des ressources naturelles.

- La faible participation des populations aux programmes entrepris, aussi bien au niveau de l'identification et de la formulation des projets qu'au niveau de leur mise en œuvre et de leur évaluation.
- La faiblesse des moyens et services techniques et administratifs concernés et leur manque de coordination.
- La contribution insuffisante et parfois absente des institutions de recherche, de formation et vulgarisation aux programmes de développement.

Compte tenu de l'état de dégradation des parcours et de la forte pression humaine et animale qui s'exerce sur ces écosystèmes naturels, la reconstitution du couvert ne peut plus être assurée dans la plus part des cas par les mécanismes naturels de régénération et nécessite le recours à des techniques d'aménagement et de gestion des terres. Ces techniques se basent sur l'utilisation judicieuse des eaux de pluie et la plantation d'espèces ligneuses adaptées à ces régions, contribuant aussi bien à l'accroissement de la production qu'à la protection des sols contre l'érosion (Dutuit, Pourrat & Dodeman, 1991).

### 1.1.1 Présentation des régions steppiées

Les steppes algériennes, situées entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud (figure 1.1 a et figure 1.1 b), d'après (Le Houerou, 1985) ces régions couvrent une superficie globale de 30 millions d'hectares dont 20 millions c'est des parcours. Elles sont limitées au Nord par l'isohyète 400 mm qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec et au Sud, par l'isohyète 100 mm qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa (*Stipa tenacissima*) (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

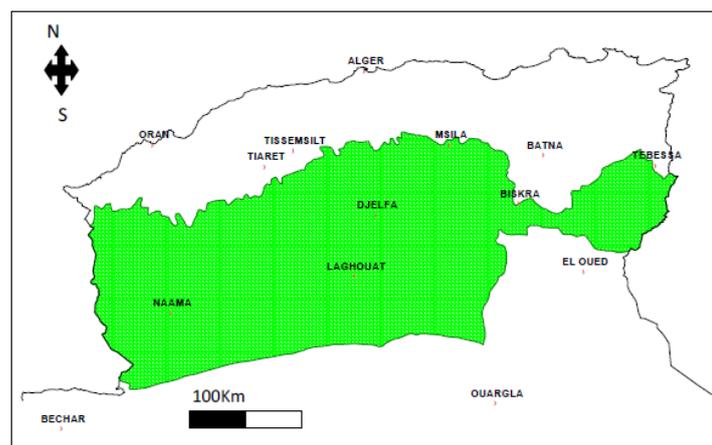


Figure 1.1 a Délimitation des steppes algériennes.

Sources (ANAT, 2004, <http://vertigo.revues.org/docannexe/image/5375/img-1.png>)

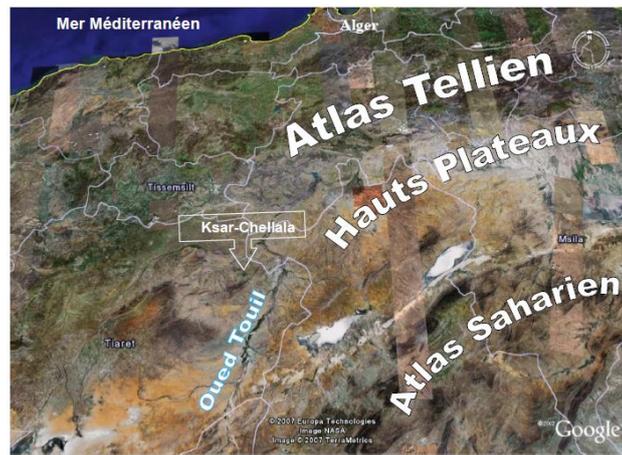


Figure 1.1 b Image Google-Earth des hauts plateaux centre, l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien

### 1.1.1.1 Climat

D'après l'étude faite par (LE Houerou ; Claudin ; Pouget, 1977), les étages bioclimatiques des steppes algériennes s'étalent du semi-aride avec ces nuances qui caractérise quelques reliefs de ces régions à l'étage bioclimatique saharien avec ces nuances, spécifique à la partie sud des wilayas Naâma, El Bayadh, Laghouat, Djelfa, Biskra, Khenchela et Tébessa.

Ces Hauteurs ont défini et cartographié à l'échelle du 1/1.000.000 (figure 1.2) les différents bioclimats de la zone aride steppique algérienne qui s'étend sur 16 millions d'hectares entre les isohyètes 400 et 100 mm. La classification bioclimatique utilisée est fondée sur trois critères :

La pluviosité moyenne annuelle (P), la température moyenne minimale du mois le plus froid (m) et la température moyenne maximale du mois le plus froid (M'). Ces critères ne sont pas les seuls facteurs climatiques agissant sur les conditions de vie des espèces végétales steppiques; ils en sont cependant une simplification acceptable à l'échelle du 1/1.000.000.

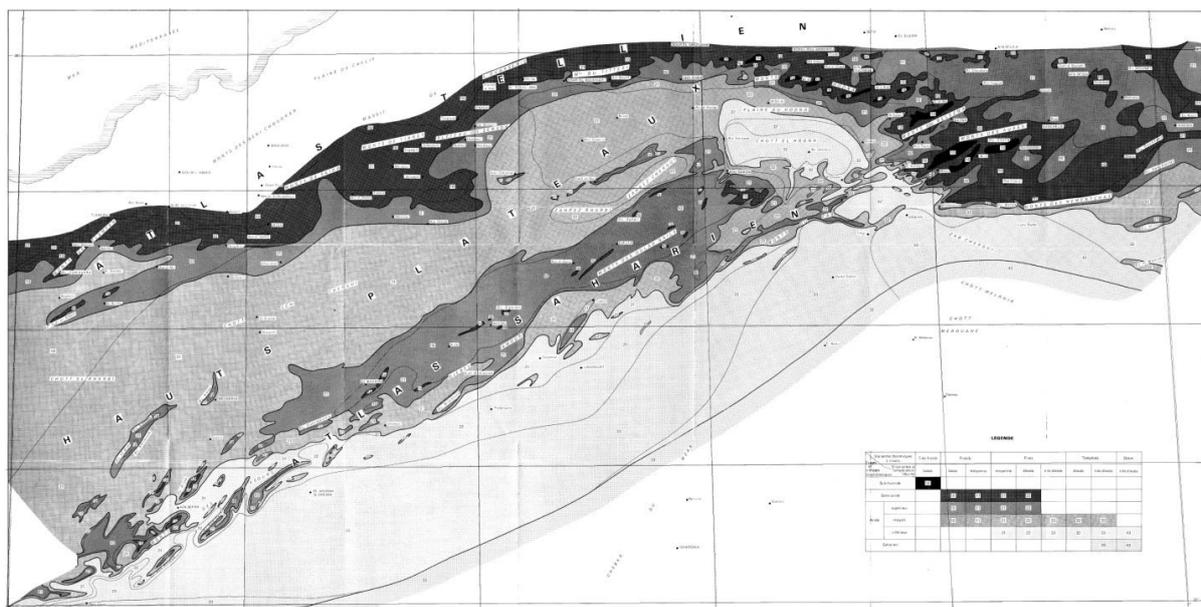


Figure 1.2 : Carte bioclimatique de l'Algérie steppique

En effet, ces critères présentent d'étroites corrélations avec d'autres facteurs climatiques et des variables biotiques importants. Ainsi :

- Pour la pluviosité : longueur de la saison pluvieuse, variabilité des précipitations annuelles, évapotranspiration potentielle, etc...
- Pour la température hivernale  $m$  : le nombre de jours de gelées, la longueur du repos hivernal de la végétation etc...
- Pour la température hivernale  $M'$  : évapotranspiration potentielle, précocité du réchauffement printanier etc...

L'interpolation entre les stations climatiques très éparées sur les steppes, est effectuée par l'étude de la répartition des groupements végétaux (groupes écologiques climatiques). Ces groupes climatiques ont été définis au cours des études phytoécologiques que les auteurs ont poursuivies en Algérie depuis 1966, 1972 et 1968 respectivement, et en utilisant aussi, les résultats obtenus dans les zones comparables des pays voisins (Maroc, Libye et surtout Tunisie).

La steppe algérienne se caractérise par un climat de type méditerranéen avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale pluvieuse, fraîche sinon froide. Diminution et irrégularité accrue des pluviosités, augmentation des températures et de la longueur des périodes de sécheresse estivale rendant encore plus difficiles les conditions de développement des plantes avec un bilan hydrique déficitaire (Le Houérou, 1996). En général, la pluviométrie moyenne annuelle est faible varie entre 100 et 400 mm/an (figure 1.3) et sa répartition est irrégulière dans le temps et dans l'espace. Les pluies se caractérisent par leur brutalité (averses) et leurs aspects orageux. Ces deux phénomènes favorisent l'érosion hydrique. Le régime thermique des steppes est du type continental. Selon la classification faite par (Le Houérou, 2004), l'Algérie steppique reste dans sa plus grande partie comprise entre les isothermes  $+1^{\circ}\text{C}$  et  $+3^{\circ}\text{C}$ , l'amplitude thermique annuelle est généralement supérieure à  $20^{\circ}\text{C}$ . Une autre caractéristique du climat steppique est le vent violent. En effet, celui de l'hiver occasionne des dégâts; celui de l'été venant du Sahara (sirocco), est le plus catastrophique; est un vent chaud qui souffle de 20 à 30 jours par an et a des effets dégradants sur la végétation. Ces variations de précipitations et de températures ont des conséquences sur l'état de la végétation, et par conséquent sur la conduite du cheptel et la vie des éleveurs qui remédiaient autrefois à ces contraintes par de longs déplacements (transhumance). Ces déplacements épargnaient le surpâturage des parcours fragilisés et peu productifs. Mais cette pratique a diminué considérablement ses dernières décennies et elle a été remplacée par la sédentarisation des éleveurs.

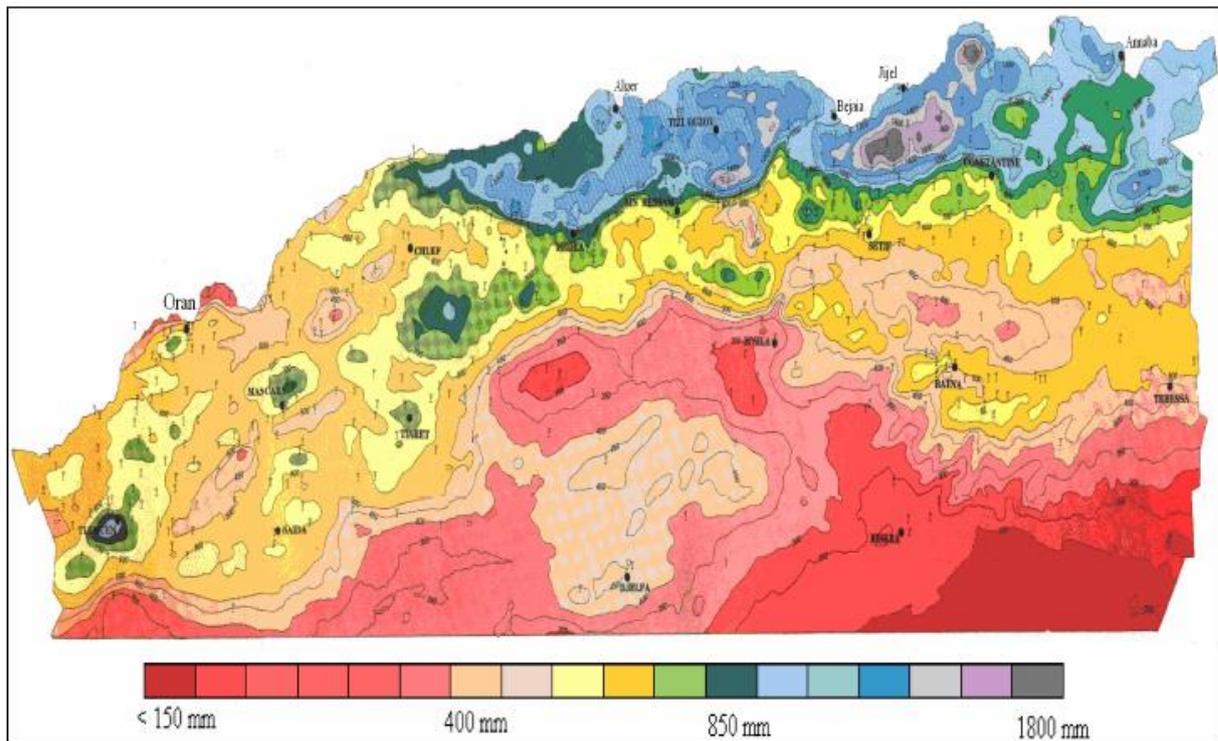


Figure 1.3 : Carte pluviométrique de l'Algérie. Source : (ANAT, 2004)

L'écosystème steppique est marqué par une grande variabilité interannuelle des précipitations; les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité moyenne annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante. La diminution des précipitations moyenne calculée sur une période (1913-1938) est de l'ordre de 18 à 27 %, particulièrement du Sud-ouest Oranais, les pluviosités annuelles n'ont pas dépassé 25 % de la moyenne, et la durée de la saison sèche aurait augmenté de 2 mois entre 1913-1938 et 1978-1990 (Djellouli Y et Nedjraoui 1995).

Sur le plan écologique, les régions steppiennes constituent un tampon entre l'Algérie côtière et l'Algérie saharienne dont elles limitent les influences climatiques négatives sur la première (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

### 1.1.1.2 Le sol

Selon (Halitim, 1988), dans la zone aride le sol est l'élément de l'environnement dont la destruction est souvent irréversible et qui entraîne les conséquences les plus graves à court et à long terme. Dans ces régions les études pédologiques restent très limitées et les sols sont insuffisamment connus. Cependant les travaux cartographiques réalisés ont permis de montrer la grande extension des sols à encroûtement calcaire, gypseux et les sols salés. Cependant il apparaît que les sols de la zone aride d'Algérie sont diversifiés et se répartissent selon la classification française (CPCS, 1967) en 8 classes :

- les sols minéraux bruts,

- les sols peu évolués,
- les sols à sesquioxydes de fer,
- les sols isohumiques,
- les vertisols,
- les sols calcimagnésiens,
- les sols salés,
- les sols hydromorphes.

Les principaux types de sols peuvent être définis par unité géologique et géomorphologique, au niveau des massifs montagneux se rencontrent, selon la roche mère, deux grandes catégories de sols : d'une part, sur substrat dur (calcaire, grès), des lithosols (durs) et rendzines; d'autre part, sur substrat tendre (marne, marno-calcaire), des régosols et des sols bruns calcaires. Sur les glacis à encroûtement calcaire-gypseux se développent des sols à texture limono-sableuse, peu évolués. Les systèmes dunaires, correspondent à des sols minéraux bruts, d'apport éolien et au niveau des sebkhas la nappe phréatique saline conditionne la formation de sols halomorphes.

Deux ensembles de facteurs édaphiques ont une influence déterminante sur la végétation :

- Les facteurs du bilan hydrique, en particulier la capacité de rétention en eau du sol (liée à la texture, à la teneur en matière organique et au type de substrat) ainsi que la valeur des apports complémentaires (ruissellement, nappe phréatique).
- les facteurs chimiques, principalement le rôle des horizons d'accumulation des sels.

La géomorphologie dans les zones arides chaudes est constituée par trois à quatre glacis d'érosion emboîtés, hérités du Quaternaire; ces glacis sont plus ou moins remaniés par l'érosion actuelle résultant de processus hydriques et éoliens. Les deux séries de processus sont généralement juxtaposées, la dominance de l'une ou de l'autre dépendant des conditions locales notamment des matériaux disponibles et de la pression anthropozoïque. Ces sols sont pauvres en matière organique de 0.1 à 1 % et peu évolués et les sols azonaux comprennent d'importantes superficies de sols halomorphes, hydromorphes (Le Houèrou, 1995).

Les sols se présentent sous forme de mosaïque allant des sols anciens aux sols récents peu évolués (Djebaili et al, 1983). On distingue principalement:

- Les sols minéraux bruts (lithosols et régosols) localisés sur les sommets des djebels.
- Les sols peu évolués regroupant les sols d'origines colluviale des glacis, alluviale des lits d'oueds et des dayas et éolienne des formations sableuses fixées.
- Les sols calcimagnésiques caractérisés par des rendzines sur les versants des djebels, les sols bruns calcaires à accumulations calcaires, très répandus, et les sols à encroûtement gypseux, plus rares.

- Les sols isohumiques représentés par les glacis d'érosion et les sols halomorphes qui occupent les chotts et les sabkhas.
- Les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sol utile, la faible teneur en matière organique et en éléments biogènes et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation.

Mais cette diversité ne doit pas cacher leur caractère principal et quasi-général : le rôle que jouent les sels au sens large du terme (le calcaire, le gypse et les sels solubles) (Halitim, 1988).

### 1.1.1.3 Distribution des sels

Selon (Halitim, 1988), à l'échelle du paysage la distribution des sels s'effectue selon un ordonnancement spatial et temporel qui s'inscrit dans des toposéquences et des chronoséquences. Les fortes accumulations occupent les parties hautes et les glacis les plus anciens des séquences, les fortes accumulations gypseuses occupent les parties médianes des séquences, les fortes accumulations de sels solubles occupent les parties basses et les niveaux les plus récents des séquences.

A l'échelle du profil, la distribution verticale et l'interpénétration des différents faciès salins sont fonction de la position topographique et de la texture des sols ainsi que des caractéristiques de la nappe superficielle. Plus les niveaux géomorphologiques sont récents, plus les sels solubles sont proches de la surface et moins l'individualisation du calcaire est forte.

Les conditions actuelles favorisent dans ces régions une pédogenèse halomorphe et gypsomorphe au détriment de la calcimorphie.

En conclusion, les régions arides sont le domaine privilégié de la pédogenèse des sels avec comme conséquence :

- Des sols en général peu fertiles, peu profonds, trop calcaires ou trop gypseux, salés, pauvres en matière organique, à structure défavorable.
- Un pH basique et une voie de salinisation neutre.
- Une sensibilité à la dégradation et à la désertification.

Dans la zone aride la recherche d'un équilibre entre productivité et la protection des écosystèmes est justifiée ici plus qu'ailleurs. Il devra se traduire par :

- L'utilisation des ressources dans le cadre d'un aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral.
- A l'aide d'indicateurs pédologiques et biologiques à différentes échelles, et en utilisant divers outils d'investigation et de représentation, il est essentiel de déterminer les stades de dégradation des écosystèmes, afin d'élaborer un programme d'intervention et de réhabilitation des zones dégradées et où le processus de désertification est réversible.

- Veiller à l'extension et à la durabilité des périmètres irrigués, par l'utilisation des procédés d'irrigation économique et par un suivi de la qualité des sols irrigués.

#### 1.1.1.4 Hydrologie et hydrogéologie

Dans les régions steppiques, les ressources hydriques sont faibles, peu renouvelables, inégalement réparties et anarchiquement exploitées. Le réseau hydrographique est diffus et peu hiérarchisé sur le piémont où il se disperse en chenaux multiples sur les cônes de défection et sur les glacis (Joly, 1986). Les oueds rares, sont caractérisés par un écoulement temporaire et endoréique, à l'exception du Oued-Touil qui représente l'unique cas d'exoréisme du réseau hydrographique des régions arides en Algérie (Halitim, 1988). Il divise ces eaux trop chargées dans le grand oued Chéelif. Les points d'eau sont au nombre de 6 500 dont plus de 50 % ne sont plus fonctionnels (Bedrani, 1995), en raison des équipements détériorés et souvent inexistantes et des chutes des niveaux statiques des nappes alluviales et phréatiques.

#### 1.1.2 Les ressources pastorales des parcours steppiques et présahariens

Selon (Nedjraoui, 2004) de nombreux travaux relatifs à l'étude de la végétation ont permis de faire ressortir les potentialités pastorales des steppes algériennes qui sont dominées par 4 grands types de formations végétales (Djebaili, 1978 ; URBT, 1974–1991 ; Nedjraoui, 1981 ; Aidoud, 1989 ; Le Houerou, 1998, 2000).

Les steppes algériennes sont dominées par 4 grands types de formations végétales: les formations à alfa (*Stipa tenacissima*), à armoise blanche (*Artemisia herba alba*), à sparte (*Lygeum spartum*) et à remt (*Hamada scoparium*). Les formations azonales sont représentées par les espèces psammophiles et les espèces halophiles :

Les parcours à graminées :

- *Stipa tenacissima* (l'Alfa).
- *Lygeum spartum* (Sparte).
- *Aristida pungens* (Drinn).

Les parcours à chamaephytes :

- *Artemisia herba alba* (Armoise blanche).
- *Artemisia campestris* (Armoise champêtre).
- *Arthrophytum scoparium* (Remth).
- *Thymelaeae microphylla* (Methnane).

Les parcours à espèces crassuléscentes :

- *Atriplex halimus*.
- *Salsola vermiculata*.

- *Suaeda fructiocolosa*.

Les parcours dégradés et post culturales :

- *Noaeamicronata*.

- *Piganumharmala*.

- *Asatragalusarmatus*.

- **Les steppes à alfa (*Stipa tenacissima*)** dont l'aire potentielle était de 4 millions d'hectares assurent la transition entre les groupements forestiers et les groupements steppiques à armoise blanche. Elles présentent une forte amplitude écologique (Achour, 1983, Kadi-Hanifi, 1998). On les retrouve en effet dans les étages bioclimatiques semi arides à hiver frais et froid et aride supérieur à hiver froid. Ces steppes colonisent tous les substrats géologiques de 400 à 1 800 m d'altitude (Djebaili et al, 1995). Dans les cas les plus favorables la production de l'alfa peut atteindre 10 tonnes MS/ha, mais la partie verte, qui est la partie exploitable, a une production de 1 000 à 1 500 kg MS/ha (Aidoud, 1983 ; Nedjraoui, 1990). La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement et le cortège floristique (Nedjraoui, 1981). La valeur pastorale des parcours à alfa peu importante (10 à 20/100 en moyenne) permet une charge de 4 à 6 hectares par mouton.
- **Les steppes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*)** recouvrent 3 millions d'hectares (en aire potentielle) et sont situées dans les étages arides supérieur et moyen à hiver frais et froid avec des précipitations variant de 100 à 300 mm. Ce type de steppe s'étale sur les zones d'épandage, dans les dépressions et sur les glacis encroûtés avec une pellicule de glaçage en surface. La production primaire varie de 500 à 4 500 kgMS/ha (Aidoud, 1983, 1989) avec une production annuelle totale de 1 000 kg MS/ha. La production annuelle consommable est de 500 kg MS/ha, soit une productivité pastorale moyenne de 150 à 200 UF/ha. L'armoise ayant une valeur fourragère importante de 0,45 à 0,70 UF/kgMS (Nedjraoui, 1981), les steppes à armoise blanche sont souvent considérées comme les meilleurs parcours, 1 à 3 ha/mouton. Ces parcours sont utilisés pendant toute l'année et en particulier en mauvaises saisons, en été ou en hiver, où ils constituent des réserves importantes. L'armoise est une espèce bien adaptée à la sécheresse et à la pression animale, en particulier ovine. Le type de faciès dégradé correspond à celui de *Peganum harmala* dans les zones de campement et autour des points d'eau.
- **Les steppes à sparte (*Lygeum spartum*)** couvrent 2 millions d'hectares. Elles sont rarement homogènes et occupent les glacis d'érosion encroûtés recouverts d'un voile éolien sur sols bruns calcaires, halomorphes dans la zone des chotts. Ces formations sont soumises à des bioclimats arides, supérieurs et moyens à hivers froids et frais. L'espèce *Lygeum spartum* ne

présente qu'un faible intérêt pastoral (0,3 à 0,4 UF/kg MS). Les steppes à *Lygeum spartum* sont peu productives avec une production moyenne annuelle variant de 300 à 500 kg MS/ha, mais elles constituent cependant des parcours d'assez bonne qualité. Leur intérêt vient de leur diversité floristique. La productivité, relativement élevée (110 kg MS/ha/an), des espèces annuelles et petites vivaces, confère à ces types de parcours une production pastorale importante de 100 à 190 UF/ha/an permettant une charge de 2 à 5 ha/mouton - Les steppes à remt (*Arthrophytum scoparium*) forment des steppes buissonneuses chamaephytiques avec un recouvrement moyen inférieur à 12,5%. Les mauvaises conditions de milieu, xérophilie ( $20 < P < 200$  mm/an), thermophilie, variantes chaude à fraîche, des sols pauvres, bruns calcaires à dalles ou sierozems encroûtés, font de ces steppes, des parcours qui présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. La valeur énergétique de l'espèce est de l'ordre de 0,2 UF/kgMS. La production moyenne annuelle varie de 40 et 80 kgMS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ha/an avec une charge pastorale de 10 à 12 ha/mouton.

- **Les steppes à psammophytes** sont liées à la texture sableuse des horizons de surface et aux apports d'origine éolienne. Ces formations sont inégalement réparties et occupent une surface estimée à 200.000 hectares. Elles suivent les couloirs d'ensablement et se répartissent également dans les dépressions constituées par les chotts. Elles sont plus fréquentes en zones aride et présaharienne. Ces formations psammophytes sont généralement des steppes graminéennes à *Aristida punjens* et *Thymellaea microphyla* ou encore des steppes arbustives à *Retama retam* (LeHouerou, 1969 ; Celles 1975 ; Djebaili, 1978). Le recouvrement de la végétation psammophyte est souvent supérieur à 30 % donnant une production pastorale importante comprise entre 150 et 200 UF/Ha/an. Cette production relativement élevée est due essentiellement à la prolifération des espèces annuelles dans ce type de parcours ensablé, ce qui permet une charge de 2 à 3 ha/mouton.
- **Les steppes à halophytes.** La nature des sels, leur concentration et leur variation dans l'espace vont créer une zonation particulière de la végétation halophile autour des dépressions salées. Ces formations se développent sur des sols profonds (supérieur à 1 mètre) riches en chlorure de sodium et en gypse. Ces formations étant très éparées, leur surface n'a pas été déterminée de façon très précise, cependant elles constituent d'excellents parcours notamment pour les ovins en raison des fortes teneurs en sel dans ce type de végétation et les valeurs énergétiques relativement élevées des espèces les plus répandues (0,89 UF/KgMS pour *Suaeda fruticosa*, 0,85 UF/KgMS pour *Atriplex halimus*, 0,68 pour *Frankenia thymifolia* et 0,58 pour *Salsola vermiculata*).

- **Les steppes à remt** (*Arthrophytum scoparium*) forment des steppes buissonneuses chamaephytiques avec un recouvrement moyen inférieur à 12,5%. Les mauvaises conditions de milieu, xérophilie (20–200 mm/an), thermophilie, variantes chaude à fraîche, des sols pauvres, bruns calcaires à dalles ou sierozems encroûtés font de ces steppes des parcours qui présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. La valeur énergétique de l'espèce est de l'ordre de 0,2 UF/kg/MS. La production moyenne annuelle varie de 40 et 80 kgMS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ha/an. Ce type de steppe est surtout exploité par les camelins.

### 1.1.3 Données socio-économiques

Les transformations socio-économiques des zones arides ont fait l'objet de nombreuses analyses, lesquelles font ressortir des mutations profondes caractérisées par le passage d'une utilisation extensive des ressources naturelles, dans le cadre d'un mode de vie nomade et semi-nomade, à une occupation et une utilisation relativement intensives de l'espace suite à la sédentarisation des populations locales, la privatisation des terres, le développement de l'arboriculture et une diversification de l'activité économique (Benabdeli, 2000).

Selon (Nedjraoui et Bédrani, 2008), la croissance démographique des zones steppiques est plus forte que celle enregistrée dans le reste du pays et a concerné aussi bien la population agglomérée que la population éparse (tableau 1.1 représenté par la figure 1.4).

Tableau 1.1 : Évolution de la population steppique par rapport à la population totale

Années	Population des zones steppiques (1)	Population totale de l'Algérie (2)	(1)/(2) (%)
1966	1 024 777	12 010 000	8,5
1977	1 792 466	16 948 000	10,6
1987	2 520 207	23 477 000	10,7
1998	3 613 288	29 276 767	12,3

Source : Office National des Statistiques ONS : Recensement Général de la Population et Habitat, ( R.G.P.H, 1998).

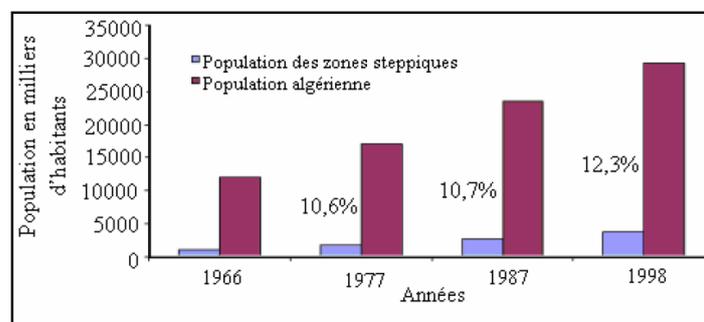


Figure 1.4. Évolution de la population steppique par rapport à la population totale.

La population recensée en 1998 est de 29.27 millions d'habitants. Le dernier recensement de 1987 fait état de 22.71 millions d'habitants, ce qui donne un taux moyen de croissance annuelle de 2,28% durant cette dernière décennie (Office National des Statistiques, ONS, 1996) :

- Les zones urbaines et périurbaines telliennes qui n'occupent que 4% du territoire national sont les plus peuplées (80% de la population totale).
- Les régions steppiques (9% du territoire), localisées au-delà de l'Atlas Tellien, constituent les vraies zones de parcours et la population, composée essentiellement d'agropasteurs, représente environ 12% de la population totale.
- Le reste de la population (8%) se disperse dans les régions sahariennes qui s'étalent sur 87% du territoire

La population active agricole représente 25% de la population active totale du pays soit 1 million de personnes dont 125 000 éleveurs.

Il est généralement admis que traditionnellement l'activité dominante dans la steppe était le nomadisme. Ce mode de vie est basé sur la transhumance vers le Nord et vers le sud. Cette transhumance était dictée par un besoin en fourrage dans des zones favorables (parcours présahariens en hiver, zones céréalières en été), réglementée par des ententes tacites entre tribus. Les revenus étaient tirés essentiellement de l'élevage. Aujourd'hui la situation a évolué dans les sens d'une tendance à la sédentarisation et à la disparition progressive du nomadisme.

Cependant on note une importante régression du nomadisme qui ne subsiste que de façon marginale, les déplacements de grande amplitude (Achaba-Azzaba<sup>1</sup>) ne concernant plus qu'environ 5% de la population steppique. Les pasteurs ont modifié leur système de production en associant quasi systématiquement culture céréalière et élevage (Boukhobza, 1982 ; Khaldoun, 1995 ; Bedrani, 1996, 2001).

#### ➤ **Transhumance d'hiver et d'été (Achaba-Azzaba)**

Le nomadisme et notamment la transhumance (Achaba-Azzaba<sup>1</sup>) constitue la principale activité pastorale qui découle des facteurs historiques économiques et sociaux. C'est une forme d'adaptation à un milieu contraignant où l'offre fourragère est marquée par une discontinuité dans le temps et dans l'espace. Ces déplacements, s'effectuant en été vers les zones telliennes (Achaba) et en hivers vers les parcours présahariens (Azzaba), allègent la charge sur les parcours steppiques leur permettant ainsi de se régénérer. En complémentarité avec les parcours steppiques, les parcours présahariens, qui couvrent une superficie estimée à environ 16 millions d'ha (9), sont exploités par les éleveurs en hivers parce qu'en cette saison, l'offre fourragère des parcours steppiques est faible et la température est très basse. Ces parcours qui recèlent de grandes potentialités sont caractérisés par un hiver doux et une végétation palatable pour le cheptel. Cette végétation se compose de plantes pérennes (*Retamaretam*, *Aristidasp*,

*Arthrophytum* sp...), d'annuelles et d'associations diverses. Cette forme de l'élevage extensif était menée depuis longtemps sans grande difficulté, grâce aux équilibres écologiques et socio-économiques. Cependant ces équilibres sont remis en cause en raison notamment de la diminution de la superficie des parcours et de la chute de leurs rendements à la suite des sécheresses répétitives et de la croissance continue des effectifs ovin d'une part de l'extension de la céréaliculture au dépens des meilleurs parcours d'autre part, réduisant ainsi les ressources alimentaires du cheptel. Le mouvement (Achaba) était relativement facile à organiser du fait d'une grande partie des zones d'accueil était constitué essentiellement par les grandes exploitations du secteur public que l'administration instruisait pour le libre accès aux champs sans contrepartie. Cette pratique a cependant été limitée depuis la réorganisation de la gestion des terres agricoles du domaine public qui s'est traduit par la multiplication de petites exploitations autonomes.

---

<sup>1</sup> Achaba et azaba, combinaison traditionnelle et intelligente de gestion de l'espace induisant une optimisation dans l'utilisation des ressources naturelles

---

#### **1.1.4 Les différents types d'études menées sur la steppe**

L'évaluation et la surveillance des agrosystèmes steppiques se font par des mesures – malheureusement irrégulières, peu systématiques et, surtout, non coordonnées sur l'ensemble du territoire steppique (seul le Sud Oranais a fait l'objet d'un suivi régulier)- quantitatives et qualitatives de la végétation et des caractères du milieu et par l'analyse des différents paramètres socioéconomiques qui influent sur la dynamique de ces systèmes. Le fonctionnement des écosystèmes détermine l'état et le niveau de production des ressources. Le fonctionnement des systèmes socio-économiques détermine l'impact des usages et des pratiques sur ces ressources. Ce suivi à long terme dans ces régions qui a débuté dès les années 1970 et se poursuit encore aujourd'hui (CRBT, 1978, URBT, 1994, Programme ROSELT/OSS/Algérie, 2001-2005) dans des stations installées dans différentes zones steppiques (figure 1.5), a permis d'évaluer et de cartographier leur potentialité, de quantifier l'intensité de leur dégradation et d'identifier les facteurs qui en sont responsables. Une synthèse des travaux antérieurs est donnée dans le document final du projet ROSELT disponible en ligne sur le site de l'OSS (Nedjraoui et Bédrani, 2008). En revanche on remarque qu'il y a une absence de ce genre d'étude et de surveillance des agrosystèmes steppiques dans la région steppe centre en particulier la région Oued Touil-Ksar chellala, malgré son importance, peut être à l'exception du projet d'étude fait par la mission australienne dans le début des années quat-vingt et qui est intitulé projet de développement agro-pastoral intégré de Ksar-Chellala. Cette étude est considérée comme la base documentaire utilisée dans cette thèse.



ainsi que la culture sporadique de céréales en sec (Le Houérou, 2001). Le problème majeur auquel l'élevage fait face dans ces zones est la rareté et l'irrégularité des ressources alimentaires. La production animale des ruminants dans les zones arides se caractérise par des crises périodiques dues à des disettes résultant de la sécheresse (Le Houérou, 2006).

Les faibles rendements obtenus (2 à 5 qx/ha) sont loin de compenser la perte de sol qui en résulte et les nuisances générées (Le Houérou, 2002).

### **1.2.1 La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte**

Les causes de la dégradation sont multiples et peuvent être classées selon trois catégories à savoir, naturelles, socio-économiques et réglementaires. Pour les causes naturelles, il s'agit d'une manière générale du climat et principalement la sécheresse. En ce qui concerne les causes socio-économiques, elles relèvent de multiples domaines. Elles peuvent être liées aux pratiques culturelles et/ou d'élevage, mais aussi à la population locale et à la rareté des ressources. Ce sont des éléments étroitement liés à tel point qu'il est impossible de les dissocier. Enfin, les causes réglementaires sont liées aux politiques adoptées par les différents gouvernements dans les zones steppiques (Bensouiah, 2003).

La désertification a connu de nombreuses définitions qui ont fait l'objet de controverses intellectuelles. Au-delà des compromis politiques, une définition consensuelle du processus a été proposée par la Convention sur la lutte contre la désertification : « la désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines ». La désertification concerne donc un processus de dégradation des terres lié à des facteurs naturels exacerbés par l'action de l'homme. La manifestation apparente du phénomène se traduit par une diminution de la couverture végétale et des potentialités des systèmes écologiques et une détérioration des sols et des ressources hydriques (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

La désertification, en Algérie, concerne essentiellement les steppes des régions arides et semi-arides qui ont toujours été l'espace privilégié de l'élevage ovin extensif. Ces parcours naturels qui jouent un rôle fondamental dans l'économie agricole du pays sont soumis à des sécheresses récurrentes et à une pression anthropique croissante : surpâturage, exploitation de terres impropres aux cultures... Depuis plus d'une trentaine d'années, ils connaissent une dégradation de plus en plus accentuée de toutes les composantes de l'écosystème (flore, couvert végétal, sol et ses éléments, faune et son habitat). Cette dégradation des terres et la désertification qui en est le stade le plus avancé, se traduisent par la réduction du potentiel biologique et par la rupture des équilibres écologique et socio-économique (Le Houérou, 1985 ; Aidoud, 1996 ; Bedrani, 1999).

### 1.2.1.1 La sécheresse

#### ➤ Définition de la sécheresse

Si la notion de sécheresse n'est aujourd'hui pas universellement définie (Tate et Gustard, 2000), l'état de sécheresse peut cependant être caractérisé comme un déficit hydrique marqué dans une ou plusieurs composante(s) du cycle hydrologique. Ce manque d'eau est généralement dû à de trop faibles précipitations (Alley, 1984 ; Chang et Cleopa, 1991) sur une période donnée, par rapport à la moyenne des apports observés sur cette période et a un impact direct sur l'alimentation des différents compartiments du bassin versant (surface, sol et nappes). Si les précipitations sont trop faibles ou inexistantes sur une période prolongée, l'apport d'eau à la surface du sol et dans les couches de sol plus profondes est par conséquent amoindri et l'eau disponible dans les cours d'eau et/ou pour la végétation peut alors elle aussi être déficitaire. Pour cette raison, trois grandes catégories de sécheresses, qui sont liées entre elles (figure 1.6), ont été définies dans un premier temps par (Dracup et al., 1980), et reprises par (Wilhite et Glantz, 1985), et sont aujourd'hui couramment utilisées par les climatologues et les hydrologues pour l'étude et le suivi des sécheresses :

- **Les sécheresses météorologiques** sont caractérisées par un déficit des précipitations, solides et liquides (Palmer, 1965 ; Boken, 2005 ; Keyantash & Dracup, 2002). Ainsi, il s'agit d'une période, qui peut varier du mois à l'année, voire dans des cas extrêmes, à plusieurs années, durant laquelle les précipitations sont inférieures à la normale. Les sécheresses météorologiques sont souvent déclenchées par des anomalies persistantes de grande échelle des températures de surface de la mer (Bjerknes, 1969 ; Rasmusson et Wallace, 1983 ; Folland et al, 1986 ; Lamb et Pepler, 1992 ; Ting et Wang, 1997 ; Trenberth et Shea, 2005).

- **Les sécheresses agricoles** (ou édaphiques) sont caractérisées par un déficit lié à la réserve en eau du sol. Il s'agit d'une période durant laquelle l'humidité du sol est inférieure à sa valeur moyenne, ce qui a des conséquences directes sur la végétation, qu'elle soit naturelle ou cultivée (Palmer, 1965 ; Rosenberg, 1978 ; Wilhelmi, 2002). Ces sécheresses sont généralement provoquées par un cumul des précipitations inférieur à la normale (Narasimhan et Srinivasan, 2005), ou par une distribution temporelle plus irrégulière (c.à.d. des précipitations moins fréquentes mais plus intenses, phénomène souvent observé sur le pourtour méditerranéen), mais peuvent parfois être engendrées par des taux d'évapotranspiration plus élevés (Klocke et Hergert, 1990 ; Rind et al., 1990 ; Hanson, 1991 ; Vicente-Serrano et al, 2010) ou des processus de ruissellement plus intenses, en comparaison à la normale saisonnière.

Les sécheresses agronomiques ont souvent de lourdes conséquences sur la production agricole (Panu et Sharma, 2002).

- **Les sécheresses hydrologiques** Les sécheresses hydrologiques Les sécheresses hydrologiques peuvent à la fois définir le débit d'un cours d'eau comme trop faible mais peuvent aussi représenter le fait qu'un réservoir du sol ou du sous-sol n'est pas suffisamment réalimenté. Ainsi, les sécheresses hydrologiques dépendent du degré d'approvisionnement en eaux de surface et en eaux souterraines des lacs, réservoirs, aquifères et cours d'eau (Yevjevich, 1967 ; Dracup et al., 1980 ; Tallaksen et al., 1997). L'impact d'une sécheresse hydrologique est important sur les activités humaines, puisqu'elle va avoir de fortes conséquences sur l'irrigation, les activités touristiques, la production d'énergie hydroélectrique, les transports (dans certains pays), l'alimentation en eau domestique et la gestion/protection de l'environnement. Pour (Linslet et al, 1975), la sécheresse hydrologique est d'ailleurs définie comme la période durant laquelle le débit des cours d'eau n'est pas suffisant pour répondre convenablement aux besoins en eau établis par le système de gestion de l'eau local.

La sécheresse est, d'un point de vue économique, environnemental, social et agronomique, un des phénomènes naturels les plus dévastateurs (Burton et al., 1978 ; Wilhite et Glantz, 1985 ; Wilhite, 1993 ; Wilhite, 2000). L'élaboration d'outils et de systèmes efficaces de suivi qui permettent de prévoir et donc d'anticiper ces épisodes, constitue actuellement un défi de taille. Une difficulté réside dans le fait qu'aucune définition unique de la sécheresse ne peut répondre à tous les besoins. De plus, la caractérisation des sécheresses est très variable d'une région à une autre puisque les caractéristiques climatiques diffèrent d'un endroit du globe à l'autre, ainsi que la démographie et les besoins agricoles des populations locales, la nature des activités humaines et les moyens disponibles localement pour lutter contre ce risque naturel. La sécheresse en elle-même n'est effectivement pas une catastrophe mais peut le devenir en raison de son incidence sur les populations et l'économie locales et aussi et surtout la capacité d'adaptation et de résilience de ces populations. La littérature scientifique est riche d'études qui ont permis de mettre en place différents indicateurs capables, à certaines échelles, de détecter les épisodes de sécheresses (Szczypta, 2012).

Selon (Khaldi, 2005), On distingue schématiquement plusieurs types de sécheresse :

Les sécheresses dites exceptionnelles qui se traduit par un déficit pluviométrique important, affectant une vaste région pendant un temps pouvant atteindre plusieurs années consécutives. C'était le cas des sécheresses des années 1913-1915 et 1940-1949 au Sahel. Il faut signaler que durant ces mêmes périodes, on a enregistré des sécheresses analogues en Algérie, durant le 19ème siècle, à partir des données sur Oran/Boudens qui ont débuté en 1870, nous avons remarqué qu'une sécheresse s'est produite au début des années 1890.

Les sécheresses que l'on pourrait appeler "méditerranéennes" sont liées aux irrégularités du climat méditerranéen. Elles peuvent compromettre les récoltes d'une saison sans qu'il y ait pour

autant un déficit global annuel important. En effet pour les céréales, les pluies de printemps, qui correspondent à la phase maturité des céréales jouent un grand rôle dans la valeur du rendement. L'Algérie, qui est un pays soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, présente un climat de type méditerranéen extra tropical tempéré. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des Hautes Plaines et supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien (Nedjraoui, 1999).

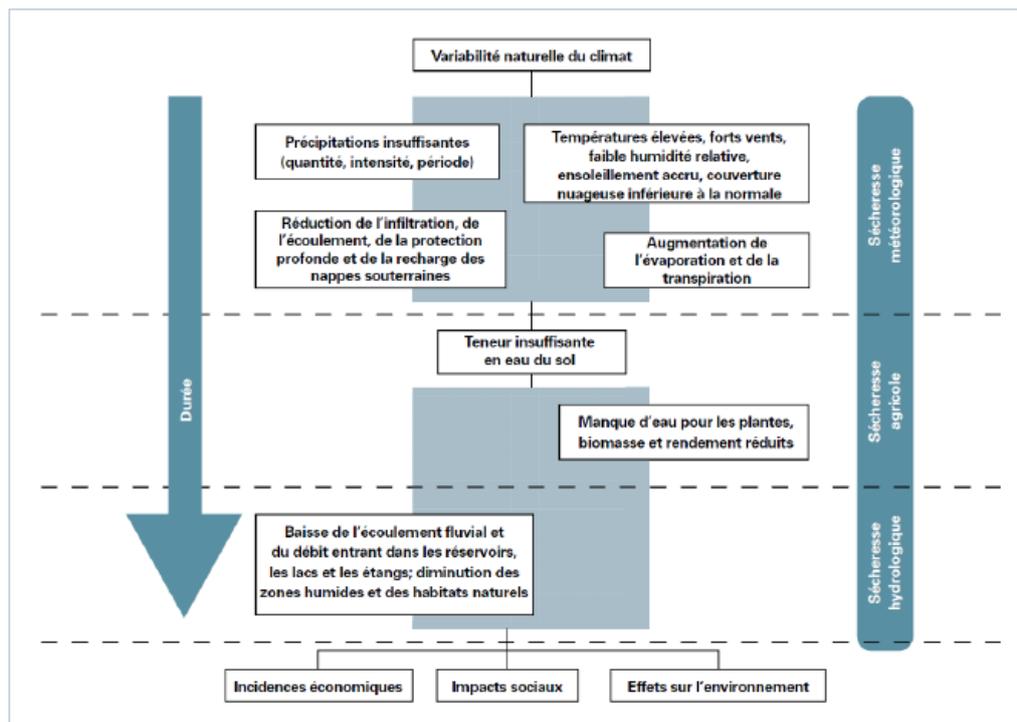


Figure 1.6. Mise en évidence du lien existant entre les 3 types de sécheresse.

Causes et conséquences des sécheresses. (source : OMM, rapport n°1006, 2006)

### 1.2.1.2 La pluviosité

Les précipitations accusent une grande variabilité mensuelle et surtout annuelle. Cette variabilité est due à l'existence de gradients (Djellouli, 1990) :

- Un gradient longitudinal : la pluviosité augmente d'Ouest en Est (450 mm/an à Oran plus de 1000 mm/an à Annaba). Ce gradient est dû à deux phénomènes : à l'Ouest, la Sierra Nevada espagnole et l'Atlas marocain agissent comme écran et éliminent ainsi l'influence atlantique, à l'Est, les fortes précipitations sont attribuées aux perturbations pluvieuses du Nord de la Tunisie.
- Un gradient latitudinal : les précipitations moyennes annuelles varient de 50mm dans la région du M'Zab à 1500 mm à Jijel. Cette diminution du littoral vers les régions

sahariennes est due à la grande distance traversée par les dépressions qui doivent affronter sur leur parcours les deux chaînes atlasiques.

- Un gradient altitudinal universel qui varie en fonction de l'éloignement de la mer.

L'influence directe du Sahara confère à la steppe un climat sec et chaud, marqué par des fluctuations thermiques importantes. En dehors des lits d'oueds et des dayas, les sols y sont généralement pauvres en matières organiques. La sécheresse, de plus en plus sévère durant les trois dernières décennies (baisse en moyenne de 25 % de la pluviosité) augmente le niveau d'aridité et accroît plus que proportionnellement la sensibilité des sols à la dégradation, levier premier de la diminution de la couverture végétale. L'érosion éolienne, second facteur physique de dégradation de l'écosystème steppique, est accélérée dans un milieu où la végétation est devenue plus éparse. Son action contribue à l'appauvrissement des sols. Son action est renforcée par l'érosion hydrique provoquée par des pluies rares mais se présentant toujours sous forme d'orages violents (Abdelguerfi, 2003).

Les sécheresses cycliques qui transforment les paysages tout en accentuant l'action destructrice de l'homme; la dernière sécheresse qui a sévi dans les hautes plaines oranaises, de 1980 à 1990, est exceptionnelle par son ampleur. Les sécheresses, ont été les révélateurs de la désertification dans les zones arides où la pluviosité est faible et sa variabilité est plus grande, il est devenu plus difficile à l'écosystème et à la société de résister. Cependant, l'impact des sécheresses est faible ou négligeable là où l'impact humain et animal est faible ou nul. En effet, la végétation et les sols des régions arides se sont adaptés à des conditions de sécheresses récurrentes au cours des siècles et des millénaires passés acquérant une capacité à récupérer leurs caractéristiques après perturbation (Le Houérou, 1995).

La production animale des ruminants dans les zones arides se caractérise par des crises périodiques dues à des disettes résultant de la sécheresse (Le Houérou, 2006).

L'accentuation des phénomènes de sécheresse n'est pas à l'origine de la désertification, mais elle constitue un facteur important d'aggravation de l'effet anthropique sur la dégradation des terres en zones sèches (Thomas, 1995, Thomas, 1995.).

La sécheresse contribue à la dégradation des ressources naturelles telles que la végétation, les parcours pastoraux et les sols, accentuant ainsi le processus d'érosion et de désertification. En effet, la sécheresse et la désertification sont des phénomènes très liés. Au cours du siècle précédent, l'Algérie a vécu plusieurs périodes de sécheresse dont les plus intenses ont été ressenties en 1910 et en 1940 et de manière plus persistante dans les années 1975-80 ainsi qu'au début du siècle, ce qui donne une idée de l'ampleur de cette sécheresse et de la dégradation climatique qui en est la cause (OSS, 2009).

Plusieurs travaux sur la pluviométrie de l'Algérie ont été menés depuis le dernier siècle, mais la plupart d'entre eux en font une analyse superficielle sur quelques stations en se basant sur le calcul de la moyenne. Ce n'est qu'en 1946 grâce aux travaux de Seltzer sur le climat de l'Algérie qu'une analyse détaillée sur la pluviométrie est établie.

En Algérie, en considérant les stations du nord (Demmak et al, 1994), par une méthode comparative des moyennes (1974/1992 par rapport à celle de Chaumont 1913/1963) et à la moyenne de longue durée (1922/1992), ont constaté que l'ampleur du déficit pluviométrique de la dernière période 1974/1992 s'intensifie d'est en ouest. Ils mettent en évidence la tendance à la sécheresse des vingt dernières années et font apparaître des sécheresses analogues durant les années 1913 et 1940.

Selon (Kadi, 1992), (Farmer et Wigly), donnent l'évolution d'un indice de sévérité de la sécheresse sur la même région et relèvent l'occurrence de sécheresses sévères et généralisées durant des années très isolées : 1937, 1961, 1970.

(Matari et Douguédroit, 1993), appliquent une analyse en composantes principales avec rotation Varimax sur deux réseaux et sur deux périodes différentes ; ils ont abouti à une division régionale de l'ouest Algérien pour une analyse spatio-temporelle de la pluviométrie. Les auteurs ont remarqué que la sécheresse des années 40 est principalement due à une baisse de pluie de printemps et que celles des années 80 à une baisse de pluie d'hiver.

(Meddi et Humbert, 2000), à partir d'une étude sur la sécheresse ont constaté qu'un déficit pluviométrique apparaît à partir de 1970, et persiste encore actuellement. Ce déficit génère un grave problème d'ordre économique et social, compte tenu de la pression croissante qui exerce sur la ressource en eau (alimentation en eau potable, irrigation...).

Les steppes algériennes sont marquées par une grande variabilité interannuelle des précipitations. En outre, les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Cette synthèse bibliographique montre l'importance du phénomène étudié et combien la communauté scientifique s'intéresse à la sécheresse, principalement aux indicateurs de sécheresse comme éléments essentiels pour la gestion de la pénurie d'eau. Les risques de sécheresse ainsi que la préparation et l'élaboration des plans d'intervention pour la réduction des impacts potentiels de la sécheresse ont retenu l'attention de plusieurs chercheurs.

Les steppes algériennes sont marquées par une grande variabilité interannuelle des précipitations. En outre, les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante. La diminution des précipitations est de l'ordre de 18 à 27% et la saison sèche a augmenté de 2 mois durant le siècle

dernier (Nedjraoui et Bédrani, 2008. Les travaux de (Hirche et al, 2007), portant sur une analyse statistique de l'évolution de la pluviosité de plusieurs stations steppiques, montrent que les steppes algériennes se caractérisent par une aridité croissante, cette tendance est plus prononcée pour les steppes occidentales que les steppes orientales (Figure 1.7).

Suite aux travaux de (Khaldi Abdelkader, 2005), «Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida"», l'étude de la variabilité des précipitations à partir des variables centrées réduites des totaux annuels, a été faite sur trois stations représentatives (Mascara, Maghnia et Sougeur). On peut considérer que la station de Sougeur est représentative des régions steppique centre.

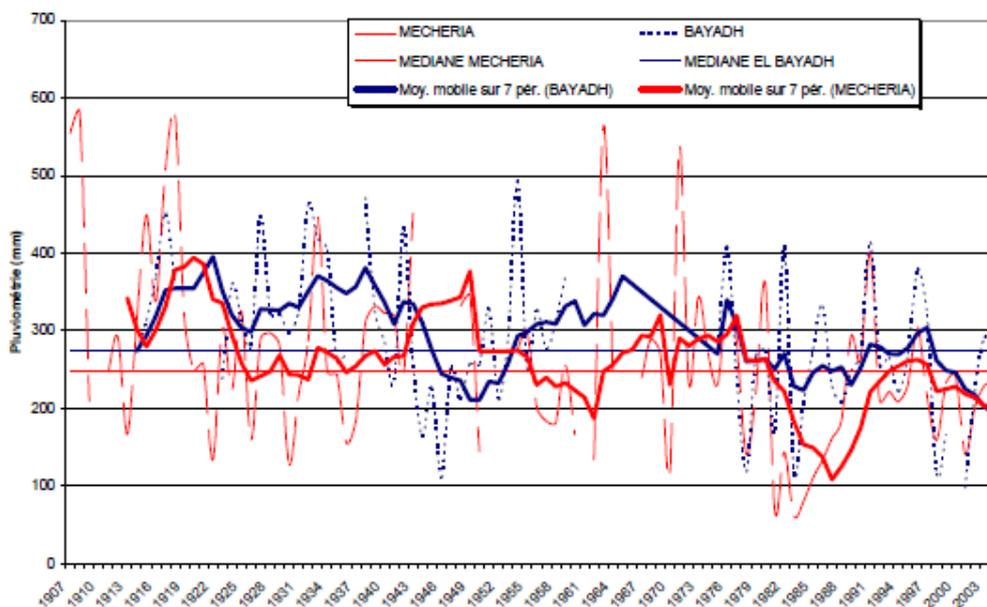


Figure 1.7 : Évolution de la pluviosité (1907-2003) dans le Sud Oranais (Méchéria et El Bayadh)

(Source : Hirche et al, 2007)

Cette analyse a mis en évidence la succession de deux phases, un long épisode globalement pluvieux qui s'est étendu entre le début des années 50 et la fin des années 70, une période globalement déficitaire, qui aurait commencé au début des années 80 et qui persiste jusqu'à nos jours.

Les pluies d'hiver durant la dernière période ont connu généralement une baisse pour les trois stations types, alors que les pluies du printemps sont devenues plus élevées durant les deux dernières décennies.

Les résultats obtenus par l'étude de la sévérité de la sécheresse, confirment la persistance et l'abondance des années déficitaires durant les deux dernières décennies pour notre région d'étude.

L'étude des séquences sèches et des séquences pluvieuses par les chaînes de MARKOV qui ne sont fondées que sur les états des jours, secs ou pluvieux a montré que les séquences sèches ont une longueur moyenne qui augmente en fait et à mesure que le seuil croît. Le modèle Markovien ajuste bien les séquences pluvieuses, par contre l'ajustement des séquences sèches par ce modèle montre qu'il existe une grande différence entre les fréquences calculées et les fréquences théoriques surtout lorsque nous allons vers des seuils plus grands. La distribution saisonnière de ces séquences est en relation avec les rendements.

Finalement, notre écosystème est vulnérable à un éventuel changement climatique, il est donc indispensable d'encourager et de promouvoir les efforts entrepris dans le domaine de la recherche scientifique pour aboutir à des travaux pluridisciplinaires sur le problème l'impact du changement climatique sur les ressources en eau.

Au vu de ce qui précède, il s'avère que la sécheresse est un mal qui ne peut être combattu. Il faudrait en revanche la gérer et développer des stratégies pour surmonter ces effets. De nombreuses interrogations peuvent être posées quant aux causes, aux conséquences, voire à l'existence d'une variabilité de la pluviométrie en Algérie. La première question concerne un éventuel changement de la pluviométrie. Il est délicat d'avancer une tendance générale même si la répartition annuelle, saisonnière et mensuelle des précipitations de ces deux dernières décennies a été particulièrement irrégulière d'une année à l'autre. Ces variations climatiques dans l'Ouest Algérien ont générés une réduction du régime hydrologique. Raison de plus pour les régions steppiques.

### **1.2.1.3 L'érosion hydrique**

Les facteurs naturels qui sont à l'origine de la dégradation des parcours steppiques sont intimement liés à la fragilité de l'écosystème de ces zones. L'action combinée des facteurs climatiques hostiles développement intensif qu'une végétation pérenne et les facteurs édaphiques liés à la structure et à la texture des sols font que les parcours sont soumis à une dégradation irréversible accentuée par le phénomène de l'érosion (Le Houerou, 1995).

Les risques d'érosion éolienne et hydrique sont forts en steppes arides en raison de la violence des événements climatiques et de la faible protection du sol par la végétation. L'importance du recouvrement végétal est à la fois une conséquence de l'érosion et un indice de risque érosif, que l'on peut associer à des indices d'érodabilité pour faire des prédictions (Bensouiah, 2006).

En Algérie, le phénomène de dégradation des terres affecte et menace d'immenses espaces de notre pays (Heddadj, 1997). L'érosion hydrique présente la forme de dégradation physique des sols la plus importante affectant les reliefs, la production du sol et la stabilité des versants (Roose et al, 2000 Roose, Chebbani, & BourougaaL, 2000).

L'érosion hydrique est due en grande partie aux pluies torrentielles qui, sous forme d'orages violents désagrègent les sols peu épais, diminuent leur perméabilité et leur fertilité. Les éléments fins, l'humus et les éléments minéraux sont emportés par le ruissellement qui provoque la formation de rigoles et de ravines entaillant profondément la surface du sol. Comme conséquence directe de ce phénomène d'érosion, un volume de 50 à 250 tonnes par hectare et par an de terre sont ainsi entraînées par le ruissellement sur les sols dénudés à forte pente (Le Houérou, 1995)

Les régions de montagne s'étendent sur 20 millions d'hectares en Algérie, dont 63 % sont situés à plus de 800 m d'altitude. Le quart des terres est situé sur des pentes supérieures à 25 %, peu couvertes par la végétation dégradée.

Dans de nombreuses régions, la densité de la population (20 à 60 hab./km<sup>2</sup>) dépassant la densité naturelle acceptable, conduit à une forte pression sur le milieu par la mise en culture des sols sur fortes pentes, la réduction des surfaces pâturables et le développement du surpâturage (6 moutons/ha) sur un matorral dégradé. Des données récentes montrent que ces phénomènes ont provoqué d'énormes pertes: près de 600.000 ha de terres en zone steppique sont totalement désertifiées sans possibilité de remontée biologique et près de 6 millions d'hectares sont menacées par les effets de l'érosion hydrique et éolienne (Ghazi et Lahouati, 1997).

L'érosion hydrique des sols est un processus naturel accéléré par l'Homme. Au nord de l'Algérie, les conditions topographiques, physiques, géomorphologiques, hydrologiques et socio-économiques sont particulièrement favorables à son enclenchement et à son accélération. L'érosion hydrique a des conséquences directes sur la perte des terres arables et le remplissage des ouvrages hydraulique en sédiments (Mahieddine et Errih 2009).

Parallèlement au développement de l'agriculture en montagne, les besoins en eau pour l'alimentation des villes et pour l'irrigation des plaines croissent rapidement, mais les ressources sont limitées. Aujourd'hui, les 48 barrages en exploitation affichent un taux de remplissage inférieur à 30 % de leur réserve (statistiques du Ministère de l'Hydraulique, février 2003). Quand elles sont disponibles, les eaux sont polluées (engrais azotés) et chargées en sédiments à cause de l'érosion. D'après (Demmak,1982), des concentrations de 200 g/l de sédiments sont fréquemment observées dans les oueds.

#### **1.2.1.4 L'érosion éolienne**

Les écosystèmes steppiques sont marqués par une grande variabilité interannuelle des précipitations. Les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante. L'action de

l'érosion éolienne accentue le processus de désertification. Elle varie en fonction de l'importance du couvert végétal (Aïdoud et *al*, 2006), (Le Houérou, 2006).

Dans un milieu ouvert où la végétation a un recouvrement inférieur à 30%, l'action du vent opère un tri en emportant les fines particules telles que le limons et les argiles et laisse sur place des sols squelettiques à dominance d'éléments grossiers présentant un faible pouvoir de rétention d'eau, qui ne peut favoriser la remontée biologique. Ce type d'érosion provoque une perte de sol de 150 à 300 t/ha/an, dans les steppes défrichées (Le Houérou, 1996).

### 1.2.2 Facteurs anthropozoïques

Les facteurs anthropiques constituent, cependant, la plus grande menace pour la survie des écosystèmes steppiques. L'élevage, de petits ruminants et de camelins, a constitué pendant des siècles l'activité essentielle d'une société pastorale qui tentait de sauvegarder un équilibre dynamique à l'écosystème steppique sur la base d'une mobilité de grande amplitude des troupeaux. Au cours des dernières décennies, cette société a profondément changé. La croissance démographique a été exceptionnellement forte (moins d'un million d'habitants en 1954, plus de sept millions aujourd'hui) (Figure 1.8) et, en l'absence d'autres sources de revenus, elle a impulsé une croissance non moins importante du cheptel élevé sur la steppe (plus 16 millions de têtes aujourd'hui contre 4 millions en 1954) (Figure 1.9). Par ailleurs, la population est en voie d'achever un processus de sédentarisation qui explique son désintéressement de plus en plus net vis à vis de la nécessité de sauvegarder l'équilibre fragile de l'écosystème. Au total, celui-ci est menacé par le surpâturage dans des zones favorables (proches de points d'eau et d'agglomérations urbaines) ainsi que par l'accroissement irraisonné des labours en vue de l'installation de cultures à caractère itinérant. Surpâturage et extension des labours dénudent le sol, augmentent les risques de ruissellement et d'érosion éolienne, accélèrent la disparition des espèces pastorales les plus intéressantes et diminuent la richesse floristique de la steppe (Figure 1.10) (Abdelguerfi, 2003).

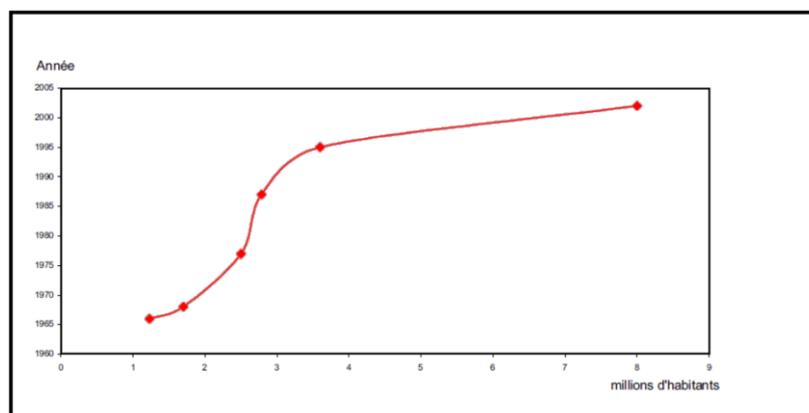


Figure 1.8 : Evolution de la population (In Kadi-Hanafi, 2003)

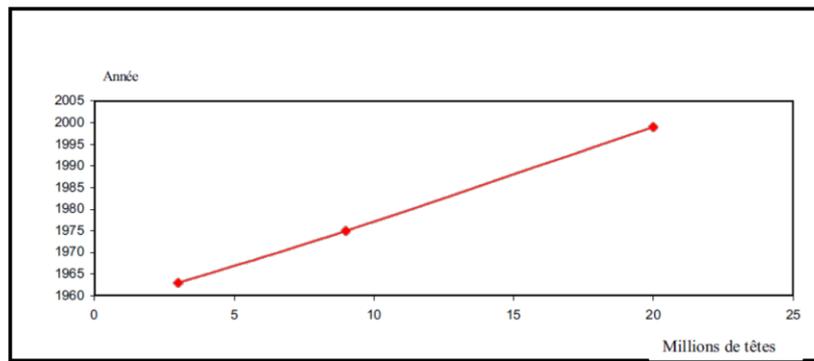


Figure 1.9 : Evolution du cheptel (In Kadi-Hanafi, 2003)

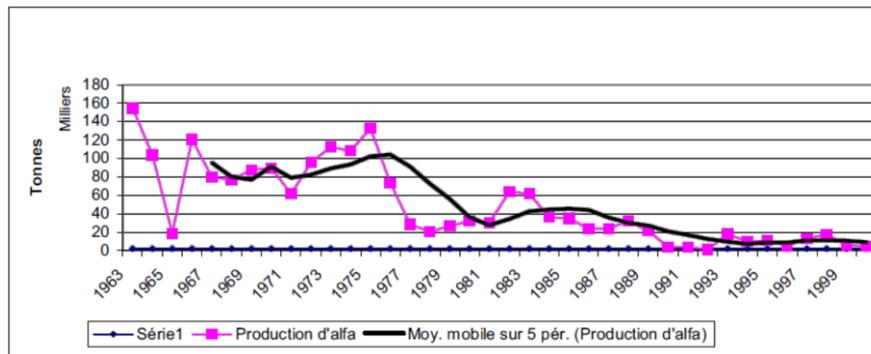


Figure 1.10 : La réduction de la production nationale d'Alfa (In Kadi-Hanafi, 2003)

L'équilibre des écosystèmes naturels a été fortement perturbé au cours des récentes décennies dans la plupart des régions arides et semi-arides sous l'effet de la modification des systèmes d'exploitation du milieu liée à la transformation des conditions socio-économiques et à l'évolution des techniques de production (Le Houérou, 2002). En effet, suite à l'accroissement démographique et à la sédentarisation d'une partie croissante de la population, on assiste à une extension rapide de l'agriculture au détriment des meilleures zones pastorales dont la végétation naturelle est détruite par des moyens mécaniques de plus en plus puissants. Cette destruction est également aggravée par l'accroissement de la pression animale sur les surfaces pastorales de plus en plus réduites et par le prélèvement des produits ligneux destinés à la satisfaction des besoins en combustibles (Floret et *al*, 1992). Ces différents phénomènes ont contribué à accroître la fragilité des écosystèmes, à réduire leur capacité de régénération et à diminuer leur potentiel de production.

Dans les zones les plus vulnérables, la surexploitation des ressources naturelles renouvelables a eu pour effet de favoriser différents processus de dégradation conduisant à une progression rapide de la désertification. L'économie de ces zones est basée sur l'élevage extensif des ovins, ainsi que la culture sporadique de céréales en sec (Le Houérou, 2001). Le problème majeur auquel l'élevage fait face dans ces zones est la rareté et l'irrégularité des ressources alimentaires sèches (Le Houérou, 2006).

### 1.2.2.1 Evolution de la population steppique

La population steppique représentait 25% de la population algérienne totale. L'évolution de cette population non contrôlée par l'état engendre une compétition autour de l'espace, il résulte une régression de l'activité pastorale et l'amplification du phénomène de la désertification (Oukal, 2001). Autrement-dit, avec ses 7 225 408 habitants, la steppe abrite environ 24% de la population totale du pays (INSEG, 2004). Une forte croissance démographique est enregistrée durant la dernière moitié du siècle. La population de la steppe qui était de 900 milles habitants en 1954, est estimée à plus de sept (07) millions d'habitants en 1999 (HCDS, 2005).

Cette population qui se caractérise par un taux de croissance très élevé a été multipliée par 2.5 entre 1966 et 1998, tableau 1.2.

L'équilibre social et biologique s'est trouvé fortement perturbé par l'intensification des besoins engendrés par la croissance démographique qui n'a pas été accompagnée par une création d'emplois suffisamment conséquente pour absorber la main-d'œuvre excédentaire par rapport aux besoins d'une exploitation raisonnable des parcours naturels (Bédrani, 1998).

Tableau 1.2 : Evolution de la population de la steppe

Dates	ulatioPopn		
	Totale	Urbaine	Rurale
1966	2 817 339	-	-
1977	3 843 090	13 165 484 34.3%	2 526 542 65.7%
1987	5 390 549	2 666 024 49.5%	2 724 525 50.5%
1998	7 225 408	4 216 866 58.4%	3 008 542 41.6%
2020*	11 700 000	65%	35%

Source : INESG (2004). \* Prévisions.

La transhumance ou déplacement de grande amplitude (Achaba ; transhumance d'été vers les chaumes des zones telliennes ou Azaba ; transhumance d'hiver vers les piémonts Nord de l'Atlas Saharien) qui permettait dans le passé une utilisation rationnelle des ressources naturelles, ne concerne plus que cinq (5%) de la population steppique (Nedjimi et al, 2008). Le reste de la population est devenu semi-sédentaire. Les pasteurs ont modifié leur système de production en associant culture céréalière, élevage et sédentarisation (Khaldoun, 2000). La principale conséquence de cette transformation du mode de gestion des parcours est la surexploitation des ressources biologiques et la dégradation des terres. L'équilibre social et biologique se trouve fortement perturbé par l'intensification des besoins engendrés par la croissance démographique et la mutation de la population steppique, dont une grande partie a rejoint d'autres secteurs

d'activités. La diminution de la population vivante en zones éparses et la baisse de la population nomade traduisent l'importance de la sédentarisation qu'ont vécue les steppes ces dernières années. Il ressort que, la croissance démographique et la sédentarisation de plus en plus importante ont eu comme conséquences l'augmentation de la pression sur les ressources et l'intervention anarchique de l'homme. La pression humaine continue est à l'origine de l'important déséquilibre écologique des zones steppiques (Nedjimi et GuitB, 2012).

### **1.2.2.2 La densité du cheptel steppique et surpâturage**

L'étude menée par Chellig en 1996 et qui visait à déterminer l'évolution du taux de charge des parcours, fait apparaître qu'en 1968, les parcours steppiques avec leurs 1,6 milliards d'UF nourrissaient 7.890.103 équivalents-ovins, ce qui donnait une charge de 1,9 ha/équivalent ovin, (Chellig, 1969) . En 1996, le cheptel steppique équivaut à 19.170.103 équivalents ovins, et la charge réelle des 15 millions d'hectares, correspondrait à 0,78 hectares pour 1 équivalent ovin.

Le Houèrou en 1985(Le Houérou, 1985) a montré que les parcours se sont fortement dégradés et que la production fourragère est équivalente à environ 1/3 de ce qu'elle était en 1968, c'est à dire 533 millions d'UF. La charge pastorale potentielle serait d'environ 8 ha par un équivalent ovin et donc 10 fois supérieure à la charge réelle des parcours ce qui donne lieu à un surpâturage intense qui se manifeste par le maintien trop prolongé du troupeau sur les aires pâturées prélevant une quantité de végétation largement supérieure à la production annuelle. La dégradation des parcours et de la steppe en général est la résultante de cette surexploitation des ressources essentiellement à travers le surpâturage, mais aussi par le défrichement de milliers d'hectares en faveur des cultures céréalières.

Le cheptel a connu des fluctuations importantes, que différentes raisons écologiques ou socioéconomiques peuvent expliquer (Boukhobza, 1982) ; le facteur primordial demeure toutefois la variabilité pluviométrique directement corrélée aux disponibilités fourragères naturelles; durant les années 1940, les sécheresses pouvaient avoir des effets dévastateurs sur le cheptel mais à partir de la fin des années 1960, l'évolution du cheptel semble s'affranchir des conditions climatiques alors que la steppe vit la période sèche la plus longue à l'échelle du siècle. Les sécheresses récurrentes semblent avoir ainsi perdu leur caractère régulateur naturel du cheptel (Aidoud, 1989).

D'après Bedrani, 1995, l'effectif ovin a triplé entre 1960 et 1990, cette augmentation a entraînée un surpâturage à l'hectare, ce qui provoque un surpâturage généralisé.

Selon (Aidoud, 1989), l'impact du surpâturage sur la végétation se traduit par :

- le développement dominant des espèces indésirables, refusées ou très peu consommées par les ovins ;

- la régression du couvert végétal en général, et particulièrement les pérennes ;
- le développement d'une flore post-pastorale riche en thérophytes, favorisée par la concentration des animaux (plantes nitrophiles).

Ainsi, en mauvaise année, l'animal manquant de fourrage est orienté vers les espèces pérennes se trouvant alors au minimum de leurs réserves, ces espèces représentent en fait l'essentiel du potentiel productif des parcours.

Par ailleurs (Aidoud et Aidoud, 1991) ont schématisé l'évolution des groupements steppiques des hautes plaines steppiques Algériennes selon le schéma donné dans la (figure 1.11).

L'analyse de cette représentation schématique reflète qu'à partir des *Stipa tenacissima* pur, la dégradation semble suivre deux vois essentielles qui aboutissent aux groupements à armoise blanche par érosion et aux groupements à sparte par dépôt sableux.

Le remplacement des groupements d'alfa est assuré par celui à *Artemisia herba alba* et *Noaea mucronata*. Il peut évoluer avec une intensification de la pression pastorale, vers un groupement à *Atractylisse ratuloides* et *Lygeum spartum* ou vers une pelouse à *Poa bulbosa*, comme dans le Sud Algérois.

L'évolution vers un groupement à *Noaea mucronata* a été constatée dans le sud algérois. D'une manière globale, la dégradation s'accompagne d'un appauvrissement du cortège floristique et d'une baisse du couvert végétal global, celui des plantes pérennes plus particulièrement.

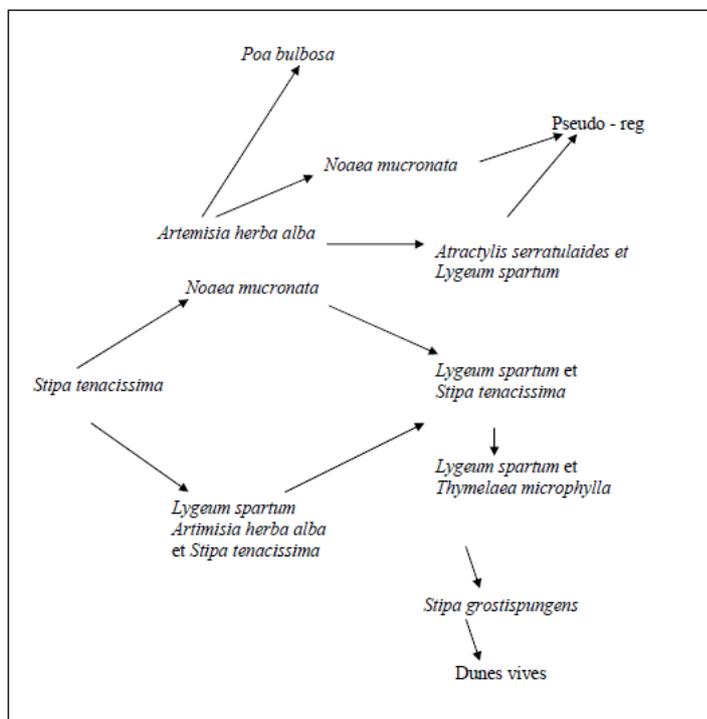


Figure 1.11 : Rotation de contiguïté entre les principaux groupements steppiques des hautes plaines Algériennes, Aidoud et Aidoud, 1991

Le souci majeur de tout pasteur en milieu steppique, est le désir permanent d'accroître l'effectif de son cheptel, avec une diversification des espèces animales. Ainsi, si les ovidés et les caprinés constituent les deux composantes majeures des troupeaux, l'effectif des camélidés reste également à considérer, en particulier sur les formations végétales halophiles de la steppe algérienne. Cette composition des troupeaux se traduit par une incontestable pression animale sur la végétation steppique du milieu aride, élargissant de fait le spectre d'acceptabilité et d'appétibilité des espèces pastorales (Nedjimi et Guit, 2012).

L'exploitation permanente des pâturages naturels, utilisant une charge animale nettement supérieure au potentiel de production des parcours, a pour effet de réduire leur capacité de régénération naturelle (figure 1.11). L'effectif du cheptel pâturant en zones steppiques et dont la composante prédominante est l'espèce ovine (environ 83% du cheptel), n'a cessé d'augmenter depuis 1968. La croissance accélérée de l'effectif a pratiquement triplé le troupeau ovin en l'espace de trente (30) ans. De 5.600.000 têtes en 1968, le cheptel ovin passe à 18.000.000 de têtes en 2003. Il ressort donc selon le tableau 1.3 que l'effectif du cheptel pâturant sur la steppe, a subi une croissance vertigineuse depuis 1968. La superficie des parcours a en revanche subi une régression considérable, en particulier sous l'effet du défrichement pour la céréaliculture. De ce déséquilibre, résulte une augmentation de la charge pastorale, communément désignée par surpâturage.

Ainsi, en mauvaise année, l'animal manquant de fourrage est orienté vers les espèces pérennes se trouvant alors au minimum de leurs réserves, ces espèces représentent en fait l'essentiel du potentiel productif des parcours

Tableau 1.3 : Effectif du cheptel en régions steppiques (milliers de têtes).

<b>Années</b>	<b>1968</b>	<b>1978</b>	<b>1988</b>	<b>1998</b>	<b>2008</b>	<b>2010</b>
<b>Ovins</b>	5 600	8 500	12 000	16 320	16 800	20 000
<b>Caprins</b>	300	560	1 000	1400	1 630	3800
<b>Bovins</b>	120	120	200	280	305	1650
<b>Camelins</b>	100	175	100	135	144	290
<b>Equidés</b>	250	450	530	750	650	-
<b>TOTAL</b>	6 370	9 805	13 830	18 885	19 520	25 740

Sources : FAO statistiques Agricoles, (1974, 1990-99 et 2000-2010-2012)

Il y a surpâturage quand l'effectif du bétail est trop nombreux par rapport à la surface pâturée ou bien y est maintenu trop longtemps, les bonnes espèces prennent un aspect chétif et rabougri avant de disparaître et sont remplacées par des espèces moins appréciées par le bétail, puis ces

dernières sont à leur tour sur-pâturées et certaines d'entre elles disparaissent, jusqu'à l'obtention d'un sol quasi nu très vulnérable à l'érosion (Nedjimi et Guit, 2012).

L'effectif du cheptel pâturant en zones steppiques - dont la composante prédominante est la race ovine (environ 80% du cheptel) - n'a cessé d'augmenter depuis 1968 (Tableau 1.4). 10,7% des éleveurs possèdent plus de 100 têtes ce qui représente 68,5% du cheptel steppique. Par contre, la majeure partie des possédants, soit 89,3%, ne possèdent que 31,5% du cheptel. Cette inégale répartition du cheptel est due à l'inégalité dans la répartition des moyens de production (Nedjraoui, 2002) et (Ziad, 2006).

En 1968, La steppe était déjà sur-pâturée, la charge pastorale réelle était deux fois plus élevée que la charge potentielle. Malgré les sonnettes d'alarmes tirées par les pastoralistes de l'époque, la situation s'est en fait aggravée. En 1998, les parcours se sont fortement dégradés, la production fourragère a diminué de moitié et l'effectif du cheptel est 10 fois supérieur à ce que peuvent supporter les parcours. Cet état des choses résulte de la demande soutenue et croissante de la viande ovine en relation avec la croissance démographique, par la haute rentabilité de l'élevage en zones steppiques du fait de la gratuité des fourrages. Le maintien artificiel d'un cheptel de plus en plus important et le défrichage pour la culture des céréales ont donné lieu à la situation désastreuse que connaît la steppe aujourd'hui.

Tableau 1.4 : Effectifs du cheptel en équivalents-ovin et charges pastorales (ha/eq.ovin)

Années	1968	1998
Equivalents- ovin	7,890	19,170
Production UF/ha	1600 10 <sup>6</sup>	533 10 <sup>6</sup>
Charge potentielle	1 eq.ov/ 4 ha	1eq.ov/ 8 ha
Charge effective	1 eq.ov/1.9 ha	1 eq.ov/ 0.78 ha

source : MATE, 2000

### **Le surpâturage s'explique par deux facteurs principaux :**

- Le manque de création d'emplois (agricoles et surtout non agricoles) pousse les ménages pauvres à défricher des lopins de terre pour produire un minimum de céréales et les pousse à posséder quelques têtes de caprins et d'ovins pour subvenir à un minimum de leurs besoins.

- La gratuité des unités fourragères prélevées sur les parcours pousse les gros possédants à accroître la taille de leurs troupeaux et les conduits aussi à défricher les parcours pour se les approprier.

### **1.2.2.3 Défrichement des parcours et pratiques culturales**

Dans le souci de combler le déficit alimentaire du cheptel, causé par la sécheresse, les éleveurs des steppes, ont opté pour les céréales par le défrichement des parcours. Or, les terres steppiques sont réputées pour être squelettiques. La conséquence du labour sur de telles terres est l'augmentation de leur risque de dégradation par érosion (hydrique ou éolienne) (Bensouiah, 2006) ; (Floret et *al*, 1992).

Au cours des années 70, l'extension de la céréaliculture fut caractérisée par la généralisation de l'utilisation du tracteur à disques pour le labour des sols à texture grossière fragile. Les labours par ces derniers constituent en un simple grattage de la couche superficielle accompagné de la destruction quasi totale des espèces pérennes. Ces techniques de labour ont aussi une action érosive, détruisant l'horizon superficiel et stérilisant le sol, le plus souvent de manière irréversible (Nedjimi et Homida, 2006).

La superficie labourée en milieu steppique est estimée à plus de 02 millions d'hectares (Ministère de l'agriculture, 1998), la plus grande partie de ces terres se situe sur des sols fragiles en dehors des terres favorables des fonds d'oueds ou de Dayates. La technique de labour utilisée est une technique particulièrement érosive. L'utilisation de la charrue à disque ou le cover-crop pour un labour superficiel des sols à texture grossière, se justifie par son coût moins élevé pour des agro-pasteurs soumis à des aléas climatiques importants et donc obligés de minimiser leurs coûts du fait de la faible probabilité qu'ils ont d'obtenir une récolte correcte. En effet, cette culture épisodique détruit les plantes vivaces qui sont remplacées par des espèces annuelles incapables de retenir le sol (Abdelguerfi et Laouar, 1997). Les faibles rendements obtenus (2 à 5 qx/ha) sont loin de compenser la perte de sol qui en résulte et les nuisances générées (Le Houérou, 2002).

### **1.2.2.4 L'éradication des plantes ligneuses**

Cette pratique demeure toujours en vigueur chez les nomades, mais tend de plus en plus à diminuer (Boughani, 1995). L'état actuel de la dégradation des peuplements forestiers montre que la végétation ligneuse a été surexploitée. Ceci s'explique par les besoins en combustible pour la cuisson et le chauffage, amenant les populations à déraciner les espèces ligneuses (*Armoise blanche*, *Noaeamucronata*, *Salsola vermuculata* et *Tetrenda*, *Hammadascorpi*, etc...) où à couper les arbres ou arbuste qui subsistent (*Juniperusphoenica*, *Tamarix*, *Jujubier*, etc...).

### **1.2.2.5 Régime juridique des terres**

Les terres steppiques ont été considérées pendant longtemps comme des terres « arche » et étaient perçues comme propriété privée par les groupes et personnes qui les exploitaient. Lorsqu'en 1975, suite au remaniement du Code pastoral, les terres steppiques furent reversées au domaine de l'État et que celui-ci conféra un droit d'usage aux éleveurs, ce statut ambigu de « terre sans maître » entraîna un désinvestissement tant de la part de l'État que des éleveurs, avec des conséquences néfastes comme la dégradation des parcours et la non-régénération des ressources (M.A.T.E, 2002). Le statut juridique ambigu du foncier dans la steppe encourage cette exploitation irrationnelle des ressources. En effet, les parcours steppiques dont les terres « arche » intégrées au domaine privé de l'Etat, font que les agro-pasteurs les exploitent de manière abusive sans se soucier de la régénération de la flore pastorale. « L'état actuel de dégradation atteint dans les zones arides steppiques représentant plus de 20 millions d'hectares est un problème majeur pour l'Algérie du 3ème millénaire » (Benabdeli, 1992).

### **1.2.3 Parcours steppiques : Etat des lieux**

La dégradation des parcours steppiques due aux phénomènes naturels est amplifiée par la pression croissante que l'homme et ses troupeaux exercent sur ces écosystèmes, ce qui accélère le processus de dégradation des végétations steppiques. La sédentarisation des éleveurs, la situation du foncier ainsi que celle du marché de la viande et des céréales incitent au développement des formes d'exploitation dite minière des steppes (Nedjimi, 2012) ; (Benabdeli, 2000).

Aujourd'hui, la superficie des parcours steppiques, voit sa structure changer dans le temps en faveur des parcours dégradés et des cultures marginales. La superficie des sols dégradés, après avoir atteint 5 millions d'ha en 1985, s'est élevée à 7,5 millions d'ha en 1995, alors que les superficies palatables sont passées de 10 millions d'ha à 8,7 millions d'ha sur cette même période (tableau 1.5). La diminution de la superficie des parcours palatables semble se faire également au profit des cultures marginales qui voient leur superficie passer de 1,1 million d'ha en 1985 à 1,6 million d'ha en 1995, soit 500 000 ha supplémentaires au profit des forêts et maquis, qui gagnent 700 000 ha durant cette même période. Parallèlement, l'effectif du troupeau ovin est passé de 7 millions de têtes en 1980 à 11 millions en 1995. La steppe se caractérise donc de fait par une surcharge de ses parcours dont l'effectif du troupeau, avec un rapport de 1,3 ovin par ha palatable en 2000, contre 0,8 seulement en 1985. Mais que conclure lorsqu'on sait que, en 1985 déjà, la steppe ne pouvait supporter que le quart du troupeau existant à l'époque (Le Houérou, 1985). Etude réalisée pour le compte du ministère de l'agriculture).

Tableau 1.5 : Evolution de la structure de l'occupation du sol de la steppe.

	1985		1995	
	Superficie (millions d'ha)	Part (%)	Superficie (millions d'ha)	Part (%)
Parcours palatables	10	50	8,7	43,5
Parcours dégradés	5	25	7,5	37,5
Terres improductives	2,5	12,5	0,1	0,5
Forêts et maquis	1,4	7	2,1	10,5
Cultures marginales	1,1	5,5	1,6	8
Total	20	100	20	100

Source : MARA, 1985 et HCDS, 1995.

Les indicateurs de la dégradation des ressources végétales sont multiples. Ils se manifestent surtout à travers la diminution du taux de recouvrement et le changement du cortège floristique par la diminution des espèces pérennes productives au profit des espèces annuelles à faible biomasse. Le constat à faire est que la plus grande part des parcours steppiques se trouve soit dégradée, soit dans un état avancé de dégradation. Les statistiques officielles de l'HCDS nous montrent que la part des parcours steppiques relativement bons s'élève à 20% (tableau 1.6).

Tableau 1.6 : état des parcours steppiques en 2005

Etat des parcours (UF/ha)	Superficie (millions d'ha)	(%)	Production
Dégradés	6,5	43,3	30
Moy. Dégradés	5,5	26,7	70
Bons	3	20	120
Total	15	100	220

(Source : HCDS, 2005)

#### 1.2.4 Les coûts économiques de la désertification

Depuis plus de 30 ans, les ressources naturelles des régions arides se dégradent en raison des pressions des hommes sur leur milieu naturel et des crises climatiques qui se sont manifestées dans diverses régions du monde. Cette dégradation du capital naturel entraîne un processus de désertification de plusieurs centaines de millions d'hectares sur tous les continents et conduit à des situations de pauvreté pour des centaines de millions de personnes. La dégradation des écosystèmes est dommageable en termes économiques, sociaux et environnementaux. Prévenir

leur dégradation et restaurer le capital naturel dégradé devraient figurer au titre des priorités nationales et internationales dans le contexte du respect des objectifs du Millénaire. La question des coûts économiques de la dégradation des terres devient actuellement prioritaire dans les réunions internationales sur le développement des régions sèches (Cornet, 2002).

#### **1.2.4.1 Évaluation des coûts économiques**

L'analyse des coûts de la désertification a été jusqu'à présent peu traitée. Ces résultats représentent en fait les coûts économiques de l'inaction dans les régions sèches et une meilleure connaissance de ces coûts déboucherait sur des argumentaires en faveur des investissements en terres arides. En effet, les quelques résultats existants dans la littérature sont éloquentes bien qu'ils soient sous-estimés (Cornet, 2002). Ils ne prennent en compte, en effet, que les coûts directs de la désertification (les seules pertes agricoles). Ainsi, les pays d'Afrique du Nord ont par exemple des coûts annuels de la désertification compris entre 1,36 % du PIB (Algérie) et 0,47 % (Maroc). Dans les pays sub-sahariens, ils se situent entre 1 et 10 % du PIB agricole.

#### **1.2.5 Action de lutte contre la désertification**

Les techniques de lutte contre la désertification ont fait l'objet de nombreuses recherches. Il n'existe malheureusement aucune solution scientifique toute faite pour contrôler la désertification, et personne n'est en mesure de fournir une réponse simple. Il existe cependant de nombreuses solutions partielles mises au point pour des conditions particulières dans des régions précises. Les solutions sont spécifiques de chaque lieu et de chaque situation. Elles reposent sur le contrôle des causes de la dégradation des terres. D'une manière générale, les techniques et les méthodes de lutte contre la désertification peuvent être réparties en quatre catégories correspondant à des stratégies différentes et complémentaires (CNUED, CCD 1992):

- Les méthodes correctives qui visent à arrêter un phénomène, et à réparer les dégradations subies. On peut citer, la fixation des dunes, la lutte contre l'ensablement, les techniques antiérosives et de conservation des eaux et des sols, les reboisements, mais aussi les techniques de réhabilitation des écosystèmes.
- Les techniques permettant de mieux exploiter les ressources, d'en accroître la productivité, d'améliorer leur régénération. Elles correspondent à la formulation de pratiques améliorées et adaptées pour l'agriculture, l'élevage, l'usage de la biomasse et des sols.
- La mise au point de modèles de gestion intégrée des ressources. Cela porte sur la résolution des conflits, la création de lieux de négociation et de décision, l'établissement de règles de gestion, et de sécurisation de l'accès aux ressources.

- La mise en place de mécanismes institutionnels et politiques propices au développement économique et à la préservation des ressources naturelles. Parmi ceux-ci l'établissement de législations et de réglementations, la mise en place d'incitations économiques et fiscales, le développement d'infrastructures, le renforcement des ressources humaines. La lutte contre la désertification et la dégradation des terres s'inscrivent dans une approche globale des problèmes d'environnement et de développement. La viabilité des actions entreprises pour lutter contre la dégradation des terres est souvent conditionnée par l'accroissement et la diversification des ressources permettant une élévation du niveau de vie des populations. Une stratégie efficace visant à réduire ou à arrêter la dégradation des terres devra prendre en compte les critères de développement durable.

### **1.2.5.1 Évaluation et suivi de la désertification**

L'extension croissante des phénomènes de dégradation des terres et l'inquiétude tant des pays concernés que de la communauté internationale ont créé le besoin de mettre au point des outils d'évaluation de surveillance. L'établissement de classes et de taux de dégradation des terres (Warren et Agnew, 1988), présente un certain nombre de problèmes liés :

- à la nature des critères à retenir pour estimer l'état de dégradation;
- à l'évaluation de la résilience et des capacités de récupération;
- à la prise en compte des fluctuations inter-annuelles et de la variabilité ;
- à la disponibilité des données nécessaires;
- au lien existant entre les données et les critères utilisés et la capacité de maintien des systèmes locaux d'utilisation des terres.

Selon ces auteurs, les critères d'évaluation de la dégradation des terres et des tendances de la désertification devraient être clairs, pertinents et spécifiques, tant en termes d'environnement que d'échelle, ce qui suppose une connaissance préalable des processus fondamentaux. Les objectifs poursuivis dans les études de suivi évaluation de la désertification sont doubles : il s'agit d'une part d'évaluer et de mesurer l'état de dégradation des terres afin de diagnostiquer la gravité du problème, de caractériser son étendue et d'en déceler les changements et les évolutions. D'autre part de mesurer les performances des actions de lutte entreprises et l'effet des politiques nationales dans ce domaine.

Deux ensembles principaux de données mondiales ont servi de source pour les données relatives à la désertification: D'une part, le programme d'évaluation mondiale de la dégradation des sols (Global assessment of soil degradation, GLASOD, de la FAO. D'autre part, les données du Centre international d'étude des zones arides et semi-arides (International Center for Arid and Semi-Arid Land Studies, ICASALS, de l'Université Technique du Texas, dont les chiffres portent sur la dégradation des sols et/ou sur les zones souffrant de dégradation de la végétation.

Par ailleurs, un certain nombre d'études de cas détaillées permettent d'arriver à une compréhension valable des modifications de l'environnement et de la façon dont les populations y réagissent en un lieu donné. Ces études au niveau local, menées souvent durant de nombreuses années, démontrent la résilience des systèmes pastoraux et agricoles, face aux variabilités de grande ampleur de la pluviosité (Toulmin, 1993).

La désertification et la dégradation des sols résultent de mécanismes et processus complexes et interactifs, pilotés par un ensemble de facteurs agissant à différentes échelles spatiales et temporelles. Leur suivi exige d'une part la description des conditions biophysiques et socioéconomiques des milieux subissant ces phénomènes, et d'autre part la compréhension des mécanismes et processus résultant de ces conditions.

Ce suivi repose tout d'abord sur l'acquisition de paramètres de base permettant de décrire les états du milieu et leur dynamique aux échelles spatio-temporelles pertinentes, puis sur l'analyse, et le cas échéant la modélisation, des interactions entre facteurs induisant des processus contribuant à la désertification. Sans développer tous les aspects qui donnent lieu à de nombreuses recherches, nous aborderons sommairement trois aspects : les indicateurs, les observatoires et contribution des outils spatiaux.

### **1.2.5.2 Les indicateurs**

Les indicateurs sont traditionnellement employés dans l'évaluation, le suivi et la prévision. Ils ont selon l'OCDE, (1993) deux fonctions principales :

- réduire le nombre de mesures et de paramètres qui seraient normalement nécessaires pour rendre compte d'une situation avec exactitude,
- simplifier le processus de communication des résultats de mesures aux utilisateurs. Leur objet consiste à condenser un grand nombre d'informations en quelques mesures compréhensibles, puis à nous aider à décider quelle action déclencher. Pour ce faire les indicateurs doivent être corrélés aux buts et objectifs et exprimés en des termes compatibles avec ces buts et objectifs.

Un bon indicateur doit être pertinent par rapport au problème, fondé sur des données et analyses fiables et répondre aux besoins de l'utilisateur. Il doit être suffisamment sensible pour donner précocement des indications sur les changements (Rubio et Bochet, 1998).

Dans le contexte de la Convention, on doit considérer différents types d'indicateurs; d'une part des indicateurs concernant la mise en place des dispositifs et des actions de la Convention au niveau national ou régional. Ils sont désignés sous le nom d'indicateurs de mise en œuvre.

D'autre part les indicateurs concernant l'impact des actions entreprises sur le phénomène de désertification.

### **1.2.5.3 Les observatoires**

Le développement de méthodes d'évaluation et de suivi de l'état de l'environnement et de l'impact des actions de lutte contre la dégradation des terres repose sur la mise en place de réseaux d'observation à long terme utilisant des méthodologies de collecte et de transfert de données compatibles. L'intérêt de ces observatoires est de collecter les données nécessaires, sur une base harmonisée, de suivre dans le temps l'évolution de processus et de permettre la définition de situations de références. Ils permettent de développer des indicateurs et de les tester, d'élaborer des outils d'aide à la décision intégrant ces indicateurs. Ils constituent également des sites privilégiés de recherche sur l'étude des mécanismes et des processus, ainsi que sur les facteurs déterminant les évolutions.

L'Observatoire du Sahara et du Sahel a mis en place un Réseau d'Observatoires pour la Surveillance Ecologique à Long Terme (ROSELT/OSS, 1995). Ce dispositif a été conçu avec et au service des pays africains pour assurer le suivi à long terme de la désertification et développer les activités de recherche associées. Il est constitué par un ensemble d'observatoires fonctionnant en réseau à l'échelon régional de la zone géographique de l'OSS sur le continent africain. Le projet ROSELT a été bâti sur une démarche ascendante partant de la demande des Etats qui ont proposé des sites candidats et des équipes de recherche et de suivi. Un mécanisme d'expertise et de labellisation a été mené conduisant à la sélection de 23 observatoires labellisés ROSELT. Un ensemble restreint de 12 sites pilotes a été sélectionné pour la première phase du projet. Le projet est supporté financièrement par divers bailleurs de fonds dont le Fonds Français pour l'Environnement Mondial, la Coopération française et la Coopération suisse.

La stratégie de ROSELT s'inscrit délibérément comme une contribution essentielle à la compréhension des phénomènes d'environnement en liaison avec la problématique des changements globaux et du développement durable, et de la lutte contre la désertification, c'est un outil à la fois au service de la recherche et au service du développement.

Dans le cadre de la recherche scientifique et technique, l'Algérie s'est dotée d'un réseau de recherche scientifique et de développement technologique chargé de la mise en oeuvre et de l'exécution des programmes nationaux de recherche (PNR) en aménagement du territoire et de développement de la zone steppique prévu par la loi de 1998. Il comprend un domaine réservé à la lutte contre la désertification et au développement des régions arides et semi-arides.

L'Algérie participe actuellement, au côté des autres pays de la région, au Programme du Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme (ROSELT) de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) visant à améliorer les connaissances sur les mécanismes, les causes, les conséquences et l'étendue de la désertification. Une démarche partenariale est initiée et associe l'Unité de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres (URBT) de l'Université des

Sciences et de la Technologie d'Alger (USTHB), le Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA), l'Institut National de Recherche Forestière (INRF), la Direction Générale des Forêts (DGF), l'Office National de la Météorologie (ONM) et l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH).

La mise en place d'observatoires dans les régions touchées par la désertification vise le suivi à long terme des facteurs du milieu (paramètres climatiques, édaphiques, hydriques, etc.), l'occupation des terres et des états de la surface des sols, la végétation et les ressources végétales, la faune, les ressources en eau, la gestion foncière, les facteurs socio-économiques et le suivi des usages.

#### **1.2.5.4 Les outils spatiaux pour le suivi de la désertification**

La cartographie et le suivi de l'extension spatiale de la dégradation constitue une des bases de la connaissance du phénomène de désertification et est indispensable à l'établissement de plans de lutte et de programmes d'utilisation durable des ressources naturelles en zones arides et notamment en méditerranée.

Si de nombreuses études de terrain sur les processus de dégradation et la dynamique des écosystèmes ont été conduites, il demeure difficile et incertain de généraliser les résultats obtenus à des échelles plus vastes et à des ensembles régionaux. Une information détaillée sur l'état actuel de la végétation et des sols à une échelle régionale n'est souvent pas disponible. Les études de terrains précises et irremplaçables ne permettent pas d'établir des cartographies régionales détaillées en raison de leur coût élevé, de leur standardisation insuffisante et des difficultés d'accès à certains terrains. La télédétection à partir des satellites constitue une source d'informations alternatives. Cependant les données radiométriques recueillies ne correspondent pas directement à l'information souhaitée et doivent être interprétées pour obtenir ces informations (Bonn et Escadafal, 1996).

Le programme VSD (Veille Satellitaire de la Désertification, 1993-1996) a souligné que les techniques de télédétection, combinées avec une très bonne connaissance du terrain, permettaient de détecter la progression de la dégradation des zones arides mais également leur restauration sous l'effet bénéfique des actions de protection et de lutte. Au-delà de ces acquis, il est apparu que la diversité des méthodes utilisées pour surveiller les milieux arides rendait difficilement comparables d'un endroit à l'autre, voire d'une équipe scientifique à l'autre. Ce constat a mis en évidence la nécessité de donner une dimension régionale à la mise au point d'outil de surveillance.

### **1.2.5.5 Dégradation des terres et changements climatiques**

Un questionnement et un débat permanent existent sur les interactions réciproques entre désertification et changements climatiques. La difficulté provient du fait que nos connaissances sur les processus de dégradation des terres et sur les mécanismes des changements climatiques, sont encore bien incomplètes.

Suite à la période de sécheresse prolongée qui a sévi en Afrique sahélienne, on constate que cette pluviosité moindre et sa variabilité plus grande. Cependant, l'impact de ces sécheresses est faible ou négligeable là où l'impact humain et animal est faible ou nul. Pour l'ensemble des auteurs, l'accentuation des phénomènes de sécheresse n'est pas à l'origine de la désertification mais elle constitue un facteur important d'aggravation de l'effet anthropique sur la dégradation des terres en zones sèches (Cornet, 2002).

### **1.2.6 Principales actions menées dans les hautes plaines steppiques**

Les stratégies de « développement pastoral », pendant l'économie dirigée, sont issues de compromis entre les « impératifs » techniques et choix politiques, se fondent le plus souvent sur des schémas modernistes qui ne tiennent compte ni de la logique des pratiques traditionnelles ni de la réalité des rapports de force locaux.

Cette inadéquation des politiques pastorales s'explique sans doute en grande partie par les lacunes de l'information sur le milieu. Mais il importe de s'interroger sur les causes de ces lacunes : n'y a-t-il pas sous-utilisation du potentiel scientifique, manque de coordination entre techniciens et chercheurs et absence de demande précise des autorités concernées? Compte tenu de la complexité des problèmes du pastoralisme en Algérie, du poids des facteurs historiques et de la volonté modernisatrice des pouvoirs publics (Guillermou, 1990).

Les politiques d'amélioration pastorale ont porté essentiellement sur les parcours steppiques et l'élevage ovin. Les mêmes actions sont reprises avec changement des rapports sociaux de production, les moyens de production, cheptel et matériel, devenaient propriétés collectives.

Les tentatives d'organisation de la steppe sont nombreuses et très peu ont donné des résultats positifs dans le sens de l'amélioration des parcours.

#### **1.2.6.1 Le Barrage vert**

Selon (Nedjraoui et Bédrani, 2008), de 1962 à 1969 il y a eu la mise en place les chantiers populaires de reboisement (CPR). 99.000 ha de plantations forestières ont été réalisés dans le cadre de l'amélioration et l'aménagement des parcours et la lutte contre l'érosion éolienne.

Le « Barrage vert », projet lancé en 1974, couvrant les zones arides et semi-arides comprises entre 200 et 300 mm, reliant les frontières algériennes occidentales aux frontières orientales et

s'étalant sur une superficie de 3 millions d'hectares, avait pour objectifs de freiner le processus de désertification et de rétablir l'équilibre écologique. La désertification était perçue à l'époque comme une « avancée des déserts ». Fort coûteux, le "barrage vert" a été une erreur technique : il est difficile de faire pousser des arbres sur des sols souvent inadaptés et sans irrigation prolongée entre les isohyètes 200 et 350 mm. De plus, le choix de l'espèce, le pin d'Alep, très vulnérable à la chenille processionnaire, n'a pas été scientifiquement réfléchi.

D'après (Mohammedi et *al*, 2006), toutes les opérations entamées ont été faites sans études au préalable et les résultats obtenus n'étaient pas satisfaisants dans leur ensemble. Parmi les causes principales de cet échec, il faut noter le mauvais choix des espèces végétales et des techniques de plantation, la transformation d'un espace de parcours en zone boisée, l'absence d'intégration de la population dans le projet et l'inadéquation entre la vocation des terres et l'aménagement réalisé.

Aujourd'hui, à part certaines zones au niveau des piémonts Nord de l'Atlas Saharien où l'espèce a pu se développer correctement, il n'en reste que des traces formées par quelques pins d'Alep rabougris (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

#### **1.2.6.2 Création de coopératives pastorales**

Le lancement de la Révolution Agraire et la promulgation du code pastoral, a pour principal objectif la limitation du cheptel des gros possédants, la création de coopératives pastorales pour les petits éleveurs et une meilleure gestion de la steppe à travers des mises en défens, une interdiction des labours sur les zones pastorales, l'arrachage des espèces ligneuses. Des conflits d'intérêt sont apparus lors de l'application du Code Pastoral et toutes ces dispositions n'ont pu être appliquées. Aujourd'hui, bien qu'il n'ait jamais été abrogé, plus personne n'en parle et les mêmes rapports de force qu'avant son existence subsistent (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

La première et la deuxième phase de la Révolution Agraire ont donné lieu la création des Coopératives Agricoles Polyvalentes Communales de Service (CAPCS) pour l'approvisionnement des éleveurs en biens alimentaires et domestiques. La troisième phase a été réduite à la création de 200 coopératives d'élevage pastoral (CEPRA) et 49 ADEP et le versement des terres au Front National de la Révolution Agraire.

Ainsi, la création de l'association du développement de l'élevage pastoral (ADEP) dont l'objectif était de provoquer un changement dans les systèmes d'élevage ovin traditionnel en agissant sur la sédentarisation des nomades par le biais de l'accroissement de la charge à l'hectare moyennant une mise en défens et l'introduction des techniques de pâturages et de conduite des troupeaux rationnelles.

Cette association était la base de création des ZDIP (zone de développement intégré du pastoralisme), mises en place durant le plan quadriennal 1970 – 1973, dont l'objectif était d'inciter les éleveurs à s'organiser sur les parcours par le biais de l'utilisation et de la rentabilisation en commun des infrastructures et techniques mise a leur disposition. Chaque commune relevant de ces ZDIP s'est dotée d'une coopérative d'approvisionnement, de commercialisation et de service (CAPCS). L'objectif de l'ADEP au niveau de ces ZDIP était la création de 40 coopératives pastorale. Chaque coopérative est composée de 26 éleveurs ayant chacun 100 brebis et 5 béliers et disposant de 10.000 ha de parcours clôturé. La conduite du troupeau adoptée est fonction des disponibilités alimentaires et la charge supportable est 40 coopératives pastorales organisées regroupant 1500 familles nomades structurées et détribalisées, utilisant 500.000 ha de parcours exploités rationnellement par 150.000 brebis produisant 120.000 agneaux /an (Chellig, 1985).

Le nombre de coopératives créées était très faible par rapport à la population autochtone, les zones délimitées n'étaient pas en adéquation avec les habitudes des éleveurs et le système de vie de ces habitants a été bouleversé. Cela s'est traduit par un abandon de cette politique et une disparition pure et simple de ces coopératives (Mohammedi et al, 2006). Elles furent dissoutes en 1976 n'ayant pas répondu à l'objectif dans le sens de l'amélioration des productions pastorales et de la gestion des parcours.

Selon (Yerou, 1998), le phénomène de la détribalisation a joué un rôle néfaste pour ce projet de développement. L'organisation sociale (tribale) était tellement bien soudée et ancrée, qu'il ne fallait pas la briser mais au contraire, l'amender, en faire un pilier sociologique, avec une négociation de nouveaux modes de conduite et de gestion.

### **1.2.7 Le dossier steppe**

Le plan quinquennal (1985-1989) est caractérisé par la mise en place de deux plans de développement steppique (dossier viandes rouges et dossiers steppe). Le dossier viandes rouges avait pour objectif l'organisation de la filière viandes rouges, notamment ovines. Cette organisation touchait les fonctions de (production, commercialisation du cheptel vif, abattage et transformation).

La priorité donnée à ce dossier était le délestage de la steppe des animaux improductifs et l'intensification de l'élevage ovin en zone céréalière.

On a assisté à l'inverse de ce qui avait été prévu, les offices des viandes étaient chargé de "délester" et offraient des prix intéressants incitant les agriculteurs- éleveurs de la zone agropastorale à acheter des brebis et à les remettre sur la steppe. La mise en défens appliquée sans aucune vulgarisation au préalable n'a eu, quant à elle, aucun résultat, puisque les éleveurs

refusaient cette mise en défens. On a constaté un échec pour organiser en groupe les utilisateurs des parcours afin de faciliter l'introduction de meilleurs systèmes de contrôles des pâturages et de production des droits de pacage des réserves (Benguerai, 2006).

L'adoption du dossier steppe a donné lieu la création du Haut-Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS), chargée de mettre en place une politique de développement intégré sur la steppe en tenant compte de tous les aspects économiques et sociaux. Alors que son texte de création le chargeait d'impulser le développement global de la steppe, les réalisations du HCDS se sont limitées à la réhabilitation des parcours dégradés par des mises en défens et des plantations d'atriplex, à la création de quelques zones d'épandage, à la multiplication de points d'eau (les derniers réalisés utilisant l'énergie solaire).

### **1.2.7.1 Le programme national de mise en valeur**

Les derniers programmes appliqués dans les zones steppiques concernent le programme national de mise en valeur des terres par la concession qui créait des exploitations agricoles sur des terres marginales steppiques après les avoir aménagées (défoncements, épierreage, mobilisation d'eau pour l'irrigation) et le programme national de développement agricole (PNDA) qui a débuté en 2000 et qui visait le remplacement de la céréaliculture et de la jachère par des cultures à plus haute valeur ajoutée.

Ces deux programmes ont permis, grâce à de généreuses subventions, d'accroître les superficies irriguées mais n'ont pas évité de nombreuses erreurs techniques et économiques.

Ainsi, on a souvent obligé les bénéficiaires des terres mises en valeur à faire de l'arboriculture fruitière (alors que la plupart, anciens nomades, n'y connaissaient rien). Par ailleurs, aucune incitation n'a été donnée pour que les agriculteurs produisent des fourrages qui auraient pu limiter la pression sur les parcours. Aussi, la plupart des bénéficiaires du PNDA ont-ils opté principalement pour le maraîchage (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

### **1.2.7.2 Principales projets pastorales réalisés en milieu steppique**

Dans le souci d'améliorer la gestion des parcours steppiques et de ralentir leur dégradation, de nombreux projets ont été lancés depuis l'indépendance. Depuis 1968 et avec la participation du PNUD, des projets avaient pour but l'amélioration des ressources pastorales (cultures fourragères et élevage ovin) dans un but d'aménagement intégré des terrains de parcours à travers des études phytoécologiques et des expérimentations agricoles. Les applications de ces projets pratiquement inexistantes ne valaient pas les investissements que l'on a concédés. Les documents de synthèse (rapports et cartes) élaborés par les experts servent toujours de référence aux pastoralistes actuels.

Les principales études et réalisations lancées dans les années quatre-vingt, sont en général prises en charge par le HCDS. La steppe a bénéficié pour l'ensemble de ses régions de 165 projets relatifs au programme pastoral pour la période 1985-1992. Ce programme concerne la mise en valeur des parcours avec la réalisation de forages, puits pastoraux, séguias, ouvertures de piste, l'amélioration foncière, la création d'unités pastorales et répartition des ressources naturelles.

Depuis 1992, les programmes sur la steppe sont réalisés à travers une approche participative qui donne lieu à une étroite collaboration entre les agropasteurs et les structures chargées de réaliser ces programmes, en l'occurrence le HCDS.

La réalisation de ces Grands Travaux a trouvé l'adhésion des populations pastorales qui ont été impliquées. La mise en défens sur les zones dégradées est souhaitée et approuvée par les pasteurs. Il en est de même pour les plantations pastorales susceptibles de réhabiliter les écosystèmes fortement dégradés.

Les bénéficiaires qui participent au projet sont conscients de l'intérêt de ces plantations et sont prêts à les multiplier et à les préserver. Toutes ces actions ont été développées en partenariat avec les communes steppiques ce qui a permis d'introduire un nouveau type d'exploitation des parcours institutionnalisé en 1997 et qui concerne la location des périmètres aménagés ou mis en défens par les communes.

A partir de l'année 2000, le plan national de développement Agricole, a pour objectif l'amélioration du niveau de la sécurité alimentaire ». Il s'articule autour de l'incitation et le soutien des exploitants agricoles pour :

Développer les productions adaptées aux zones naturelles et aux terroirs, adapter les systèmes d'exploitation des sols dans les régions arides et semi-arides. Ces actions fondées sur les contraintes agro-climatiques convergent "vers des objectifs de reconstruction du territoire agricole et de conservation des ressources naturelles (eau et sol) aptes à favoriser le développement durable". La mise en œuvre des programmes est soutenue par le Fonds National de Régulation et Développement Agricole (FNRDA).

Dans le domaine des cultures fourragères, les actions soutenues concernent le développement de la production et de la productivité par l'acquisition d'intrants agricoles (semences, opérations culturales) et de matériel agricole spécialisé (faucheuse, ensileuse, silos...).

### **1.2.7.3 Étude de la carte nationale de sensibilité à la désertification**

A l'aide d'images satellites, la Direction Générale des Forêts (DGF) a établi, avec le concours du Centre National des Technologies Spatiales (CNTS), une carte de sensibilité liée à la désertification figure 1.12. Le Tableau 1.7 répertorie ces différentes zones (M.A.T.E, 2002). La méthodologie adoptée conjointement entre le CTS et la DGF s'appuie sur :

- les données images satellitaires
- les données climatiques
- la réalisation des cartes de base
  - la carte d'occupation du sol
  - la carte morpho-pédologique
  - la carte d'ensablement
- les missions de terrain
- le modèle de croisement des cartes thématiques
- la réalisation de la carte de synthèse : carte nationale de sensibilité à la désertification

#### 1.2.7.4 Travaux d'inventaire des ressources naturelles

La connaissance du fonctionnement des écosystèmes à travers les études sur la biomasse, la minéralo-masse, la productivité primaire et les mécanismes d'adaptation aux conditions écologiques a permis de comprendre les phénomènes de désertification, l'un des déséquilibres majeurs de la biosphère, de proposer des solutions pour l'utilisation rationnelle des ressources pastorales de manière à mieux utiliser les ressources fourragères et énergétiques disponibles pour les troupeaux.

Tableau 1.7 : Superficies affectées par la désertification

Types de zones	Superficie En hectares
Zones désertifiées	487.902
Zones très sensibles	2.215.035
Zones sensibles	5.061.388
Zones moyennement sensibles	3.677.680
Zones peu/pas sensibles	2.379.170

Les travaux d'inventaire et d'évaluation des ressources naturelles ont donné lieu à la réalisation de cartes telles que les cartes de l'occupation des terres et pastorale de Mécheria d'El Kreider à l'échelle de 1/200.000 et les cartes pastorales de Mécheria au 1/200.000 (ROSELT/OSS, 2005).

#### 1.2.7.5 Autres études dans le milieu steppique

De nombreux auteurs ont orienté leurs travaux sur l'évaluation du taux de la dégradation des steppes, citons à titre d'exemple (Aidoud, 1989), a poursuivi les observations sur l'évolution saisonnière et les variations interannuelles de la végétation afin de rechercher de façon de plus en plus précise les relations milieu-plante-animal et les modèles adéquats de leur représentation.

(Kadi et Dahmani , 1995) ont étudié la désertification le long d'un transect Nord-Sud en Algérie, (Aidoud,1997), ont abordé l'étude de la structure dynamique des communautés végétales du complexe alfa-armoise-sparte.

Le fonctionnement des systèmes socio-économiques détermine l'impact des usages et des pratiques sur ces ressources. Ce suivi à long terme dans ces régions qui a débuté dès les années 1970 et se poursuit encore aujourd'hui (CRBT, 1978 ; URBT, 1994 ; Programme ROSELT/OSS/Algérie, 2001-2005) dans des stations installées dans différentes zones steppiques, a permis d'évaluer et de cartographier leur potentialité, de quantifier l'intensité de leur dégradation et d'identifier les facteurs qui en sont responsables. Une synthèse des travaux antérieurs est donnée dans le document final du projet ROSELT disponible en ligne sur le site de l'OSS.

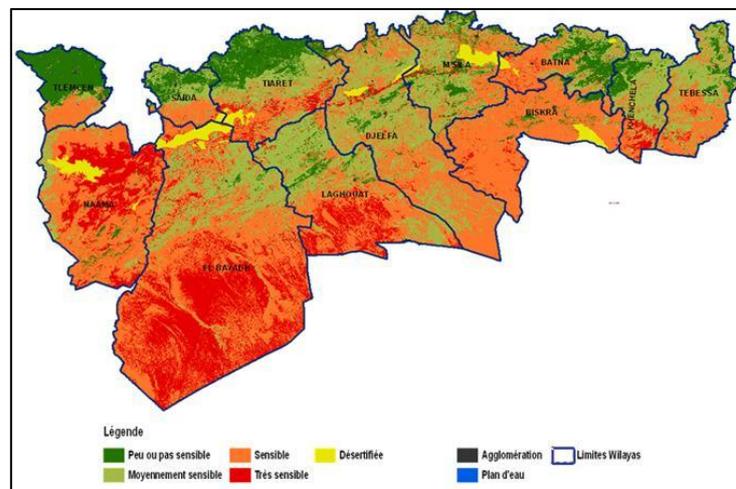


Figure 1.12 : **Carte nationale de sensibilité à la désertification au 1/200.000 couvrant 12 wilayas steppiques (27 millions 435 mille hectares)**

### 1.3 Cadre institutionnel de la lutte contre la désertification en Algérie

En ce début de millénaire, les changements géopolitiques de cette dernière décennie ont conduit à une globalisation effective des affaires du monde. Le reflux des économies à planification centralisée, la fin de la guerre froide, les progrès de la démocratie, l'élévation du niveau d'instruction, les innovations technologiques qui permettent la circulation des idées, sont autant de faits marquants des années quatre-vingt-dix, augurant de nouvelles perspectives dans les relations internationales, particulièrement entre le Nord et le Sud.

La Convention des Nations Unies de Lutte contre la Désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse ou la désertification, en particulier en Afrique, adoptée en 1994 a été signée par l'Algérie en 1994, entrée en vigueur en 1996. Cette convention, premier instrument international juridiquement contraignant, a pour moteur essentiel à l'échelle nationale le PAN (Programme d'Action National) et faire régulièrement le point sur l'état d'avancement des actions qui y sont retenues. En 2003, l'Algérie a réalisé et validé son PAN.

### 1.3.1 Convention des nations unies sur la lutte contre la désertification

La question a été discutée pour la première fois à l'échelle planétaire lors de la Conférence des Nations unies sur la désertification organisée en 1977 à Nairobi (Kenya). Toutefois, en raison d'un manque d'appui administratif et financier, les tentatives de s'attaquer efficacement au problème de la désertification ont échoué. C'est pourquoi, en 1992, les participants à la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement, connue sous l'appellation de sommet « Planète Terre », ont recommandé l'élaboration d'une Convention sur la lutte contre la désertification (CCD).

Selon (Cornet, 2002), la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification vise à garantir un engagement à long terme des Parties par un document juridiquement contraignant. Elle a pour objectif de lutter contre la désertification et d'atténuer les effets de la sécheresse dans les pays gravement touchés, en particulier en Afrique, grâce à des mesures efficaces à tous les niveaux, appuyées par des arrangements internationaux de coopération et de partenariat, dans le cadre d'une approche intégrée compatible avec le programme Action 21, en vue de contribuer à l'instauration d'un développement durable dans les zones touchées.

Les Organisations internationales et les pays non signataires y assistent comme observateurs ; les décisions sont prises par consensus. Au lieu de créer un nouveau fonds pour lutter contre la désertification, la convention a souligné la nécessité d'améliorer la gestion et de mobiliser et coordonner les fonds existants en créant un *Mécanisme Mondial*. Il est chargé par la conférence des parties d'identifier les ressources financières existantes, de mobiliser et de canaliser les ressources financières des organisations bilatérales et multilatérales à tous les niveaux pour concevoir et exécuter les programmes et projets. Un autre organe subsidiaire de la convention est le Comité de la Science et de la Technologie (CST), formé des représentants des Etats. Il se réunit en même temps que la conférence des parties et il traite des aspects scientifiques, de coopération et de transfert des technologies (Cornet, 2002).

L'approche de la convention repose sur des obligations et sur le principe de solidarité entre pays touchés et pays développés. Elle oblige les pays concernés parties à accorder la priorité à la lutte contre la désertification et contre les effets de la sécheresse, à s'attaquer aux causes de la désertification, en particulier aux facteurs socio-économiques et à collaborer dans ce sens avec les populations concernées. Parallèlement, les pays développés parties s'engagent à soutenir activement ces efforts et à fournir un concours important à cette fin.

De la Convention découle un certain nombre de principes directeurs qui doivent sous-tendre les stratégies d'application mises en œuvre :

- La lutte contre la désertification et la dégradation des terres s'inscrivent dans une approche plus globale des problèmes d'environnement et de développement.

- L'approche participative est essentielle dans la définition des stratégies, des plans d'action et des projets de lutte.
- La science et la technologie constituent des outils essentiels dans la lutte contre la désertification.
- La mise en place de projets concrets, susceptibles d'apporter des solutions adaptées aux problèmes majeurs rencontrés localement.

Un certain nombre de questions cruciales pour le fonctionnement de la convention, notamment les procédures de mise en œuvre, la stratégie opérationnelle du mécanisme mondial (MM), l'amélioration des travaux du CST, entraînent inévitablement des débats tendus, avec pour résultat un fossé grandissant entre pays développés et en développement. Or un climat de méfiance n'est pas favorable à la création de partenariats durables, et la convention risquerait fort de perdre sa légitimité si ces questions n'étaient pas résolues à la satisfaction de toutes les parties.

Pour faciliter la recherche d'une solution au problème de la désertification, le Mécanisme Mondial a été mis en place sous l'autorité de la Conférence des Parties à la Convention des Nations Unies sur la (CCD) tenue à Rome en 1997. Le Fonds International de Développement Agricole (FIDA) a été choisi comme organisation hôte du MM, après ratification de la Convention par une assemblée au niveau ministériel à laquelle participaient plus de 113 pays.

Le MM est au cœur d'un réseau dynamique de partenaires résolus à concentrer leurs énergies, leurs ressources et leur savoir sur la LCD. La tâche principale du MM est d'accroître l'efficacité et l'efficience des mécanismes financiers existants et de promouvoir des mesures afin de mobiliser des ressources financières importantes pour la mise en œuvre de la Convention et de les acheminer vers les pays en développement touchés. Le MM ne se contente pas de mobiliser les ressources financières, mais il en canalise le flux, garantissant ainsi une efficacité et une efficience financières accrues et assurant une approche holistique et équitable de la distribution des ressources. En conséquence, le MM apparaît désormais comme une institution incontournable dans tout scénario de financement des projets de LCD notamment au Maghreb (De rj, 2004).

### **1.3.2 Les regroupements régionaux**

Il existe formellement cinq regroupements aux Nations unies pour la représentation du monde : l'Afrique, l'Asie, l'Amérique latine et les Caraïbes, l'Europe centrale et orientale et le groupe intitulé « Europe de l'Ouest et autres ». Le groupe régional d'Afrique est le groupe le plus actif dans les négociations. Toutefois vu le grand nombre de pays et la faible structuration interne par

manque de moyens, délégations peu importantes, le processus de décision est quelque fois difficile.

### **1.3.3 Cadre institutionnel régional et local**

Il existe d'autres organisations africaines impliquées dans la mise en œuvre de la CCD, parmi lesquelles, celles du Maghreb avec l'Union du Maghreb Arabe qui a été créé en 1989 à Marrakech, ce regroupement des pays d'Afrique du Nord comprend l'Algérie, la Lybie, le Maroc, la Mauritanie, et la Tunisie pour la coopération économique, culturelle et scientifique.

L'organisation peine à trouver ses modalités de coopération et la mise en œuvre de la CCD reste avant tout l'affaire des Etats. Sur le plan de l'implication de la société civile, les fortes prérogatives réaffirmées sans cesse par les Etats ne permettent toujours pas au jeune mouvement associatif d'exprimer son fort potentiel basé sur une population jeune et très formée.

Au niveau local, l'application et la mise en œuvre de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification est coordonnée par l'Organe National de Coordination sur la lutte contre la désertification mis en place par un arrêté du Ministre de l'Agriculture. Cet organe est abrité par la Direction Générale des Forêts et présidé par le Directeur Général des Forêts.

### **1.3.4 Les plans d'actions nationaux, sous régionaux et régionaux**

Les plans d'actions nationaux (PAN) sont au cœur de la convention et constituent le cadre conceptuel et légal pour la mise en œuvre de la convention au niveau national et local. Ces plans d'actions doivent dresser un état des lieux et suggérer une stratégie de lutte (étapes et mesures à prendre en fonction de la spécificité des écosystèmes). Le plan d'action national documente les actions et initiatives qui seront entreprises dans chaque secteur d'activités pour assurer la croissance économique, la protection et la sauvegarde de l'environnement et des ressources.

La convention exige que les pays affectés élaborent et mettent en œuvre ces plans d'action avec la participation entière des communautés locales et de tous les acteurs intéressés. Ils doivent être élaborés sur la base de consultations entre les pays touchés, les pays donateurs et les organisations intergouvernementales et non-gouvernementales et doivent par la suite être intégrés aux autres programmes de développement. Ce processus est sensé améliorer la coordination et canaliser l'aide au développement là où elle sera la plus utile. Il doit conduire à des accords de partenariat qui précisent clairement les contributions respectives des organisations sinter nationales et des pays touchés et donateurs.

L'objectif visé est que les pays développés favorisent la mobilisation d'importantes ressources financières au bénéfice des plans d'actions. Les pays donateurs doivent également promouvoir l'accès à la technologie, aux connaissances et au savoir-faire appropriés.

### **1.3.5 Profil institutionnel**

En Algérie la mission en relation avec la lutte contre la désertification est dévolue à deux ministères : celui de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et celui de l'Agriculture et du développement Rural à travers la Direction Générale des Forêts.

- Le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) a été créé par le décret n° 2000/257 du 26 Août 2000 portant nomination des membres de gouvernement. Le MATE est la structure gouvernementale chargée de la gestion de l'environnement et de la coordination de la politique nationale de protection des différents écosystèmes. Ce rattachement de l'environnement à l'aménagement du territoire dénote une réelle prise de conscience au niveau des décideurs de l'importance des enjeux environnementaux et d'une revalorisation du rôle de l'environnement. Il comprend la Direction Générale de l'Environnement (DGE) instituée en mars 1995 après la fusion de la Direction de l'Environnement (DDE) et de l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE). L'Inspection Générale de l'Environnement (IGE), créée par décret n° 96-59 du 27 Janvier 1996 portant sur son organisation et son fonctionnement, est également chargée de veiller à l'application de la réglementation en vigueur en matière de protection de l'environnement. Le Conseil National Economique et Social (CNES), est un autre organe consultatif de dialogue et de concertation entre partenaires économiques et sociaux dans les domaines économique, social et culturel. Le Fonds National pour l'Environnement, a été institué par la loi des finances n° 91-25 du 18 Février 1991. Il s'agit de la création d'un compte spécial destiné au ministère chargé de l'environnement pour mener des actions de protection de l'environnement et de sensibilisation. Le Haut Conseil à l'Environnement et au Développement Durable est une structure administrative en charge des problèmes environnementaux en Algérie.

- Le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural à travers la Direction Générale des Forêts qui est structurée en Conservation des forêts au niveau de chaque wilaya assume également les missions de lutte contre la désertification à travers des actions de reboisement.

### **1.3.6 Stratégies et priorités établies dans le cadre des plans et politiques de développement durable**

L'Algérie qui, au même titre que les autres pays du Maghreb, a ratifié la Convention le 22 mai 1996 et pris un certain nombre de mesures pour mettre en œuvre la CCD tant au niveau de programmes d'action que de projets. Le rapport national de la mise en œuvre de la convention édité en 1991, estime que « la politique de LCD et la conservation des ressources naturelles sont à la charge de l'Etat » Un certain nombre d'institutions et d'organismes sont impliqués dans la mise en œuvre notamment (Derj, 2004) :

- l'Organe National de Coordination créé en juin 1998 et qui a pour missions principales d'assurer la coordination intersectorielle dans l'élaboration et la mise en œuvre du Plan d'Action National.
- Une sous-direction au sein du Ministère de Affaires Etrangères, interface entre les organismes nationaux et institutions internationales chargées de l'environnement, a été créée à cet effet.
- Le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche par le biais de la Direction générale des forêts (point focal de la convention) est l'institution chargée d'élaborer et d'appliquer la politique de prévention de lutte contre toutes formes de dégradation du milieu naturel et mettre en œuvre des actions de développement durable.

D'autres départements et institutions sont impliqués dans cette mise en œuvre notamment :

- Le Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Environnement.
- Le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.
- Le Ministère des Transports.
- Le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE)
- Des organes d'intermédiations ont été mis en place. Il s'agit de :
- Haut Conseil à l'Environnement et au Développement Durable.
- Conseil National de la Recherche Scientifique.

Conseil National des Forêts Des associations ont été créées dans le cadre de la loi 90-31. Elles sont au nombre de 250 versées dans le domaine de l'environnement.

### **1.3.6.1 Stratégies et priorités établies**

Dans le contexte global de la protection de l'environnement, une stratégie globale a été établie tant au niveau national à travers l'Agenda 21 Algérie et au niveau décentralisé. Les stratégies officielles sont :

- Stratégie nationale du développement durable : elle vise la préservation et l'utilisation rationnelle des ressources naturelles sont intégrées comme axe incontournable de cette stratégie. A ce titre, une charte communale a été établie au niveau décentralisé. Elle a pour objet de déterminer les actions à mener par les autorités communales en matière de conservation des ressources naturelles, notamment la lutte contre la désertification.
- Stratégie Nationale de Lutte Contre la Pauvreté et l'Exclusion : en Algérie, une carte de la pauvreté de l'Algérie a été établie et a permis l'identification spatiale des communes les plus pauvres sur tout le territoire. Dans ce cadre, le Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) intègre les conditions de durabilité nécessaires à son application.

- Stratégie nationale de développement agricole et durable : depuis l'année 2000, une nouvelle politique du Ministre de l'Agriculture a été mise en place : le PNDA (plan national de développement agricole). Ce dernier vise à l'amélioration du niveau de sécurité alimentaire des populations et à la protection des ressources naturelles.

### **1.3.6.2 Plans et politiques établis**

En complément des stratégies des plans nationaux spécialisés ont été établies et appliqués; on y distingue :

- Le Plan National de Développement Agricole (PNDA) : c'est un des outils de mise en œuvre de la stratégie globale visant à la modernisation et à l'accroissement de l'éco-efficacité du secteur de l'agriculture. Le plan national de développement agricole est construit sur une série de programmes spécifiques adaptés aux contraintes agro-climatiques de l'Algérie. L'application des programmes du PNDA est conduite dans le cadre d'une démarche participative avec les acteurs concernés, dans un esprit de partenariat.

- Politique Nationale Forestière et de Conservation de la Nature : consciente de l'importance vitale de son patrimoine forestier du point de vue physique, économique et social, l'Algérie mène depuis l'indépendance une politique soutenue de développement du secteur forestier selon un plan à long terme. Le Plan National de Reboisement (PNR) a été élaboré pour la mise en œuvre de cette politique d'une manière cohérente (pour les objectifs du PNR). Ce plan constitue de ce fait l'assise de base de la politique forestière.

- Le Rapport National de l'Environnement : il expose l'état et l'avenir de l'environnement expose les facteurs de vulnérabilité d'ordre physique et institutionnel et dresse l'état de l'environnement. Il définit les grandes lignes d'une stratégie nationale de l'environnement en cohérence avec les priorités socioéconomiques du pays, et propose un programme d'urgence.

- Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD, 2002) : il s'appuie sur le rapport national sur l'état de l'environnement a permis de connaître l'état des lieux de l'environnement et les préoccupations de tous les secteurs concernés par l'environnement. Un plan national d'action pour l'environnement et le développement durable a été élaboré.

### **1.3.7 Mesures institutionnelles et leurs mécanismes**

#### **1.3.7.1 Les organes d'intermédiation**

Ils sont au nombre de six et montre l'intérêt accordés aux organes consultatifs dans notre paysans toutefois qu'ils aient un impact déterminant dans la lutte contre la désertification :

- Le haut conseil de l'environnement et du développement durable HCEDD : il est placé sous la présidence du Chef du Gouvernement a été institué par décret présidentiel en date du 25/12/1994. Ses missions sont de définir des options stratégiques de protection de l'environnement et du développement durable, d'apprécier périodiquement l'état de l'environnement et l'application des textes y afférant, de lancer toute étude, de se prononcer sur tout dossier relatif aux problèmes écologiques majeurs, et enfin de faire annuellement rapport au Président de la République sur l'état ainsi que sur l'application des décisions ayant trait à l'environnement et au développement durable.

- Le Conseil National de l'Information Géographique (CNIG) : c'est un organe consultatif d'études, d'orientation, de coordination et d'information. Il est composé de plusieurs ministères en charge ainsi que d'institutions nationales produisant des informations géographiques de base.

- Le Conseil National de l'Aménagement et de Développement Durable du Territoire : créé par la loi 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire et au développement durable du territoire, il a pour missions notamment de proposer l'évaluation et l'actualisation périodique du schéma national d'aménagement du territoire, et de contribuer à l'élaboration des schémas directeurs nationaux et régionaux.

- Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable : crée par décret exécutif n° 02-115 du 03 avril 2002, l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable est chargé de la surveillance et du contrôle de l'environnement.

Il représente un outil au service des programmes de développement durable. Pour la réalisation de ses missions, l'Observatoire dispose de laboratoires régionaux, de stations et de réseaux de surveillance; il est doté par l'Etat d'un fonds initial.

- Conseil National de l'Eau : c'est un organe de concertation pour la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau, notamment en matière d'aménagement, de mobilisation, de répartition et d'utilisation rationnelle de l'eau.

- Comité National des ONG algériennes pour la lutte contre la désertification : c'est un réseau indépendant d'associations actives dans la mise en œuvre de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification. Il compte 26 associations, dont certaines sont accréditées auprès du secrétariat de la CCD.

D'autres stratégies qui s'inscrivent dans l'approche stratégique globale sont lancées dès 2001 et de nombreux textes de lois (sur la protection du littoral, la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets et surtout la loi sur l'aménagement du territoire, le développement durable et la nouvelle politique de l'eau) viennent renforcer les quelques 300 textes déjà existants. La mise en œuvre de ces différentes stratégies est faite par différents programmes et plans (DGF, 2004).

### **1.3.7.2 Principales mesures financières nationales relatives au développement durable**

La concrétisation des stratégies en matière de protection de l'environnement en général et de la lutte contre la désertification en particulier nécessite des fonds qui ont été institués, on note :

- **Le Fonds de lutte contre la désertification et de développement du pastoralisme et de la steppe** : l'ampleur de la dégradation des zones de parcours suite aux facteurs conjugués de la sécheresse et de l'action anthropique, et l'avancée de la désertification ainsi que les difficultés auxquelles sont confrontés les éleveurs et les agro-pasteurs militent en faveur d'une intervention conséquente, cohérente et harmonieuse des pouvoirs publics, ainsi que d'un soutien financier adéquat et approprié de l'Etat. C'est devant cet état de fait qu'un fonds de lutte contre la désertification et de développement du pastoralisme et de la steppe a été approuvé par le gouvernement, qui a pris la décision de l'étendre au développement des parcours et de la steppe, pour pallier aux problèmes rencontrés au sein de ces zones arides et semi-arides. Ce fonds devient ainsi "Fonds de lutte contre la désertification et du développement du pastoralisme et de la steppe". L'ordonnateur principal de ce compte est le Ministre de l'Agriculture.

- **Le Fonds National de la Régulation et du Développement Agricole** : ce Fonds est un dispositif de soutien, d'accompagnement et de mise en œuvre du Programme National du Développement Agricole (PNDA). Il vise à l'adoption par l'agriculteur d'une démarche volontaire favorisant un développement durable de son exploitation et une modernisation de ses techniques de production.

- **Le Fonds spécial de développement des régions du Sud** : créé par la loi de finances 1998, complété par la loi de finances complémentaire 2000 et par l'ouverture d'un compte d'affectation spéciale. Il est alimenté par un prélèvement de 1 % sur le montant annuel de la fiscalité pétrolière.

- **Le Haut-Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS)** : devant l'aggravation du phénomène de la désertification et la prise de conscience de sa complexité, la steppe a été dotée, en 1983, d'une institution spécialisée, chargée de concevoir et de mettre en place une politique de développement intégré, en tenant compte des aspects naturels et socioéconomiques. Il s'agit du Haut-Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS), qui, pour de nombreuses et différentes raisons, n'est pas parvenu à mettre en place une stratégie, une politique et des programmes de développement durables et intégrés de la steppe algérienne. Son intervention s'est surtout limitée à des actions de mobilisation de l'eau pour l'intensification céréalière dans les zones d'épandage de crues et pour l'abreuvement des troupeaux HCDS, (2006) et aussi à des actions de réhabilitation de parcours dégradés, par des mises en défens et des plantations d'arbustes fourragers. Le bilan le plus récent de cette réhabilitation relève 3 millions d'ha pour

les mises en défens et 300 000 ha pour les plantations, sur une superficie globale de près de 30 millions d'hectares de parcours (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

### **1.3.8 Historique des politiques et actions menées en Algérie dans la lutte contre la désertification**

Les politiques de lutte contre la désertification ont été nombreuses et diversifiées ; en effet depuis 1962, des actions ont été entreprises par les autorités telles que « le Barrage Vert », les mises en place de coopératives pastorales, la promulgation du Code pastoral, des programmes de mises en valeur des terres (DGF, 2004). Ces politiques n'ont donné que peu de résultats probants en raison de l'incapacité de l'administration à trouver des formules de participation des pasteurs et des agro-pasteurs à la gestion des parcours. Aujourd'hui, il semblerait que les actions du Haut-Commissariat de la Steppe (HCDS), en charge des programmes de développement de la steppe (intensification de l'offre fourragère par les mises en défens et les plantations pastorales, mobilisation des eaux superficielles, introduction d'énergies renouvelables), aient trouvé plus d'adhésion auprès de la population (Kacimi, 1996 ; MADR, 2007). Les bénéficiaires qui participent à ces projets deviennent plus conscients de l'intérêt de ces plantations et de ces mises en défens et seraient prêts à les développer et à les préserver. Ces projets étant, pour la plupart, financés par le Fonds de lutte contre la désertification et de développement du pastoralisme et de la steppe (FLDDPS) 15.

Par sa position géographique, entre les zones telliennes au nord et le Sahara au sud, et son étendue, la steppe algérienne est une zone naturelle tampon qui agit comme rempart contre l'avancée du désert vers le nord de l'Algérie. Outre son rôle capital dans l'équilibre écologique des différentes zones naturelles du pays, elle constitue, par ses richesses naturelles, le support de nombreuses activités économiques, à leur tête, l'élevage pastoral (Daoudi et al, 2010).

Pour remédier à la dégradation des ressources naturelles, l'Algérie a, dès l'indépendance, entrepris un grand nombre d'actions (tableau 1.8). Dans les premières années, seule la dimension reboisement a été retenue à des fins de régénération des terres perdues par les incendies et l'exploitation non contrôlée, la protection des bassins versants contre l'érosion hydrique et le développement de l'activité économique sylvicole (DGF, 2004).

De nombreux programmes de lutte contre la désertification ont été lancés à différentes périodes au niveau des steppes algériennes.

Selon (Abaab et al, 1995), il y a quatre grandes périodes pour caractériser l'évolution des politiques de développement des zones steppiques :

- de 1962 à 1975, la politique agricole s'intéresse naturellement beaucoup plus aux riches terres du Nord reprises aux colons. La création dans la steppe sur de bons parcours d'une cinquantaine

de coopératives d'élevage (ADEP) fut mal supportée par les populations concernées qui s'estimaient spoliées et, à leur dissolution en 1976, elles n'avaient toujours pas atteint les objectifs techniques fixés.

L'autre réalisation fut le démarrage du « barrage vert » qui prévoyait la plantation d'une forêt de protection de 15 à 20 km de profondeur aux frontières du désert. Vingt ans plus tard, le bilan fait ressortir des réalisations plus modestes (123000 ha de plantations, 2000 km de pistes, 36 forages...);

- de 1975 à 1980, la révolution agraire produit un code pastoral qui prétend transformer radicalement la gestion de la steppe par une puissante intervention de l'Etat. Elle rencontre l'hostilité des gros éleveurs, et reste lettre morte. Mais un certain nombre de coopératives (CAPCS, CEPRA) voient le jour.

Tableau 1.8 : Programmes et plans de 1962 à 1990

Intitulé	Période	Type d'actions en rapport avec le reboisement et/ou la lutte contre la désertification
Chantiers populaires de reboisement CPR	1962-1967	Reboisement dans les régions à fort taux de chômage
Plan triennal	1967-1969	Relance de l'activité forestière
Premier plan quadriennal	1970-1973	Reboisement productif et « barrage vert » contre la désertification
Deuxième plan quadriennal	1974-1977	Renforcement du plan précédent
Programmes spéciaux	variables	Activités ciblées de DRS et de reboisement
Premier plan quinquennal	1980-1984	Reboisement et aménagements des bassins versants
Deuxième plan quinquennal	1985-1989	Reboisement avec une plus grande diversification des espèces
Le barrage vert	1971-1990	Reboisement systématique puis aménagement intégré agro-sylvo-pastoral des territoires.
Le plan national de lutte contre la désertification	Dès 1987	Intensification et extension du barrage vert avec une approche agro-sylvo-pastorale.
Haut commissariat au développement de la steppe	1987	Développement intégré de la steppe

Source : (DGF, 2004)

Par ailleurs la rente pétrolière permet la création d'infrastructures (routes, lieux de stockage, écoles, dispensaires...) qui, si elles ne concernent pas directement les problèmes pastoraux, n'en modifient pas moins les modes de vie des agropasteurs ;

➤ les années 80 consacrent la liquidation des réalisations de la Révolution Agraire et la création du Haut-Commissariat au Développement de la Steppe qui met en œuvre quelques aménagements, des plantations fourragères et de ressemer les parcours sans effets appréciables.

Des études et recherches sérieuses sont certes entreprises sur les ressources et leurs modes de gestion mais il y manque comme toujours l'appréciation de la faisabilité économique, sociale et politique des techniques du développement ;

➤ Les nouvelles réformes des années 90 engagent la libéralisation de l'économie et de la politique. On reconnaît la nécessité de faire participer de façon plus étroite les agropasteurs et quelques projets comme celui entrepris par une équipe de recherche du CREAD sur les « systèmes pastoraux maghrébins » tentant d'innover en la matière. Mais l'administration en charge du développement renâcle à déléguer ses pouvoirs de décision au niveau des communautés de base.

Les derniers programmes appliqués d'après (Nedjraoui et Bédrani, 2008) dans les zones steppiques concernent le programme national de mise en valeur des terres par la concession qui créait des exploitations agricoles sur des terres marginales steppiques après les avoir aménagées (défoncements, épierage, mobilisation d'eau pour l'irrigation) et le programme national de développement agricole (PNDA) qui a débuté en 2000 et qui visait le remplacement de la céréaliculture et de la jachère par des cultures à plus haute valeur ajoutée. Ces deux programmes ont permis grâce à de généreuses subventions d'accroître les superficies irriguées mais n'ont pas évité de nombreuses erreurs techniques et économiques. Ainsi, on a souvent obligé les bénéficiaires des terres mises en valeur à faire de l'arboriculture fruitière (alors que la plupart – anciens nomades n'y connaissent rien). Par ailleurs, aucune incitation n'a été donnée pour que les agriculteurs produisent des fourrages qui auraient pu limiter la pression sur les parcours. Aussi, la plupart des bénéficiaires du PNDA ont-ils opté principalement pour le maraîchage.

### **1.3.9 Échecs des principales stratégies mises en œuvre dans la zone steppique**

#### **1.3.9.1 Sur le plan technique**

Dans un premier temps, tous les efforts consentis dans cet espace ont été trop polarisés sur le pastoralisme, l'élevage du mouton, l'exploitation de l'alfa, alors que ces richesses sont limitées : l'alfa est une matière première aux volumes de production limités, et l'élevage du mouton subit les effets de la sécheresse dévastatrice qui rend toute production aléatoire en milieu aride.

Il était suicidaire de baser toute l'économie de ce vaste territoire naturel de plus de 20 millions d'hectares sur l'exploitation exclusive de ces seules ressources. Même en surestimant le produit de vente de l'alfa, les apports de l'élevage du mouton, il était inconcevable de développer cet espace sans des investissements dans les autres activités économiques tant agricoles qu'industrielles en rapport avec la production de la steppe.

Dans un deuxième temps, le secteur agricole avec l'aspect pastoral, agro-pastoral et agro-sylvo-pastoral allait être considéré comme un vecteur de développement devant servir de support économique à la vie des populations locales. Or les terres agricoles dans cet espace n'étaient pas excédentaires et pourtant de nouveaux agriculteurs attirés par la disponibilité des ressources en eau se sont installés. Les réserves en eau souterraines sont estimées à plus de 60 milliards de m<sup>3</sup> et leur taux d'exploitation n'est que de 20 % alors qu'il est de 90 % dans le nord du pays.

L'activité agricole s'est développée sans relation avec l'activité pastorale, et aucun investissement garantissant un développement durable n'a été réalisé (Mohammedi et al, 2006). Selon les mêmes auteurs, l'élevage ovin était l'activité économique la mieux adaptée aux conditions biophysiques du milieu, et le cheptel ovin représentait 60 % du cheptel national.

Actuellement ce taux avoisine les 90 % et pèse de tout son poids sur cet espace. Une autre activité pratiquée en adéquation avec les potentialités de la steppe était l'agriculture. Elle était surtout pratiquée de façon localisée et périodique dans des phases de dépression.

La zone steppique représentait la plaque tournante du fait de son étendue et du fait aussi que les nomades y vivaient; l'activité pastorale se réalisait en grande partie sur d'autres espaces au-delà de la zone steppique qui permettaient de préserver l'écosystème steppique, à travers deux périodes de transhumance, selon les saisons; l'achaba dans le Tell et l'azaba dans le sud. La steppe n'était qu'une zone de transit.

Le "barrage vert" a été une erreur technique : il est difficile de faire pousser des arbres sur des sols souvent inadaptés et sans irrigation prolongée entre les isohyètes 200 et 350 mm. De plus, le choix de l'espèce, le pin d'Alep, très vulnérable à la chenille processionnaire, n'a pas été scientifiquement réfléchi. Aujourd'hui, à part certaines zones au niveau des piémonts Nord de l'Atlas Saharien où l'espèce a pu se développer correctement, il n'en reste que des traces formées par quelques pins d'Alep rabougris (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

### **1.3.9.2 Sur le plan socio-économique**

Les raisons économiques sont étroitement liées à la faiblesse de création d'emplois dans les zones steppiques. En effets, ces zones ont moins profité par rapport aux autres régions du pays des créations d'emploi durant les années soixante-dix et, partiellement, quatre-vingt. Les emplois créés dans les zones steppiques ont été principalement dans l'administration. L'agriculture et l'élevage ont sans doute été les principales sources d'emploi grâce aux ressources investies par l'Etat durant les différentes phases de la "Révolution Agraire". A son terme, en 1983, l'Etat a tenté de favoriser l'emploi dans l'agriculture en mettant en place la procédure d'accession à la propriété foncière agricole (APFA), qui consistait à donner en pleine propriété et au dinar

symbolique des terres aux investisseurs qui s'engageaient à les mettre en valeur à leurs frais par l'irrigation ou par toute autre technique dans un délai de cinq ans.

Les emplois agricoles dépendent des ressources pastorales, essentiellement les parcours. L'agriculture steppique est devenue aujourd'hui non seulement concurrente de l'élevage (activité traditionnelle de la steppe) mais, en ayant recours aux moyens de production des systèmes intensifs, elle est entraînée de détruire le paysage steppique et de créer les facteurs favorables à l'avancée du désert. La diminution de la pression sur les ressources pastorales doit donc se faire par la création d'emplois dans des secteurs extra-agricoles (Bensouiah, 2003).

### **1.3.9.3 Sur le plan recherche scientifique**

La steppe n'a pas beaucoup intéressé les décideurs en matière de recherche. A la fin des années soixante-dix, un important travail a été réalisé par le ministère de l'agriculture qui a décrit minutieusement l'ensemble des zones steppiques à la fois sur les plans physique, agricole, phytoécologique et humain (MARA, 1974).

Cette étude qui reste jusqu'aujourd'hui le seul travail de référence sur la steppe n'a jamais été mise à jour. Depuis le début des années 70, de rares chercheurs se sont penchés sur les problèmes de la dégradation des terres et l'analyse des causes et des conséquences du processus de désertification. Cependant, les résultats des recherches n'ont pas été généralisés ni intégrés dans les actions gouvernementales très larges, car les travaux se sont le plus souvent confinés dans des institutions de recherche (AARDES, CREAD, CRBT, Universités) et surtout limités dans le temps et dans l'espace.

Le HCDS avec ses nombreux ingénieurs, aurait pu combler ces lacunes mais ne l'a pas fait sans doute par absence de stratégie à long terme. De la même façon, le développement accéléré des cultures se heurte à l'absence de références en matière d'itinéraires techniques les plus adaptés au plan agro-économique à ces zones (Bensouiah, 2003). Par conséquent le suivi des quelques actions qu'il mène en matière de réalisation de mise en défens et de création de point d'eau au lieu de leur faire produire des connaissances utiles au développement de la steppe (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

# **Chapitre II**

## **Apport de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques SIG à l'aménagement des bassins versants**

## 2.1 Introduction

Les technologies spatiales, et de façon plus particulière les systèmes d'observation de la Terre, constituent désormais des outils incontournables dans la problématique du Développement durable qui vise à permettre à tout être humain de satisfaire ses besoins fondamentaux tout en préservant son environnement. A cet égard, le Sommet Mondial sur le Développement Durable (WSSD) a nettement mis l'accent sur l'utilisation des technologies spatiales pour améliorer les processus décisionnels dans différents domaines, afin de mettre un terme au sous-développement, particulièrement en Afrique.

La télédétection spatiale, s'appuyant sur des mesures au sol et combinée aux Systèmes d'Information Géographique, apporte aujourd'hui une contribution décisive aux diverses questions qui se posent en matière d'environnement, de santé, d'aménagement du territoire, d'exploitation rationnelle des ressources naturelles ou de prévention contre les catastrophes naturelles. La mise en œuvre de ces technologies de façon autonome et continue est conditionnée par un effort soutenu d'information, de formation, de renforcement de capacités et d'adaptation aux conditions locales d'utilisation.

Le besoin croissant d'estimer, de prévoir, de surveiller et de gérer les ressources naturelles, surtout quand les superficies sont très étendues et difficiles d'accès, il est considéré comme un support de cartographie statique et dynamique d'une importance capitale. Les outils d'aide à la décision sont devenus une nécessité pour les gestionnaires de l'espace et contribuent à la sensibilisation aux problèmes d'occupation et d'exploitation des espaces. En matière de lutte contre la désertification, contre les inondations, les incendies, l'urbanisation et la protection des ressources naturelles, ces outils donnent des orientations pour l'aménagement et la gestion des territoires. L'utilisation des différentes couches d'informations utiles à l'objectif recherché suivi d'un traitement et d'une analyse basée sur la combinaison de ces informations permettra par la suite de cartographier l'état de l'espace étudié, de suivre les phénomènes évolutifs et accéder à certaines zones naturelles ou modifiées difficilement explorables.

Afin d'assurer la gestion environnementale durable des ressources naturelles, de la géo-diversité, de la biodiversité et des espaces, en particulier à travers la mise en place de pratiques de mise en valeur, de protection et de conservation de la biodiversité et d'actions de lutte contre la dégradation des terres. Pour tous ces objectifs, il est indispensable de développer des méthodes d'évaluation et de suivi de l'état des milieux, de leur environnement et de l'impact des actions entreprises reposant sur la mise en place et l'utilisation d'un certain nombre d'outils développés par la recherche (Cornet, 2004).

Il s'agit en particulier de développer :

- des indicateurs qui sont traditionnellement employés dans l'évaluation, le suivi et la prévision, car ils traduisent de façon synthétique les effets d'une action, et les évolutions par rapport à une situation donnée ;
- des outils spatiaux qui permettent de mesurer par télédétection des changements de propriétés de la surface des milieux arides étudiés et d'intégrer à ces informations des données connexes.

Les systèmes (opérationnels et expérimentaux) de télédétection par satellite sont à même aujourd'hui d'apporter une contribution considérable à l'aménagement des bassins versants, notamment dans les domaines : inventaires des eaux de surface, aménagement des crues, surveillance de l'utilisation des terres du point de vue hydrologique et établissement des modèles de bassins versants. Le progrès technologique en matière de télédétection des données hydrologiques s'accélérait sans cesse, il faut que les spécialistes de l'aménagement des bassins versants prennent davantage conscience des possibilités de la télédétection et acquièrent une formation technique appropriée si l'on veut que ces nouveaux outils de travail soient exploités le mieux possible.

La télédétection depuis l'espace a vu le jour en 1960 avec le lancement du premier satellite météorologique TIROS 1. Plusieurs générations de satellites météorologiques ont été lancés depuis et présentent un intérêt certain pour la recherche hydrologique. Les images en couleur ou noir et blanc des champs de neige et des eaux de surface ont attiré l'attention de quelques hydrologues et de spécialistes de l'aménagement des bassins versants et les premières études exploratoires ont démarré. Vu les résultats positifs obtenus par ces pionniers de la recherche, un satellite appelé LANDSAT-1 (précédemment dénommé ERTS-1) destiné à l'étude des ressources de la terre fut lancé le 23 Juillet 1972, suivi par une série de satellites, le dernier qui a été lancé le 11 février 2013 c'était LANDSAT-8.

## **2.2. Progrès récents des applications de la télédétection à l'aménagement des bassins versants**

### **2.2.1 Analyse de l'utilisation des terres du point de vue hydrologique**

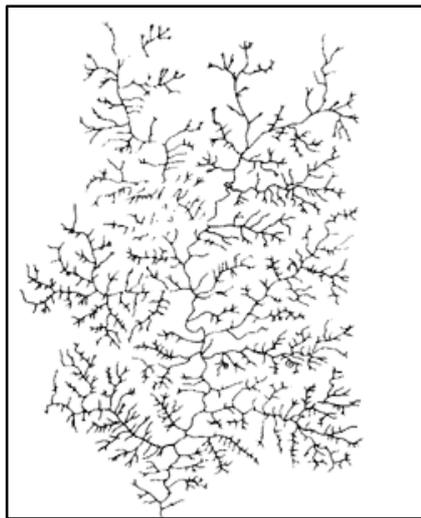
Il est important de connaître l'utilisation des terres dans les bassins versants parce qu'on peut se servir d'un relevé des caractéristiques du couvert superficiel pour affiner les estimations en quantité, qualité et périodicité du rendement hydrique d'un phénomène météorique donné ou d'un traitement de bassin versant. Divers modèles de bassins versants nécessitent des données à jour concernant l'utilisation des terres pour les besoins du calibrage donc pour une meilleure simulation des débits. Ces données sur l'utilisation des terres peuvent être fournies par la

télédétection à des niveaux divers. Il est généralement admis que l'on peut produire des cartes valables de l'utilisation des terres à partir des données LANDSAT au 1:62 500 et au 1:24 000 (Bale, Bowden, Raje, et McKnight, 1973). L'extraction de données de ce genre à partir d'informations LANDSAT se fait actuellement au «Goddard Space Flight Center» en utilisant des classifications multi-spectrales numériques concernant le bassin versant de la rivière Patuxent. Les données provenant de cette étude ont été utilisées pour calibrer un modèle hydrologique paramétrique d'un sous-bassin versant déterminé de 80 km<sup>2</sup> de superficie. Les résultats de cette étude font apparaître un certain nombre de faiblesses en ce qui concerne les moyens d'extraction des données. En premier lieu, on ne peut utiliser les données LANDSAT correspondant à une date unique pour classer l'utilisation des terres du bassin versant tout entier. Il faut utiliser des données temporelles pour établir une classification de l'utilisation des terres pour l'ensemble de la superficie. En second lieu, si l'on utilise des données niveau I fournies par satellites (terre forestière par exemple) et quelques données niveau II seulement (forêts décidues par exemple), on obtient des classes d'utilisation des terres en raison des limitations du pouvoir de résolution. Si l'on désire des renseignements plus détaillés sur l'utilisation des terres, il faut utiliser les données fournies par des U-2 volant à haute altitude. Les résultats montrent que cette source de données peut satisfaire à tous les besoins d'informations d'un organisme de planification. Toutefois l'extraction des données est beaucoup plus difficile et beaucoup plus coûteuse dans le cas des aéronefs; en effet, celles-ci ne sont pas aussi aisées à acquérir et ne se prêtent pas aussi facilement à l'extraction automatique que les données des satellites. Les photographies infrarouges couleur du bassin versant de la rivière Patuxent prises d'un avion U-2 ont cependant été traduites en données numériques et utilisées dans des programmes de classification automatique de la même manière que les données LANDSAT. Les résultats sont semblables à ceux de LANDSAT, mais en plus détaillé.

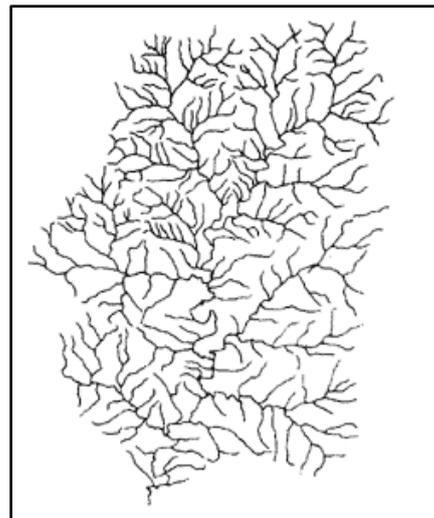
### **2.2.2 Caractéristiques physiographiques**

Les observations physiographiques - par exemple la superficie et la forme d'un bassin, l'organisation du réseau hydrographique, la densité et le système de drainage, les caractéristiques individuelles des chenaux peuvent permettre à l'enquêteur d'estimer le débit annuel moyen et les débits annuels moyens des crues d'un bassin versant, ainsi que la rapidité avec laquelle un bassin versant réagit à un phénomène météorique déterminé. En général, il n'est pas possible de tirer de cartes topographiques des informations hydrologiques dynamiques du genre de celles que fournit la couverture à répétition de LANDSAT. En outre, dans certaines zones, les images LANDSAT apportent à elles seules davantage d'informations géomorphologiques que tout ce que l'on trouve

sur des cartes d'échelle comparable (Williams, Barker, et Coiner). Dans une étude couvrant toute une gamme de régions physiographiques des Etats-Unis, (Rango, Poster et Salomonson, 1975) ont constaté que la superficie des bassins versants, leur forme, ainsi que les mesures de la sinuosité des chenaux obtenus par LANDSAT sont généralement comparables aux mesures physiographiques similaires dérivées de cartes topographiques, quelle que soit la zone étudiée. Les réseaux de drainage sont bien dessinés dans les régions à relief accidenté et les détails correspondent à une échelle de 1:100 000. Les agrandissements LANDSAT peuvent se comparer aux données figurant sur des cartes topographiques au 1:62 500 (voir figure 2.1). Les cours d'eau de petite importance sont difficiles à repérer dans les régions à végétation dense et relief local peu accentué, ou dans des régions où le réseau hydrographique est peu développé. Dans ce type de région, les densités de drainage dérivées de LANDSAT ont tendance à être inférieures à celles que l'on tire de cartes topographiques à échelle équivalente. L'analyse temporelle LANDSAT améliore légèrement le détail physiographique dans ces régions, mais l'on n'obtient une nette amélioration de la distinction des caractéristiques, quand on utilise la photographie U-2 de haute altitude. En combinant ces deux systèmes de télédétection, on arrive à extraire tous les paramètres physiographiques nécessaires à l'analyse d'un bassin versant, sauf les dimensions précises des cours d'eau.



calque de la superposition Landsat agrandi au 1/100 000, 2 janv. 1973



calque de superposition, carte topographique du USGS au 1/62 500

Figure 2.1 : Réseau de drainage de la rivière Kickapoo (en amont de la Farge) y Extrait des images LANDSAT et de cartes du U.S. Geological Survey Maps.

### 2.2.3 Modèles de bassins versants

Une grande partie des renseignements que l'on peut extraire au moyen des techniques de télédétection décrites plus haut peut être utilisée pour calibrer ou exploiter des modèles numériques de bassins versants, spécialement dans les régions où les données sont rares. Les données appropriées englobent: les classifications de l'utilisation des terres, les paramètres concernant le réseau hydrographique, quelques autres éléments physiographiques et la superficie enneigée. La question qui se pose est la suivante: la télédétection permet-elle d'extraire les données nécessaires à l'échelle appropriée ou avec la précision voulue ? L'un des paramètres requis pour la plupart des modèles concerne la surface imperméable du bassin versant. Ce paramètre se compose d'un certain nombre d'utilisations spécifiques des terres, y compris le périmètre urbain, les rues, les parcs de stationnement, les toits et les chantiers de construction. L'extraction d'un pourcentage intégré du paramètre correspondant à la surface imperméable serait exceptionnellement utile et (Rango, travaux non publiés, 1975) a étudié cette question sur le bassin versant de la rivière Anacostia, dans le Maryland. Il a comparé les classifications automatiques LANDSAT de la surface imperméable avec les résultats d'une étude antérieure basée sur des mesures manuelles effectuées sur des photographies aériennes à grande échelle prises à basse altitude. Il a fallu environ 94 homme/jours pour mener à bien l'analyse de l'utilisation des terres en se servant des photographies aériennes. Il a fallu moins de 3 homme/jours pour accomplir le même travail avec les données LANDSAT. D'après l'analyse des données LANDSAT, on a estimé que l'imperméabilité du bassin était de 19 pour cent: l'étude sur photographies aériennes avait indiqué 24 pour cent. La concordance entre la méthode photographique traditionnelle et la technique LANDSAT a été excellente pour des sous-bassins versants dont la superficie atteint tout juste 1,48 km<sup>2</sup>. (Rango, travaux non publiés, 1975) estime que la correspondance entre les deux méthodes est plus que suffisante pour répondre aux besoins de données d'entrée de n'importe quel modèle hydrologique pour ce qui est de la surface imperméable.

Outre cette étude, on a effectué une analyse de sensibilité qui a identifié les paramètres d'entrée du modèle de bassin versant du Kentucky qui se prêtent aux systèmes actuels de télédétection (Ambaruch, et Simmons, 1974). Les paramètres d'entrée que l'on peut obtenir par télédétection avec une précision acceptable sont les suivants: superficie du bassin versant, fraction correspondant à la zone imperméable, fraction du bassin correspondant aux eaux de surface, taux maximal d'interception de la végétation, longueur moyenne de l'écoulement en surface, coefficient de rugosité de l'écoulement en surface et fraction du bassin versant couverte par la forêt. D'autres paramètres ont été identifiés comme potentiellement extractibles à mesure que l'on améliorera l'interprétation des images et les techniques d'analyse et que l'on mettra au point de

nouvelles méthodes de télédétection. Des essais utilisant les données cartographiques existantes et des renseignements à jour obtenus par la télédétection sont en cours pour déterminer si les modèles basés sur les données de la télédétection fournissent de meilleures simulations des écoulements que ceux qui exploitent des données traditionnelles. Le « Goddard Space Flight Center » est en train d'évaluer de nombreux modèles, bassins versants et types de données de télédétection afin de dégager des conclusions précises concernant les possibilités d'application de la télédétection à l'établissement des modèles de bassins versants.

### **2.3           Système de collecte des données**

La collecte d'informations hydrologiques sûres comme le niveau des rivières, l'équivalente eau de la neige, la qualité de l'eau et le niveau des eaux souterraines, n'est pour le moment pas accessible à la télédétection opérationnelle. Néanmoins, des observations précises et rapides de ces paramètres sont nécessaires et les satellites constituent un moyen sûr de recueillir et relayer ces informations. Le système de collecte des données LANDSAT (DCS) en a fait la preuve en plusieurs cas (Cooper, et Ryan, 1975). Quelque 150 plateformes de collecte des données (DCP) fonctionnent sur le territoire des Etats Unis. Sur l'emplacement de ces DCP, on effectue des mesures hydrologiques traditionnelles qui sont relayées par satellite jusqu'à l'utilisateur en temps quasi réel. En Arizona par exemple, lors des fontes de neige exceptionnellement importantes qui se sont produites au printemps de 1973, les données provenant des DCP-LANDSAT fournissaient, en moins d'une heure, les renseignements indispensables sur le ruissellement résultant de la fonte des neiges. Cette information hydrologique a permis d'aménager beaucoup mieux l'écoulement des eaux des bassins versants des rivières Salt et Verde, et d'atténuer les inconvénients des crues dans la région de Phoenix. Il a été démontré en règle générale dans tous les cas vérifiés, que la fiabilité des DCS est comparable à celle des systèmes au sol de relais télémétriques sur hyperfréquences, sinon meilleure. Le satellite écologique opérationnel géostationnaire (GOES) constitue un autre système de collecte des données qui permet d'interroger en permanence, 24 heures sur 24, des capteurs-détecteurs disséminés sur des zones étendues. D'autres essais ont été faits dans le cadre des recherches récentes en vue d'intégrer les données DCS et les images obtenues par satellites pour établir de façon plus complète les caractéristiques du cycle hydrologique des bassins.

### **2.4    La télédétection un potentiel à développer**

**Mieux connaître les possibilités de la télédétection appliquée à l'aménagement des bassins versants**

En supposant qu'un spécialiste de l'aménagement des bassins versants estime qu'une technique de télédétection donnée serait à même de lui fournir une réponse désirée, il sera incapable de profiter de la télédétection s'il ne sait pas comment utiliser les données ni même où les obtenir. Nous suggérons ici quelques solutions qui devraient permettre à l'utilisateur potentiel de se familiariser avec les techniques de la télédétection. Tout d'abord, il existe plusieurs manuels ou ouvrages scientifiques de compilation traitant spécifiquement des ressources hydriques, qui peuvent fournir une bonne base pour certaines applications de la télédétection aux ressources hydriques. « L'American Water Resources Association a publié » les comptes rendus d'un colloque sur la télédétection et l'aménagement des ressources hydriques, qui présentent une vaste gamme d'application des données obtenues tant par voie aérienne que par satellites à la surveillance des eaux du point de vue quantitatif et du point de vue qualitatif (Thomson, Lane, Csallany, 1973). « L'U.S. Army Corps of Engineers » a publié un certain nombre de documents assez utiles décrivant les applications de la télédétection aux ressources hydriques. Le Cold Region Research and Engineering Laboratory de Hanover (New Hampshire) a présenté les méthodes à utiliser pour localiser des réservoirs dont l'étendue superficielle est supérieure à 0,02 km<sup>2</sup> (McKim, Marlur, et Anderson, 1972). « L'Hydrologic Engineering Center de Davis - Californie » a publié un rapport sur les applications de la télédétection au génie hydrologique (Burgy, et Algazi, 1974). Le manuel du troisième Corps d'Ingénieurs sur la pratique de la télédétection et des résultats potentiels a été établi par la « Waterways Experiment Station de Vicksburg - Mississippi » (Williamson, Dornbusch, Grabau, 1974).

Une fois acquise une connaissance de base des possibilités de la télédétection, la meilleure manière de se familiariser vraiment avec les moyens qu'offre la télédétection pour résoudre un problème particulier de bassin versant consiste à se procurer un certain nombre de données concernant la zone considérée. On peut alors analyser attentivement ces données et les comparer avec les connaissances acquises antérieurement et avec les données disponibles traditionnellement, afin de se familiariser avec les utilisations potentielles.

## **2.5 Notion fondamentale sur la télédétection**

### **2.5.1 Définition**

On entend par télédétection « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Journal Officiel de la République Française, 1997).

La télédétection est aussi « la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition d'informations à distance, sans contact direct avec l'objet détecté » (Bonn et Rochon, 1992).

### 2.5.2 Processus de télédétection

Lorsqu'une onde de rayonnement entre en contact avec un objet, sa trajectoire est perturbée, car la matière a la triple propriété de pouvoir : Absorber, Réfléchir ou Transmettre la lumière. Les trois caractéristiques de la lumière lors de son contact avec la matière se mesurent par rapport à la quantité de lumière qui a frappé l'objet (lumière incidente) : L'absorptance ( $\alpha$ ), la réflectance ( $\tau$ ), et la transmittance ( $\rho$ ) avec :

$$(\alpha) + (\tau) + (\rho) = 1 \quad (2.1)$$

La télédétection spatiale utilise des moyens d'instruments appelés capteurs qui enregistrent le rayonnement électromagnétique réfléchi ou émis par les objets de la surface terrestre ou de l'atmosphère (Figure 2.2).

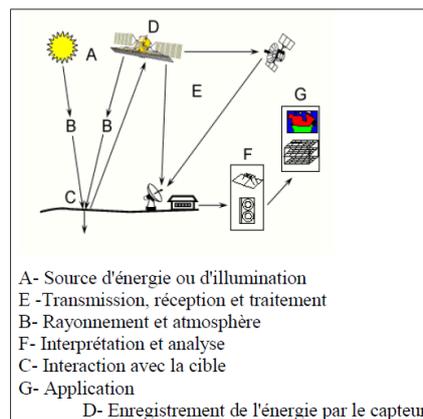


Figure 2.2 : La réflexion et l'émission du rayonnement (Kluser, 2000).

Légende de la figure ci-dessus :

- Source d'énergie ou d'illumination (A).
- Rayonnement et atmosphère (B). Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, et entre la cible et le capteur, le rayonnement interagit avec l'atmosphère.
- Interaction avec la cible (C).

- Enregistrement de l'énergie par le capteur (D). Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible pour être enfin enregistrée.
- Transmission, réception et traitement (E). L'énergie enregistrée par le système d'acquisition est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- Interprétation et analyse (F). Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- Application (G). La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible.

### 2.5.3 Apport de la télédétection

On peut résumer l'apport de la télédétection comme suit :

- Les données de télédétection sont homogènes et continues sur de grandes surfaces ;
- Elle offre une vision riche d'informations (multispectrale);
- Elle permet d'accéder à des zones dites « inaccessible» pour des questions de topographie, de climat et de catastrophes naturelles ;
- Acquisitions de données en temps voulu ;
- Elle autorise des observations très rapprochées dans le temps d'un même endroit;
- Les images sont sous forme numérique, ce qui facilite considérablement leur intégration dans les bases de données des SIG ;
- Les programmes satellitaires sont maintenant suffisamment nombreux et fiables pour garantir aux utilisateurs une constitué dans la fourniture d'images.

### 2.5.4 Les données de télédétection

Les données de télédétection sont le plus souvent fournies en format d'images numériques. L'image correspond à une matrice de pixels figure 2.3. La taille du pixel correspond à la résolution spatiale et son contenu correspond à l'intensité du rayonnement réfléchi ou émis. Cette intensité est exprimée en niveaux de gris. Pour chaque bande spectrale correspond une image résultante (Soudani, 2005). Autrement dit les informations acquises par télédétection spatiale sont restituées sous forme d'images où l'unité de résolution est de pixel. Ce dernier est défini comme étant « la plus petite surface homogène enregistrée de la maille d'échantillonnage » (Robin, 1998).

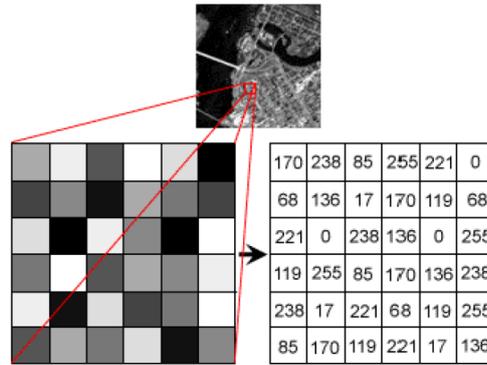


Figure 2.3 : Image satellite (CCT, 2005).

## 2.6 Principes physiques de la télédétection

### 2.6.1 Le rayonnement électromagnétique (REM)

Une énergie qui se propage dans l'espace et qui interagit avec la matière ; cette énergie est constituée d'ondes transversales indissociables (Caloz, 1992) figure 2.4.

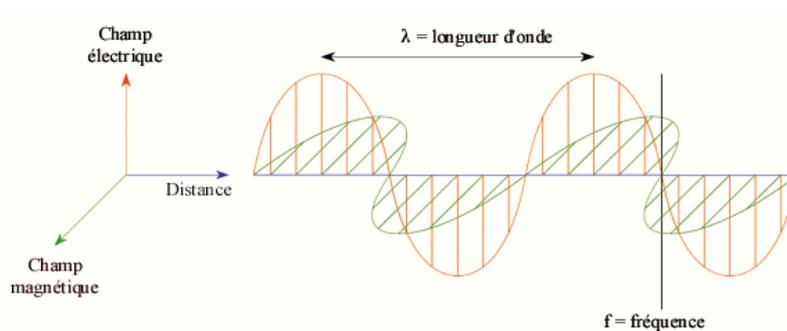


Figure 2.4 : Représentation schématique d'une onde électromagnétique (Bonn et Rochon, 1992).

Le rayonnement électromagnétique se caractérise par :

- La période qui est le temps (T) pendant lequel l'onde effectue une oscillation complète.
- La fréquence  $\nu$  est l'inverse de la période ( $1/T$ ).
- La longueur d'onde  $\lambda$  qui est la distance entre deux points homologues sur l'onde.
- La vitesse  $v$  de propagation de l'onde dans l'espace : dans le vide, et à peu de chose près, dans l'air, cette vitesse est :  $c = 300.103 \text{ km/s}$ .

La relation entre vitesse, longueur d'onde et fréquence est :

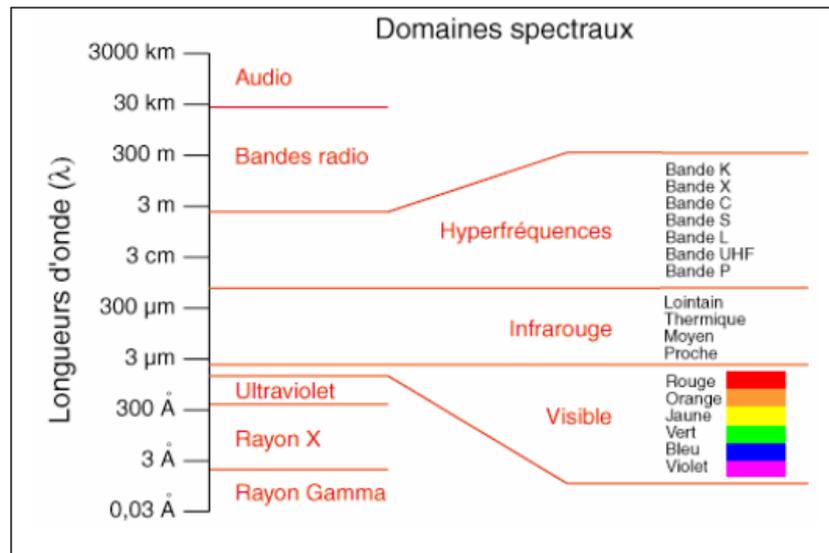


Figure 2.5 : Le spectre électromagnétique (Bonn et Rochon, 1992).

L'amplitude  $E_0$  qui exprime l'intensité de l'onde électromagnétique ; plus l'amplitude est importante, plus le rayonnement est intense. L'énergie transmise par une onde est également proportionnelle à la fréquence ; plus la fréquence est élevée, et donc plus la longueur d'onde est petite, plus l'énergie est importante. On distingue successivement, en partant des longueurs d'onde inférieures : le rayonnement  $\gamma$ , les rayons X, les rayonnements ultraviolets (UV), les rayonnements visibles (0,4 à 0,7  $\mu\text{m}$ ), l'infrarouge (IR), les micro-ondes (domaine radar), les ondes métriques (télévision), les ondes radioélectriques (10 m à quelques kilomètres) (Figure 2.5). Le rayonnement se manifeste par ses interactions avec la matière. Cette dernière peut, en fonction de son état et de sa nature, produire un rayonnement électromagnétique (émission propre) et/ou interagir avec le rayonnement qui l'atteint, ces propriétés d'absorption, d'émission et de réflexion qui sont à la base de l'interprétation des données enregistrées, par les satellites. Par contre, ces mêmes phénomènes qui occasionnent une perturbation du rayonnement enregistré par le satellite, en provenance de l'objet visé, lors de la traversée de l'atmosphère (Hamimed, 2009).

Les ondes les plus utilisées en télédétection sont :

➤ **Le visible, rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres:**

La partie visible du spectre va du 0,38 $\mu\text{m}$  à 0,78 $\mu\text{m}$ , toutes les couleurs de arc-en-ciel du violet (proche de 0,38 $\mu\text{m}$ ) jusqu'au rouge (environ 0,65 $\mu\text{m}$ ) en passant par le bleu (0,45 $\mu\text{m}$ ) et le vert (0,55 $\mu\text{m}$ ), la plupart des satellites d'observation de la terre ont des capteurs enregistrant dans cette partie du spectre.

➤ **Le proche infrarouge, rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres :**

Centré sur environ  $0,9\mu\text{m}$ , est très utilisé pour l'étude de la végétation et la détection de l'eau.

➤ **Le moyen infrarouge, rayonnement à la fois réfléchi et émis par les surfaces terrestres :**

Centré sur environ  $3\mu\text{m}$ , est un peu moins utilisé et sert à la détection de l'eau dans les plantes, la détection de la neige et de la glace, l'évaluation de l'humidité du sol.

➤ **L'infrarouge thermique, émis par les surfaces terrestres :**

De  $8$  à  $12\mu\text{m}$  est très utilisé en météorologie et climatologie.

➤ **Le domaine des hyperfréquences, émis par une antenne et renvoyées par la surface terrestre pour les hyperfréquences actives et émises par les surfaces terrestres pour les hyperfréquences passives :**

Est compris entre  $2$  et  $30\text{cm}$  de longueur d'onde. Elles sont de plus en plus utilisées, océanographie et en agriculture (CCT, 2005).

## 2.6.2 Interaction rayonnement électromagnétique et la matière

Lorsqu'un rayonnement incident entre en contact avec la matière figure 2.6, trois phénomènes peuvent avoir lieu : L'absorption, qui modifie l'énergie interne de l'objet en question. Cette énergie absorbée est transformée en température qui produit une émission de REM (absorption = émission). L'absorptance  $\alpha$  est définie comme le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie reçue. La réflexion. La réflectance  $\rho$  est le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie reçue. Lorsque l'énergie reçue provient du soleil et irradie des surfaces terrestres ou planétaires, la réflectance est appelée albédo. La transmission. La transmittance  $\tau$  est le rapport entre l'énergie transmise et l'énergie reçue. L'absorptance, la réflectance et la transmittance ont des valeurs comprises entre  $0$  et  $1$ , la somme de ces trois indices étant toujours égale à  $1$  (loi de Kirchhoff).

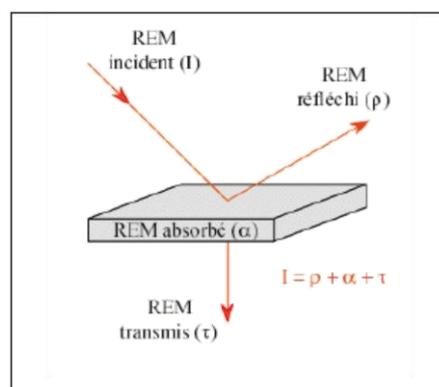


Figure 2.6 : Absorption, réflexion et transmission (Bonn et Rochon, 1992)

Autres interactions ; la diffusion + atténuation (ou extinction) : une partie de l'énergie émise par une source est diffusée dans le milieu de transmission comme l'atmosphère, sous l'influence de microparticules (eau, aérosols, ...).

Dans le domaine du visible, la diffusion est plus importante pour les ondes courtes (bleu) que pour les ondes longues (rouge). La diffusion a pour effet une augmentation du rayonnement dans toutes les directions et une atténuation (ou extinction) dans la direction de propagation de l'onde.

### 2.6.3 Production de REM

L'émission de REM peut provenir de divers mécanismes naturels ou artificiels :

- Émission entretenue par des charges électriques (antennes) ;
- Rayonnement électronique des atomes (lorsque les électrons passent à niveau d'énergie inférieur) ;
- Rayonnement des molécules : tout objet dont la température est supérieure à 0°K émet un rayonnement électromagnétique issu de l'agitation des molécules. Ceci est la principale source naturelle de REM.

Pour modéliser ce dernier type de rayonnement, on utilise la notion de corps noir (Bonn et Rochon 1992) : «Corps théorique qui absorbe la totalité du rayonnement qu'il reçoit. Il ne réfléchit et ne transmet aucune radiation et son émission dépend uniquement de sa température»

Deux caractéristiques essentielles d'un corps noir :

- Pour une température T2 plus élevée que T1, le rayonnement émis sera beaucoup plus important. Loi de Stephan :

$$M = \sigma \cdot T^4 \quad (2.2)$$

- où M est la puissance rayonnée, T est la température et  $\sigma$  est la constante de Stephan-Boltzmann.
- quand la température augmente, la courbe de luminance se déplace vers les courtes longueurs d'onde. Loi de Wien :  $\lambda_{\max} = 2898/T$  ( $\lambda$  en  $\mu\text{m}$ ) (4.3)

Le soleil se comporte de manière similaire à un corps noir de température de 6000 K° ; le maximum d'émission solaire est atteint à la longueur d'onde de 0.48  $\mu\text{m}$ . Un corps gris, à la différence d'un corps noir n'absorbe pas toute l'énergie reçue : il en transmet et/ou réfléchit une partie. C'est le cas des objets observés dans la nature (Bonn et Rochon, 1992).

## 2.7 Eléments de base de la télédétection

La télédétection fait intervenir quatre "acteurs" : la source du rayonnement électromagnétique (qui peut être le soleil, l'objet étudié, le capteur dans le cas du radar), l'objet considéré et son voisinage, les éléments perturbateurs (l'atmosphère), les capteurs (Caloz, 1992).

### 2.7.1 Eléments de radiométrie

Les principaux éléments de la radiométrie sont :

- la direction (Figure 2.7) avec l'angle zénithal  $\theta$ , qui varie dans le plan vertical de 0 à 90° et l'angle azimutal  $\phi$ , qui varie dans le plan horizontal de 0 à 360°

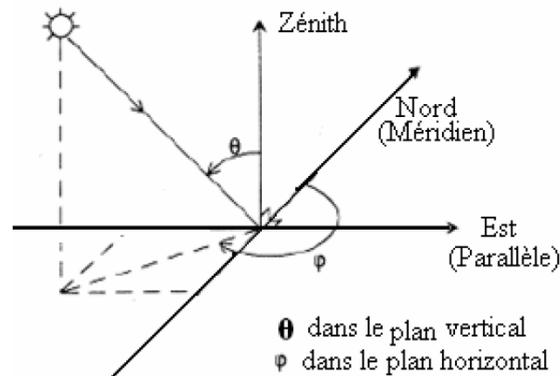


Figure 2.7 : Représentation de la direction des repères spatiaux (Caloz, 1992).

- Sources et cibles de rayonnement : on distingue la puissance ou flux (W) qui est la quantité d'énergie émise par une source ponctuelle, par unité de temps et dans toutes les directions.
- L'intensité (W/sr) qui est la portion du flux rayonnée dans une direction donnée, à travers un angle solide. Un angle solide se représente comme un cône d'une certaine ouverture et qui se mesure en stéradians.
- Source surfacique : se caractérise par la luminance (angle: radiance) (W/sr /m<sup>2</sup>) représentant la puissance émise par unité d'angle solide et par unité de surface apparente d'une source dans une direction donnée. L'intensité du flux radiatif émis ou réfléchi par une portion de la surface de la Terre, tel qu'elle est mesurée par un capteur, est une *luminance*, qui se mesure en W.m<sup>-2</sup>.sr<sup>-1</sup>. μm<sup>-1</sup> (watt par mètre carré par stéradian et par micron).
- Cibles : c'est l'éclairement, l'irradiance (W/m<sup>2</sup>) qui est la puissance hémisphérique totale incidente par unité de surface.
- Emissivité spectrale ( $\epsilon$ ) : c'est le rapport pour une longueur d'onde donnée, entre la luminance d'un corps et la luminance d'un corps noir, pour la même température.

$$\epsilon(\lambda) = \frac{L_{\lambda \text{ corps gris (T)}}}{L_{\lambda \text{ corps noir (T)}}} \quad (2.3)$$

- La réflectance ( $\rho$ ) : c'est le rapport entre la quantité d'énergie réfléchi dans une direction donnée par une surface (luminance) et la quantité d'énergie reçue par cette même surface (irradiance) pour une longueur d'onde donnée.

$$\rho = \pi \cdot L_{\lambda} / E \quad (2.4)$$

### 2.7.2 Réflectance spectrale de la végétation, du sol et de l'eau

La figure 2.8 présente les courbes de la réflectance spectrale de 3 types de couverture : la végétation, le sol et l'eau. On remarque nettement la distinction entre les 3 types.

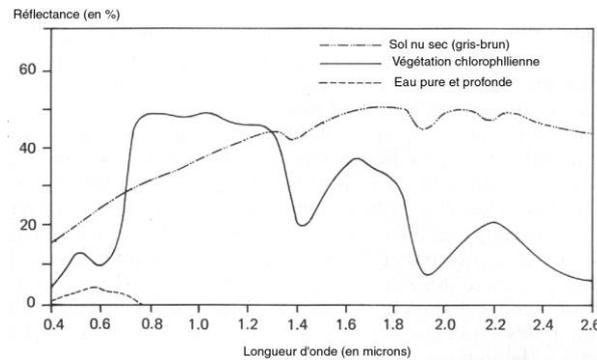


Figure 2.8 : Courbes typiques de la réflectance spectrale de la végétation du sol et de l'eau (Lillesand et Kieffer, 1987).

La réflectance spectrale de la végétation se manifeste souvent par des sommets et des dépressions (vallées). Les dépressions sont contrôlées par les pigments contenus dans les feuilles. Par exemple, la chlorophylle absorbe fortement de l'énergie électromagnétique aux environs de 0.45 et 0.67 mm. Donc, la végétation nous paraît verte dans le visible (œil humain), parce qu'il y a une forte absorption du bleu et du rouge.

Si la plante est atteinte d'une certaine maladie (stress) qui pourrait interrompre sa croissance normale, cela pourrait diminuer ou cesser la production de la chlorophylle. En conséquence, il y aura moins d'absorption du bleu et du rouge. La réflexion de ces deux types d'énergie augmente à un point où les feuilles apparaissent jaunes (bleu +rouge) ou même oranges.

En allant du visible à l'infrarouge, la réflectance de la végétation augmente dramatiquement aux environs de 0.7 mm. Entre 0.7 et 1.3 mm, une feuille reflète typiquement entre 40 et 50 % de l'énergie qu'elle reçoit. La plus grande portion du reste est transmise, puisque l'absorption à ce niveau du spectre est faible (< 5 %). La réflectance des plantes dans cette région du spectre (0.7 à 1.3 mm) est causée spécialement par la structure interne des feuilles. Comme cette structure est très variable entre les espèces, les mesures de réflectance dans cette région du spectre nous permettent souvent de faire une distinction satisfaisante entre les espèces malgré leur ressemblance dans le visible.

Tableau 2.1: Relations entre couleurs et bandes spectrales pour les images couleurs et infrarouge.

Bandes spectrales	B = Bleu	V = Vert	R = Rouge	PIR	MIR	MIR
Longueurs d'ondes repères (nm)	450	550	675	900	1700	2200
Image couleur : couleur résultante	bleu	vert	Rouge			
Image infrarouge couleur : couleur résultante		bleu	vert	Rouge		
Canal SPOT		B1	B2	B3	B4	
Canal TM	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7

Source: Girard, 2005

### 2.7.3 Les différents types de résolution

- Résolution spatiale : taille au sol des pixels, étendue des images.
- Résolution spectrale : largeur des bandes spectrales détectées.
- Résolution temporelle: intervalle entre les prises de vue d'un même lieu, dépendant de l'orbite du satellite.

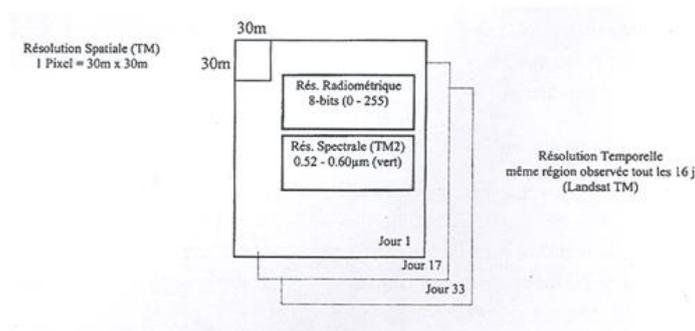


Figure 2.9 : Les quatre types de résolution des données LANDSAT

### 2.7.4 Adéquation entre type de capteur et échelle de résolution géographique

#### A. Seuils de détection

En général, plusieurs pixels sont nécessaires pour détecter un objet : au minimum 4 pixels sont nécessaires sauf pour des objets qui contrastent fortement avec leur environnement immédiat.

#### B. Seuils d'identification

L'identification d'un objet nécessite 3 fois plus de pixels que sa détection soit 12 pixels au minimum. Le nombre de 28 pixels est préconisé dans le cas de paysages agricoles complexes (Jobin et Tournade, 1995).

#### C. Seuils de cartographie

En cartographie l'un des éléments importants dont il est nécessaire de tenir compte est la taille de l'objet qui est à cartographier. Le seuil minimal de cartographie d'un objet est généralement de 2 x 2 mm. La superficie correspondante dépend de l'échelle de la carte.

## 2.8 Traitements des données de télédétection

Les fonctions de traitement des images communément disponibles en analyse d'images en quatre catégories :

### **Prétraitement :**

- Corrections radiométriques
- Corrections géométriques

### **Traitement :**

- Rehaussement de l'image
- Transformation de l'image
- Classification et analyse de l'image

On appelle fonctions de **prétraitement** les opérations qui sont normalement requises avant l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les opérations de prétraitement se divisent en **corrections radiométriques** et en **corrections géométriques**.

Les fonctions de rehaussement ont pour but d'améliorer l'apparence de l'imagerie pour l'interprétation et l'analyse visuelles. Les fonctions de rehaussement permettent **l'étirement des contrastes** pour augmenter la distinction des tons entre les différents éléments d'une scène, et le **filtrage spatial** pour rehausser (ou éliminer) les patrons spatiaux spécifiques une image.

## 2.9 Prétraitement

### 2.9.1 Corrections radiométriques

Elles permettent de diminuer les perturbations dues à l'atmosphère et aux capteurs. Deux images d'une même région, acquises à des différentes dates peuvent avoir des valeurs numériques différentes ; ceci est dû à des différences dans l'élévation solaire qui dépend de la saison et de l'année ou à des différences de transmission et d'absorption de l'atmosphère ou encore à des changements dans l'occupation du sol de la région étudiée. Ce dernier facteur fait l'objet des études dites " multidates " (Leg, 1992).

La correction radiométrique pour compenser la différence de l'élévation solaire entre différentes dates et la différence dans le calibrage du capteur, est importante pour la détection des changements (Leg, 1992).

Les satellites d'observation de la terre passent sur chaque point de la terre à la même heure solaire. L'élévation solaire et l'azimut du temps d'acquisition sont normalement enregistrés à l'entête de l'image numérique et il est relativement simple d'ajuster les valeurs numériques d'une série d'images à une élévation solaire constante de telle sorte que les images apparaissent

comme étant acquise au même moment de l'année (Leg, 1992). Ces traitements sont réalisés de manière générale en amont de l'utilisation finale.

### 2.9.2 Corrections géométriques

Elles sont destinées à corriger l'image des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variations de sol, technologie du capteur) ainsi qu'à rendre l'image superposable à une carte. Elles sont faites soit à partir de paramètres d'orbite et d'altitudes enregistrées durant le vol, soit à l'aide de lois de déformations, pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu (UTM ou Lambert par exemple). Les lois de déformation sont calculées de point particulier, encore appelés amers, dont les coordonnées sont connues à la fois sur le terrain et sur l'image (Deshayes et Maurel, 1990).

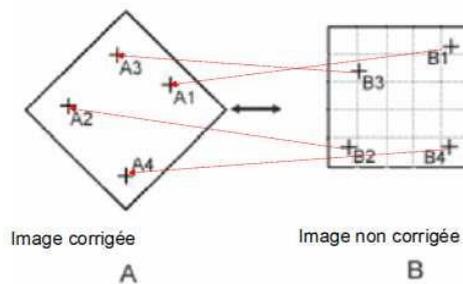


Figure 2.10 : Principe de correction géométrique, corrections par points d'amers ou de contrôle.

### 2.9.3 Géo-référencement de l'image

Il consiste à rectifier l'image satellite de manière à la rendre superposable à une autre image ou à un document cartographique de référence (Shlien, 1997).

## 2.10 Traitement

### 2.10.1 Rehaussement de l'image

Une image de bonne qualité est celle dont les apparences permettent à notre système visuel d'identifier le maximum d'informations. La qualité visuelle de l'image joue un rôle prépondérant, cette qualité se réfère aux propriétés de notre système visuel : séparabilité des tons de gris, perception relative des couleurs. (Ce processus se fait généralement après la réalisation de procédés de prétraitement pour la finalité de représentation graphique ou interprétation visuelle des images numériques).

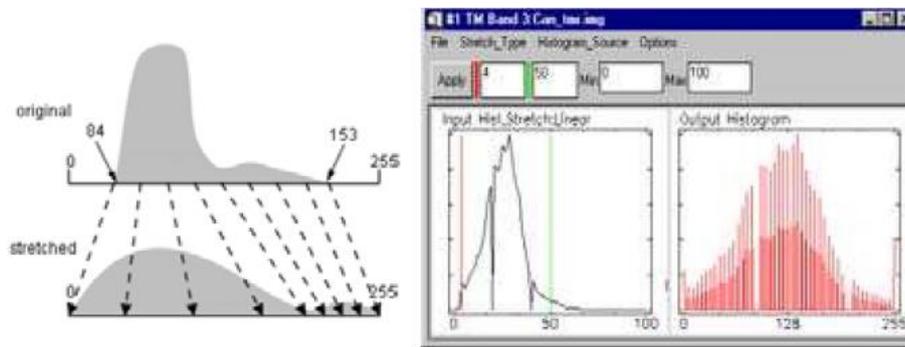
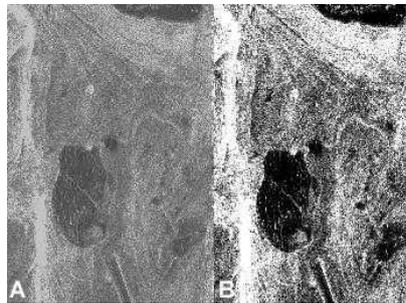


Figure 2.11: Rehaussement des images: amélioration de la qualité visuelle de l'image afin de faciliter son interprétation.

L'étude de rehaussement est abordée en étapes parmi celles : les transformations simples, telles que l'agrandissement ou la réduction de la taille de l'image, les transformations qualifiées de globales s'appuyant sur les anamorphoses d'histogramme, les applications des filtrages spatiaux et fréquentiels, traitements des méthodes de fusion d'images.



A - Image brute      B - Image rehaussée

Figure 2.12: Rehaussement de l'image (CCT, 2005).

### 2.10.2 Composition colorée

L'information apportée par un seul canal ne peut pas toujours donner un détail satisfaisant, le principe consiste à utiliser trois canaux dans une même image ; à chaque canal une couleur différente, la superposition de ces images donne une nouvelle image appelée composition colorée. La composition colorée obtenue par synthèse additive des lumières colorées (système Rouge – Vert – Bleu). En sachant que ces trois couleurs fondamentales correspondent à trois valeurs numériques pour chaque pixel.

Par exemple, une composition TM 1, 2, 4 affiche le canal vert de TM en bleu, le canal rouge en vert et le canal proche infrarouge en rouge.

### 2.10.3 Méthodes d'analyse numérique d'image (Les transformations d'images)

Sont des opérations similaires à ceux de rehaussement l'image. Cependant, alors que le rehaussement de l'image qui est normalement appliqué une seule bande de données à la fois, la transformation de l'image combine le traitement données de plusieurs bandes spectrales. Des opérations arithmétiques (c'est-à-dire addition, soustraction, multiplication, division) sont faites pour combiner et transformer les bandes originales en de "nouvelles" images qui montrent plus clairement certains éléments de la scène.

Nous allons examiner certaines de ces opérations incluant les diverses méthodes **rapport de bande** aussi appelé **rapport spectral** et un procédé appelé **analyse des composantes principales** qui est utilisée pour mieux représenter l'information en imagerie multi-spectrale (CCT, 2005).

#### **2.10.4 Statistiques spatiales et Analyse en Composantes Principales (ACP)**

Tous traitements numériques ou classifications des images peuvent être affichés en tableaux statistiques que ce soit des données d'occupation de sol en cas de classification ou de l'image. Les images optiques de télédétection sont sujettes à des déformations et à des perturbations dues aux effets atmosphériques et aux vibrations des capteurs. Ceci se traduit par un bruit additif qui se rajoute au contenu du pixel. Ces images sont corrélées et donc posent le problème de redondance de l'information. Une ACP se lance sur un tableau individu par variable dont les colonnes sont des variables quantitatives. Cette méthode consiste à trouver un espace de dimension réduite sur lequel on projette ces variables. L'espace réduit est obtenu à partir des composantes principales (axes principaux). Ces composantes principales sont des combinaisons linéaires des variables initiales. La première composante est celle contenant le plus d'informations alors que la dernière est celle contenant le bruit.

#### **2.10.5 Classification de l'image satellitaire**

La classification d'une image de télédétection consiste à en une reconnaissance automatique des réflectances. Elle permet d'identifier et de regrouper les pixels similaires d'une image dans une classe. Cette similarité peut être déterminée par rapport à la signature spectrale ou à la proximité spatiale (Dos Santos, 2001).

Les techniques de classification utilisent les propriétés spectrales et parfois spatiales de l'image pour segmenter l'image en classes homogènes de type de couvertures de sol. L'œil humain utilise la couleur, la texture, forme, taille, patron, ombre et le contexte pour identifier les différents types de couverture du sol.

La plupart des classifications opèrent sur la base de la couleur, seulement dans le sens où elles opèrent sur des valeurs individuelles de chaque pixel dans chaque longueur d'onde. Il s'agit du procédé le plus utilisé en télédétection. Il consiste à regrouper des ensembles de pixels similaires en classes. On peut se base simplement sur les valeurs radiométriques des Pixels ou intégrer également les relations de voisinage entre pixels.

Dans le cas de classification basée sur les radiométries, on rappelle qu'une image satellite peut être représentée à n dimensions. Chaque pixel a un point représentatif dans cet espace des radiométries et une image constitue donc un nuage de points, donc le but de cette opération consiste à réaliser le découpage optimal de nuage de points, sur lequel on peut appliquer divers traitements.

Les méthodes de classification se divisent en deux grands groupes :

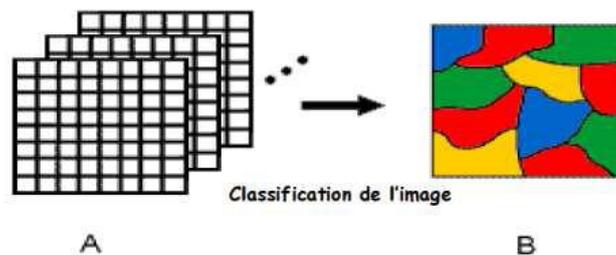


Figure 2.13: Classification de l'image.

Deux approches générales qui sont souvent utilisées, soit la classification **supervisée** et la classification **non supervisée**.

#### **A- La classification non supervisée (non dirigée)**

Elle est effectuée sans prise en compte de données d'étalonnage sur le terrain ou bien dans le cas on ne dispose pas d'information a priori sur la zone. Il s'agit d'un découpage entièrement mathématique de l'espace radiométrique en un nombre de classe défini par l'utilisateur au départ. Le thématicien intervient ensuite pour donner un nom à chacune des classes obtenues. Cette technique est intéressante dans les cas où il est impossible de rendre sur le terrain.

#### **B- La classification supervisée (dirigée)**

On identifie sur l'image des surfaces assez homogènes représentatives des thèmes qu'on souhaite discriminer. Les signatures spectrales de ces surfaces serviront comme références pour classer l'ensemble de l'image en utilisant des algorithmes de classification appropriés.

Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un **ensemble de données tests**. La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions

géographiques et les types de surfaces présents dans l'image. L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique classes.

Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe. L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la "signature" numérique de chacune des classes. Plusieurs algorithmes différents sont possibles. Une fois que l'ordinateur a établi la signature spectrale de chaque classe à la classe avec laquelle il a le plus d'affinités. Une classification supervisée commence donc par l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent.

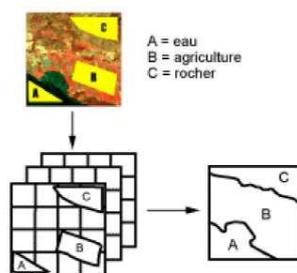


Figure 2.14 : Classification supervisée.

### 2.10.6 Les notions de texture et de structure

D'après (Renou, 2003), les notions de structure et de texture peuvent se révéler très utiles lors de la discrimination d'objets sur une image satellite.

#### A. La texture

La texture est un arrangement local produit sur une image par la juxtaposition d'un grand nombre d'objets de même nature, trop petits pour être identifiés individuellement. Cette notion de texture (disposition des groupes de pixels, le nombre, la taille et la fréquence des éléments), se révèle complémentaire du travail sur la réflectance des pixels pris individuellement. En effet, il est tout à fait possible que deux catégories d'occupation du sol se manifestent par une signature spectrale similaire tout en présentant une texture différente (Calloz et Collet, 2001).

#### B. La structure

La structure fait apparaître la notion de fréquence des éléments texturaux. Les éléments structuraux sont définis par les relations répétées qui existent entre les éléments texturaux (Girard et al, 1989).

### 2.10.7 Synthèse des néo-canaux

C'est une pratique courante dans l'analyse multi spectrale. Peut-être classé comme méthode de compression des données, est issu de l'analyse de la physique des phénomènes, est utile pour

différencier des objets au sol selon leur nature. L'examen des réponses obtenues dans les canaux du rouge et du proche infrarouge ont conduit à la définition de deux indices : l'indice de végétation et l'indice de brillance.

Un indice se définit comme une variable « synthétique, numérique qui caractérise l'intensité ou l'extension d'un phénomène trop complexe pour être décomposé en un nombre maîtrisable de paramètres » (Calloz et al, 1993). Les différents indices de végétation correspondent à une démarche empirique dans la recherche d'une estimation de paramètres concernant la végétation afin d'identifier des couverts végétaux chlorophylliens, d'évaluer l'indice foliaire, le développement de la canopée, les effets de stress, l'évapotranspiration, le rendement... Ils sont plus ou moins sensibles à la contribution spectrale venant du sol ainsi qu'à celle provenant de l'éventuelle matière sèche sur pied mélangée à la matière verte (Girard et Girard, 1999).

Un indice s'exprime selon l'intervalle choisi arbitrairement, de 0 à 1 ou de 0 à 100 ou tous autres intervalles numériques. Issu habituellement d'un rapport de variables, il est fréquemment sans dimension physique. S'il conserve une dimension de luminance, comme ceux résultant de combinaisons linéaires de bandes spectrales, sa signification est néanmoins celle d'une variable thématique. Les indices sont calculés à partir d'une combinaison simple ou complexe de bandes spectrales. L'objectif est d'accorder une valeur quantitative aux résultats et de pouvoir traduire les évolutions de la végétation en termes de variables biophysiques.

## **2.11 Caractéristiques spectrales des couverts végétaux**

Les propriétés optiques des couverts végétaux dépendent à la fois de la nature des plantes qui les composent, de leur état physiologique, des organes végétaux notamment les feuilles et leur arrangement spatial ainsi que du sol sous-jacent (Guyot, 1989).

Selon (Guyot, 1995), la réflectance d'un couvert végétal ne dépend pas seulement des propriétés d'absorption et de diffusion de ses feuilles mais aussi de son architecture. Celle-ci varie selon la forme, la dimension, la distribution dans l'espace et la quantité des surfaces végétales du couvert. La distribution spatiale de la végétation sur le sol dépend du type de végétation, de la disposition des plantes (écartement et orientation des rangs) et de leur stade de croissance.

### **2.11.1 Les différents indices de végétation utilisés en télédétection**

Le principal indice utilisé dans l'analyse des images satellitales multi-spectrales est l'indice de végétation normalisé (NDVI) qui va traduire la densité du feuillage et la proportion de sol effectivement couverte par la végétation (Ximenes et al, 2005). Il est défini de la manière suivante:

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R}) \quad (2.5)$$

PIR = Réflectance dans le canal proche infrarouge

R = Réflectance dans le canal rouge.

Tableau 2.2 : Les indices de végétation les plus couramment utilisés (Girard et Girard, 1999)

Dénomination	Formule	Caractéristiques
Indice de végétation	$RVI = PIR/R$	Saturation aux forts indices, sensibilité à la contribution spectrale des sols et aux effets atmosphériques
Indice pigmentaire	$IP = V/R$	
Indice de végétation perpendiculaire	$PVI = a1PIR - a2R + \alpha$ $\alpha = \text{constante}$	Diminution de la contribution spectrale des sols mais sensibilité à diverses caractéristiques des sols
Chapeau à corne « Tasseled Cap »	Formule générale $a1V+a2R+a3PIR+a4PIR$	Transformation orthogonale des 4 canaux pour réduire la sensibilité à la contribution spectrale des sols sans pouvoir l'éliminer complètement
Indice de verdure issue du précédent	$GR4 =$ $b_1V-b_2R+b_3PIR+b_4PIR$	
Indice de végétation normalisé corrigé des effets atmosphériques	$ARVI = (PIR - RB)/(PIR+RB)$	Diminue l'effet des aérosols contenus dans l'atmosphère sur le NDVI mais sensible à la contribution spectrale des sols

### 2.11.2 Comportement spectral du sol

Le sol se caractérise par des valeurs de réflectance régulièrement croissantes dans le visible et le proche infrarouge, tandis qu'elles sont généralement faibles dans le moyen infrarouge réfléchissant. La réflectance est très faible lorsque le sol est humide.

### 2.11.3 Les indices prenant en compte l'influence des sols

Ces indices ont été proposés avec pour objectif de corriger ou tout au moins, réduire l'influence des sols sous-jacents aux couverts végétaux sur le signal mesuré au niveau du capteur satellitaire, tels le cas du couvert végétal des régions arides. Trois types d'indices ont été développés : des indices orthogonaux (comme l'indice perpendiculaire de végétation - PVI), caractérisés par la distance perpendiculaire entre un point qui représente le couvert végétal dans l'espace multispectral rouge/PIR et la droite des sols. Un deuxième type d'indices qui dérivent de la formulation du NDVI (comme l'indice de végétation ajusté aux sols - SAVI). Enfin la dernière catégorie d'indices combine les deux types précédents. C'est le cas des indices TSAVI et MSAVI.

➤ *L'indice perpendiculaire de végétation (PVI)* proposé par Richardson et Wiegand (1977) suppose que la distance perpendiculaire est linéairement reliée à la couverture végétale. Cela a pour conséquence de produire des isolignes de végétation (couverture végétale d'égale densité) parallèles à la droite des sols, ce qui n'est pas très représentatif de la réalité. En effet, Huete (1988) a montré que les pentes des lignes de végétation croissent avec l'augmentation de la biomasse végétale.

$$PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{PIR} - a\rho_R - b) \quad (2.6)$$

avec

$a$  : pente de la droite des sols dans l'espace (R, PIR)

$b$  : ordonnée à l'origine de la droite des sols

- Huete (1988) propose un **indice de végétation ajusté pour le sol** : le SAVI qui introduit un paramètre d'ajustement, noté  $L$ , qui caractérise le sol et son taux de recouvrement par la végétation. Huete a montré que les isolignes de végétation ne sont pas parallèles à la droite des sols, mais qu'elles coupent celle-ci en un point selon la densité du couvert végétal. Le paramètre  $L$  prend la valeur de 0,25 pour une forte densité et de 1 pour une très faible densité de végétation. Pour des densités intermédiaires, il est égal à 0,5.

$$SAVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R + L} (1 + L) \quad (2.7)$$

- Baret *et al.* (1989) proposent une amélioration de l'indice SAVI. Leur **indice transformé de végétation ajusté pour le sol** TSAVI est basé sur la détermination préalable de la droite des sols à partir des bandes spectrales du capteur. Il utilise la pente  $a$  et l'ordonnée à l'origine  $b$  de la droite, plutôt que les valeurs arbitraires fixées pour l'indice SAVI.

$$TSAVI = \frac{a(\rho_{PIR} - a\rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{PIR} - ab + 0,08(1 + a^2)} \quad (2.8)$$

- Dans le même ordre d'idée, Qi *et al.* (1994) proposent eux aussi une amélioration du SAVI. Dans leur **indice modifié de végétation ajusté pour le sol** MSAVI, le paramètre  $L$  n'est plus une constante, mais il est ajusté automatiquement aux conditions locales. L'expression de l'indice MSAVI est la même que celle de l'indice SAVI. La différence concerne le facteur  $L$  qui dépend à la fois de la droite des sols, du NDVI et de l'indice de végétation par différence pondérée (en anglais, Weighted Difference Vegetation Index, abrégé. WdVI - Richardson et Wiegand, 1977).

$$MSAVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R + L} (1 + L) \quad (2.9)$$

$$L = 1 - 2aNDVI \cdot WdVI \quad (2.10)$$

$$WdVi = \rho_{PIR} - a\rho_R \quad (2.11)$$

Avec :  $a$  : est la pente de la droite des sols ;

#### **2.11.4 L'indice de brillance**

Il traduit les changements de teintes des sols nus et des roches. Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les deux canaux.

$$IB = (PIR)^2 + R^2 \quad (2.12)$$

Cet indice permet théoriquement et mettre en évidence l'humidité du sol, la rugosité des surfaces ainsi que leur couleurs. (DESHAYES M. et MAUREL P., 1990).

#### **2.12 Notion de changement de la végétation (CRTS, 2004)**

La terminologie communément employée varie considérablement selon les auteurs, on peut distinguer :

- des changements dans la végétation qui conservent la même apparence globale, la même physiologie, fluctuations.
- des changements plus radicaux qui modifient la physiologie de la végétation, à tel point qu'on peut considérer qu'elle a changé de type: successions.

##### **2.12.1 Fluctuations**

Elles résultent de différence entre rythmes (phénologie) des différentes espèces et du réarrangement perpétuel de la répartition des individus. Les variations interannuelles, d'ordre climatique notamment, influencent ce processus de réarrangement et peuvent entraîner des variations assez marquées dans les proportions des différentes espèces présentes, mais sans modifier l'importance globale des espèces dominantes (celles qui impriment leur physiologie à la végétation).Elles sont plutôt de courte durée, réversible en principe, la végétation variant d'année

en année autour d'une moyenne, et sans qu'il ait généralement apparition d'espèces nouvelles Leur importance est beaucoup plus grande en climat aride (à cause de la grande variabilité pluviométrique interannuelle) qu'en climat tempéré.

##### **2.12.2 Successions**

Celles-ci peuvent considérées comme une forme plus extrême de fluctuations où les proportions des espèces dominantes changent également. La composition botanique s'éloigne de la moyenne initiale, et souvent (quoique pas obligatoirement), de nouvelles espèces s'installent. Ce terme

désigne finalement le processus de colonisation d'un biotope par les êtres vivants et les changements.

### **2.13 Les indicateurs de suivi de la désertification**

Les indicateurs de suivi de la désertification fournissent des informations sur l'évolution des états de l'environnement, dans ses aspects biophysiques d'une part et socio-économiques d'autre part. Ils sont destinés à l'identification à la compréhension du phénomène de la désertification dans ses différentes composantes, de ses causes ainsi que de ses effets. Au plan méthodologique, ces indicateurs peuvent aider à choisir les actions de lutttes les plus efficaces et pertinentes contre la désertification selon les situations (Si Ramdane, 2006).

Les informations radiométriques et numériques recueillies par les satellites permettent de suivre l'évolution de l'environnement en fonction du temps. En particulier l'état de la végétation et des sols peut être déterminé à intervalles réguliers ce qui fait de la télédétection un des outils performants de surveillance écologique pour couvrir de vastes territoires.

Tout l'art de la télédétection consiste à transformer des mesures physiques obtenues sur des surfaces en information. Les données de télédétection doivent donc être étalonnées et transformées en variables dérivées, utilisées pour évaluer les indicateurs de désertification.

### **2.14 Programme MEDALUS**

A cause de la préoccupation grandissante d'un éventuel changement climatique par l'effet de serre dans un futur proche, ajoutée aux effets de la dégradation des terres par les activités humaines dans les régions les plus arides de la Méditerranée européenne, la Commission de la Communauté européenne a mis en place en 1990 le programme MEDALUS avec les objectifs suivants :

- rechercher, à partir de travaux de terrain et de modèles mathématiques minutieux, les processus physiques, sur le sol et la végétation, qui déterminent comment l'environnement peut réagir aux changements climatiques et aux actions humaines qui conduisent à la désertification dans les régions arides de la Méditerranée communautaire ;
- examiner la tendance à l'aggravation de la situation dans les prochaines 50 années, comme résultat d'ensemble des conditions climatiques et des changements socio-économiques ;
- évaluer l'impact qu'une telle détérioration de l'environnement pourrait avoir sur les conditions physiques naturelles et sur les sociétés méditerranéennes ;
- suggérer à la Communauté européenne, en particulier dans la politique agricole, des recommandations et des mécanismes qui réduisent ou adoucissent les effets de la possible

augmentation du risque de désertification.

Un ensemble de sept institutions et universités de huit États membres de la Communauté européenne et plus de cent chercheurs ont été intégrés au MEDALUS I (1991-1992); ces scientifiques proviennent de divers champs des sciences de la terre et de l'environnement : géomorphologues, géographes, écologues, botanistes, ingénieurs civils, hydrologues, physiciens, climatologues, météorologues, agronomes, pédologues, experts en modèles et télédétection, historiens, économistes et sociologues. Dans la seconde phase MEDALUS II (1993-1994), le nombre d'institutions et universités s'est élevé à quarante et la masse des chercheurs et techniciens à quelque deux cent quatre-vingts. MEDALUS II contient quatre projets reliés entre eux :

- *Projet 1* : Programme de travaux de terrain sur les processus d'érosion hydriques et écologiques. Finalité : fournir de rands volumes de données pour la vacation des modèles. Réalisation d'expériences spécifiques : simulations de pluie, influence de la quantité de pierres dans le sol, humidité dans le sol, etc., dans des zones soumises au pâturage et dans d'autres qui ne le sont pas. Mesures radiométriques et analyses d'images de satellite.
- *Projet 2* : Développement de techniques et modèles climatiques, hydrologiques et écologiques, pour être appliqués à des zones tests. Evaluation de la réponse spectrale de ces zones au moyen de travaux radiométriques et de télédétection. Caractérisation d'unités de réponse à la désertification (DRUs) et application de modèles.
- ***Projet 3* : Recherche des problèmes spécifiques induits par la désertification, en utilisant des techniques développées dans MEDALUS I. Le contrôle de la désertification est essentiellement lié à l'usage et la gestion du sol, de l'eau et de la végétation, dans le contexte culturel et socio-économique des territoires affectés. Pour cela ce projet étudie l'évolution des ambiances historiques, culturelles et socio-économiques, en même temps qu'une évaluation écologique, sociale et économique des actions humaines dans des zones méditerranéennes sensibles.**
- *Projet 4* : Application intégrale et directe de techniques et stratégies dans des régions ayant un important risque de désertification, à trois échelles :
  - à l'échelle de la communauté locale : vallée du fleuve Agri, Basilicate (Italie) ;
  - bassin du fleuve Guadalentin (sud-est de l'Espagne) ;
  - régions des Abruzzes (Italie).

MEDALUS entend fournir à la Commission de la Communauté européenne informations et instruments pour une politique préventive fondée sur la recherche, l'expérimentation et la diffusion de méthodes de conservation et de gestion du sol, de l'eau et de la végétation, en

prenant en compte les limites imposées par le milieu physique et les conditions économiques, sociales et culturelles des régions affectées, (Francisco Lopez-Bermudez, Universidad de Murcia Campus de La Merced 30001 Murcia, Espagne).

## 2.15 Introduction aux Systèmes d'Information Géographique «SIG»

Les SIG sont considérés comme une des technologies de l'information les plus performantes car elle vise à intégrer des connaissances provenant de sources multiples et crée un environnement pluri-secteurs idéal pour la collaboration. De plus, le SIG séduit les nouveaux utilisateurs par son côté intuitif et cognitif. Il réunit un environnement de visualisation performant et une puissante infrastructure d'analyse et de modélisation spécialement adaptée à la géographie. Dans cette optique, les SIG proposent 3 volets pour afficher et manipuler les informations géographiques figure 2.15:

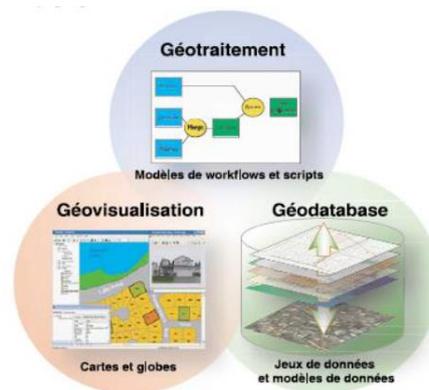


Figure 2.15 : Les 3 éléments constituant le noyau d'un SIG complet

- Le volet géodatabase - catalogue : un SIG correspond à une base de données spatiales contenant des jeux de données qui représentent des informations géographiques selon un modèle de données SIG générique (entités, rasters, attributs, topologies, réseaux, etc.).
- Le volet géovisualisation - carte : un SIG est un ensemble de cartes intelligentes (2D ou 3D) et de vues (2D ou 3D) qui montrent des entités spatiales et leurs relations à la surface de la terre. Il est possible d'élaborer différentes vues cartographiques des informations géographiques sous-jacentes, qui s'utilisent comme des "fenêtres ouvertes sur la base de données géographique" afin d'effectuer des requêtes, des analyses et de modifier les informations géographiques.
- Le volet géotraitement – boîte à outils: un SIG comprend des outils de transformation des informations qui produisent des informations à partir des jeux de données existants. Les fonctions de géotraitement partent des informations contenues dans les jeux de données

existants, appliquent des fonctions analytiques et écrivent les résultats dans de nouveaux jeux de données.

L'ensemble, ces trois éléments constituent le noyau d'un SIG complet.

### 2.15.1 ArcGIS 9.2

ArcGIS 9.2 est un logiciel de la firme ESRI, leader mondial des SIG. La figure 2.16 nous donne un aperçu de l'organisation de l'ensemble des produits ESRI. En rouge, sont entourées les composantes qu'on utilise fréquemment. La version la plus simple du logiciel «ArcGIS desktop», «ArcView», comprenant les applications «ArcCatalog», «ArcMap» et «ArcToolbox» ainsi que l'extension «Spatial Analyst». On utilise bien sur des fichiers de données géographiques, notamment celles se trouvant sur un serveur internet de type «ArcIMS».

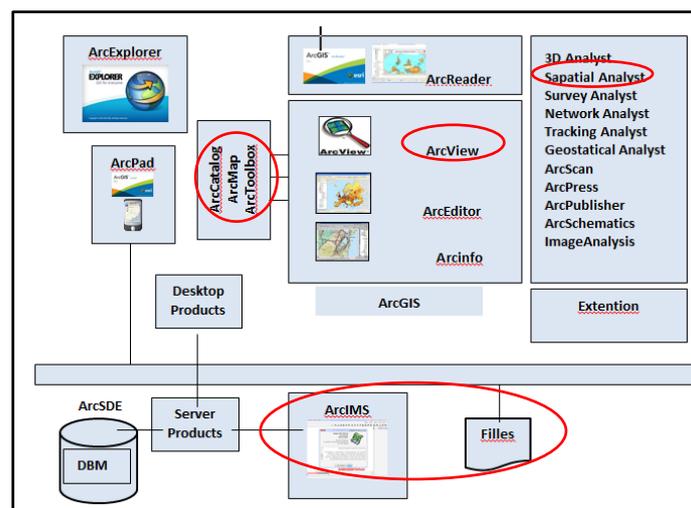


Figure 2.16 : Présentation de ArcGIS (Source: <http://www.esribelux.com/index2FR.asp>)

#### 2.15.1.1 ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop (littéralement «ArcGIS de bureau») comprend une suite d'applications intégrées les unes aux autres :

1. **ArcCatalog** facilite l'organisation et la gestion de toutes les données SIG (cartes, jeux de données, modèles,...)
2. **ArcMap** est l'application centrale d'ArcGIS Desktop. Elle se subdivise en deux interfaces : visualisation et traitement (analyse, édition,...) des données géographiques dans la fenêtre « data view » et mise en page de cartes dans la fenêtre «layout view».
3. **ArcGlobe**, est similaire à ArcMap mais permet une visualisation 3D des données sur lesquelles on travaille.

4. **ArcToolbox**, (littéralement, la « boîte à outils » d'ArcGIS), regroupe l'ensemble des outils de géotraitements utiles pour réaliser des opérations sur les données géographiques. Elle est disponible à partir des 3 applications présentées ci-dessus. ArcToolbox contient notamment le « *ModelBuilder* », un langage de programmation visuel et facile d'utilisation, pour automatiser une suite de géotraitements

En utilisant conjointement ces applications et ces interfaces, ArcGIS permet d'effectuer toutes sortes de tâches SIG, y compris la cartographie, l'analyse géographique, l'édition de données (création, mise à jour,...), la gestion des données, la visualisation et le géotraitement.

Il est disponible à trois niveaux fonctionnels, du plus simple au plus perfectionné :

1. **ArcView** est un outil SIG complet dédié à l'utilisation des données, la cartographie et l'analyse.
2. **ArcEditor** permet la création et la mise à jour avancées de données géographiques.
3. **ArcInfo** est un outil SIG bureautique professionnel et complet, qui propose des fonctions SIG complètes et de nombreux outils de géotraitement.

Des fonctionnalités supplémentaires sont disponibles par l'activation d'une série d'**extensions**. Les utilisateurs ont également la possibilité de développer leurs propres extensions.

### 2.15.1.2 Les deux grands types de donnée géographique : Matriciel / Vectoriel

Il existe 2 grands types de données géographiques dans les SIG : les « Matrices » et les « Vecteurs » figure 2.17.

Vecteur	Matrice ou Raster	Exemple dans la réalité
		<b>Données linéaires</b> : cours d'eau, routes,...
		<b>Données ponctuelles</b> : arbres, stations météo, points GPS,...
		<b>Données polygonales</b> : lacs, limites administratives (frontières de pays, limites de communes, etc.), parcs naturels,...

Figure 4.17: Types de données géographiques : Vecteur versus Raster

#### Les « Matrices »

Les « matrices », plus souvent appelées « Raster », correspondent à des grilles composées de cellules. Chaque cellule contient une valeur qui, souvent, représente un phénomène géographique, par exemple, l'altitude ou l'occupation du sol. Ce peut être une carte scannée, une photographie aérienne, une image satellite, une photo numérique,...

## Les « Vecteurs »

Les « vecteurs » sont composés de points, lignes ou polygones.

### 2.15.1.3 Données géographiques et tables associées

Les SIG permettent d'associer / intégrer facilement des données de type spatial avec des données de type « tabulaire » (ou « attributaire ») figure 2.18. A chaque entité spatiale correspond une / des information(s) attributaires organisées dans une « table ».

La figure 2.18 représente quelques pays d'Amérique Centrale, repris sous la forme d'**entités spatiales** de type « polygone », auxquels est associée toute une série d'informations organisées dans une table appelée « **table d'attributs** ». 1 ligne ou « **enregistrement** » (« record » en anglais) contient toute l'information concernant 1 pays. 1 colonne ou 1 « **champ** » (« field » en anglais) correspond à 1 type d'information, par exemple, le nom du pays, sa superficie, sa démographie, etc.

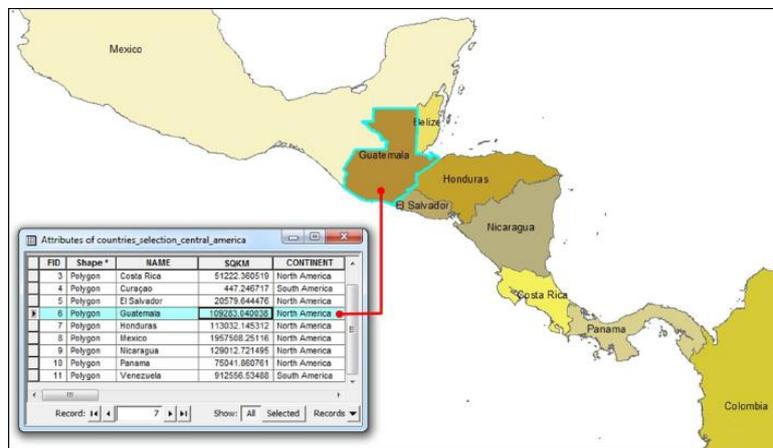


Figure 2.18 : Données géographiques et tables associées

### 2.15.2 ModelBuilder

ModelBuilder figure 2.19 est un langage de programmation visuel permettant d'élaborer des workflows de géotraitement. Les modèles de géotraitement permettent d'automatiser et de documenter les traitements d'analyse spatiale et de gestion des données. Vous pouvez créer et modifier des modèles de géotraitement dans ModelBuilder, où un modèle est représenté par un diagramme enchaînant des séquences de traitement et d'outils de géotraitement, en utilisant la sortie d'un traitement comme entrée d'un autre traitement.

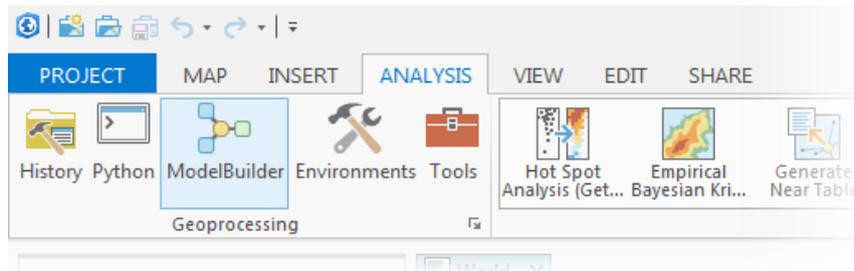


Figure 2.19: Fenêtre ModelBuilder dans Arc-GIS

ModelBuilder dans ArcGIS Pro permet de:

- Créer un modèle en ajoutant des outils de géotraitement, des couches de carte, des jeux de données et autres types de données en les connectant pour qu'ils forment des traitements.
- Traiter par itération toutes les classes d'entités, rasters, fichiers ou tables dans un espace de travail.
- Visualiser votre séquence de workflow sous la forme d'un diagramme facile à comprendre.
- Exécuter un modèle pas à pas, jusqu'à une étape sélectionnée, ou exécuter le modèle dans son intégralité.
- Créer un modèle dans un outil de géotraitement à partager avec d'autres utilisateurs ou à utiliser dans des scripts Python et autres modèles.
- Démarrer le didacticiel ModelBuilder

### Exemple

Ce modèle de géotraitement figure 2.20 est utilisé par un organisme de protection de l'environnement afin d'identifier un habitat potentiel pour des espèces d'oiseaux indigènes d'après le type de végétation, la distance par rapport aux routes principales, le climat, la pente et l'altitude.

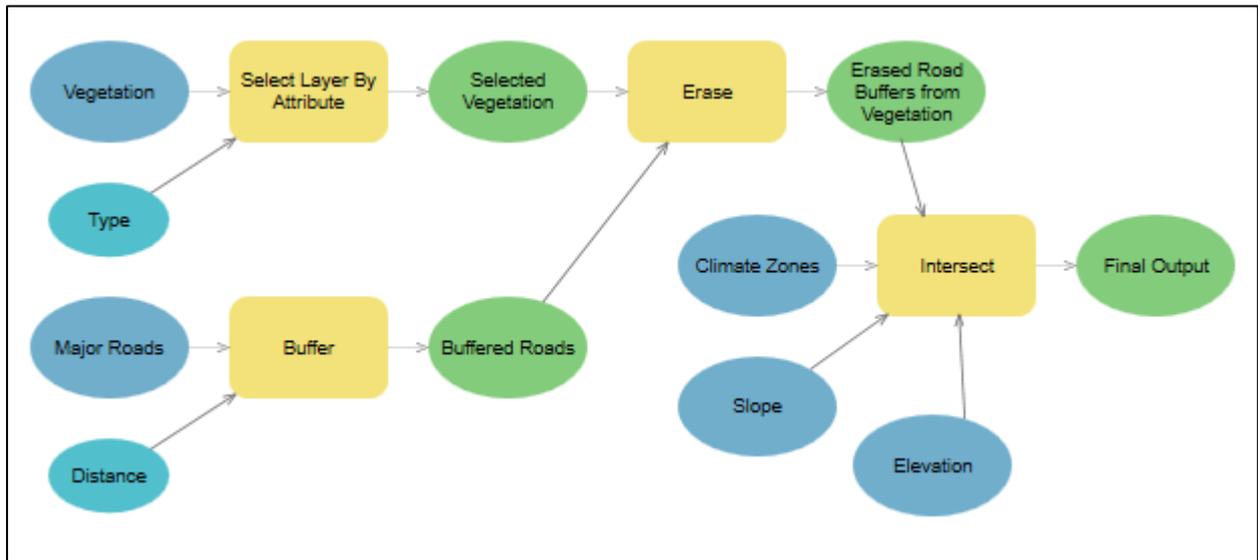


Figure 2.20: Exemple de modèle de géotraitement

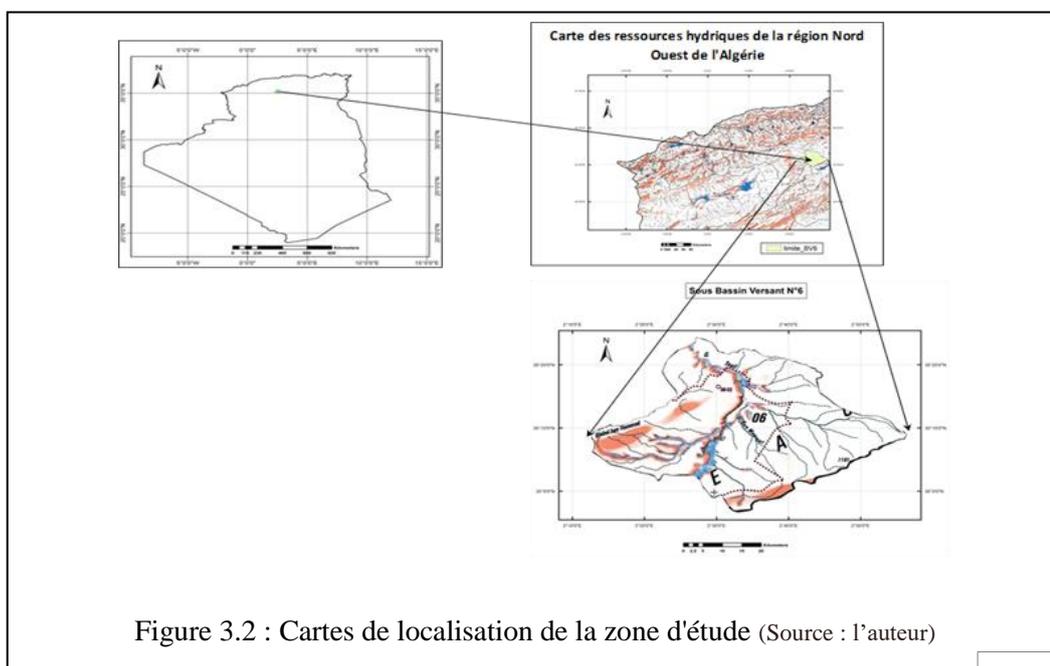
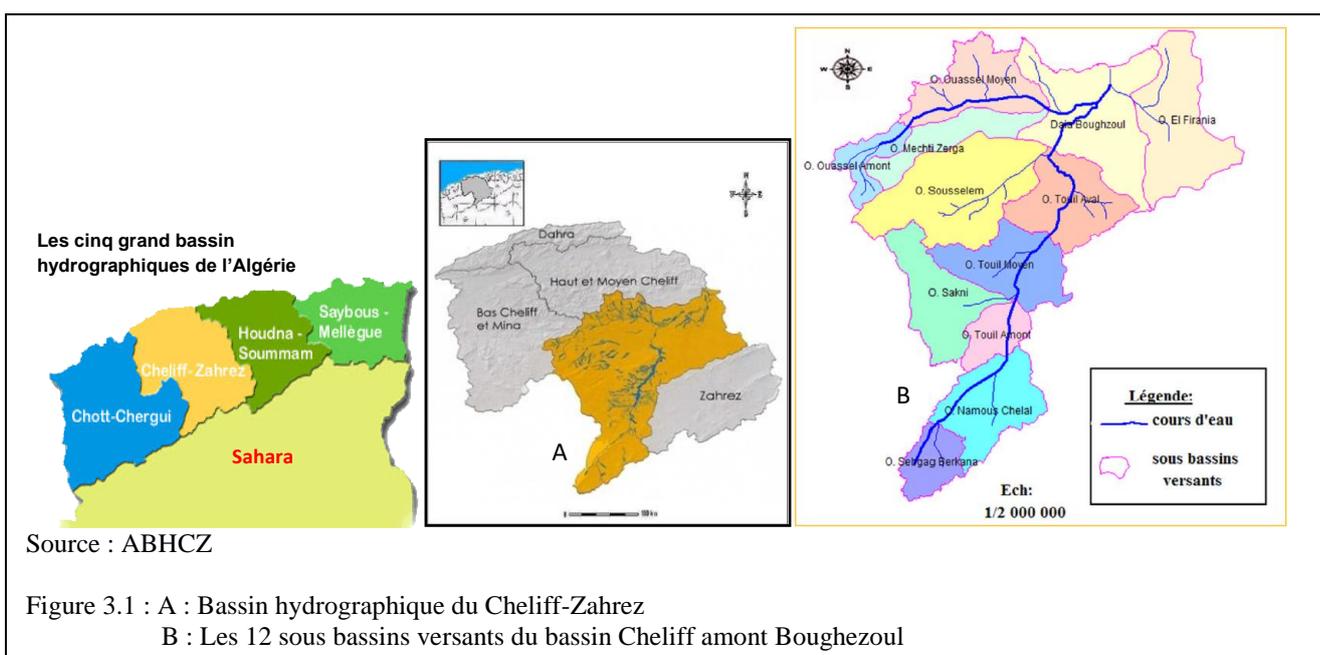
# Chapitre III

## Caractéristiques générales de la région d'étude

### 3.1 Localisation de la zone d'étude

Le sous bassin Oued-Touil-Aval fait partie des 12 sous bassin versants du bassin hydrographique Cheliff amont Boughezoul figure 3.1, lui-même appartient au grand bassin hydrographique Cheliff-Zahrez figure 3.1, cette région est située dans les Hautes Steppes algériennes, à 250 km de la capitale de l'Algérie (Alger). Elle est comprise entre la latitude 35°25' et 34°90' Nord et la longitude 2°60' et 2°10' Est, Figure 3.2. Cette région de l'Algérie du Centre s'étend sur une superficie de près de 1757 km<sup>2</sup>. Administrativement, cette région est située entre deux Wilayas Tiaret et Djelfa (figure 3.3). Les communes appartient au SBV sont :

Pour la Wilaya de Tiaret : Zmalet Emir Abdelkader, Serguine, une petite partie de Ksar-Chellala.  
 Pour la Wilaya de Djelfa : Sidi-Ladje, El-Khemis, Guernini, Zaafrane, Hassi-Bahbah et petit partie d'Ain-Oussera.



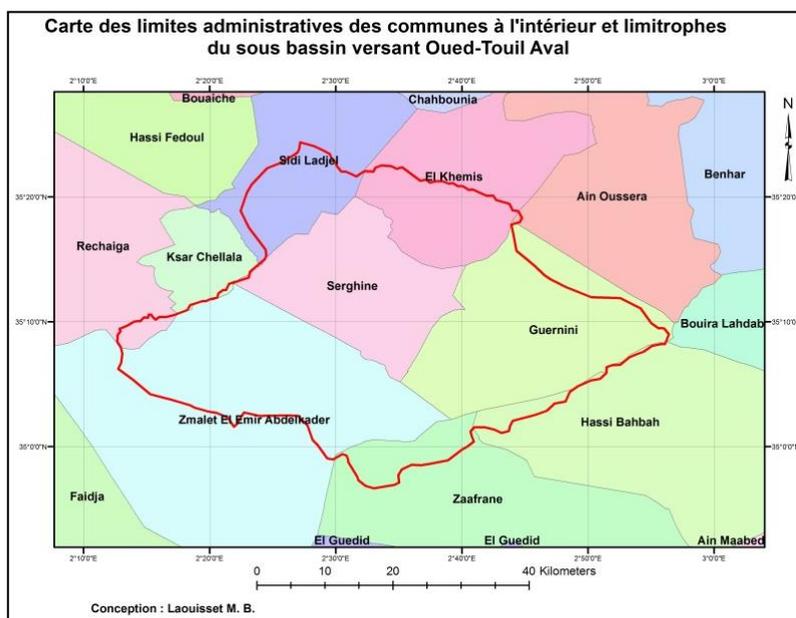


Figure 3.3: limites administratives des communes appartenant au sous bassin Oued-Touil-Aval

(Source: l'auteur)

### 3.2 Le climat

Le climat se définit comme étant l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. Les principales composantes du climat qui entrent dans le cadre de cette étude sont : les précipitations, la température, le vent, l'humidité relative de l'air, insolation, l'évapotranspiration potentiel ETP et les indices climatiques.

L'influence des paramètres climatiques sur la végétation n'est plus à démontrer, il faut souligner le cadre bioclimatique dans lequel se développe et évolue la végétation dans les régions steppiques. Cependant, dans le cadre de l'aridoculture, l'étude bioclimatique de ces régions nous permettre surtout de planifier et de réaliser des travaux de mise en valeur agricole et pastorale tel que le cas de cette étude. Dans ces régions, la contrainte environnementale majeure qui limite la production agricole est la sécheresse, les températures élevées accompagnées du sirocco et les basses températures qui occasionnent l'occurrence surtout des gelées tardives printanières, tous ces phénomènes causent des dégâts importants pour les plantes surtout les arbres fruitiers.

La zone d'étude est caractérisée sur le plan climatique à partir de séries de données météorologiques fournies par la station météorologique de Ksar-Chellala qui a pour coordonnées 35,17° N et 2.31° E, son altitude est de 800m. La période considérée est de 24 ans, comprise entre l'année 1990 et 2013.

### 3.2.1 La pluviométrie

La pluviométrie constitue un facteur d'une importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes. L'irrégularité des précipitations entraîne souvent des cycles de sécheresse plus ou moins long, ce qui entrave la production agricole. Cette sécheresse affecte tous les processus physiologiques de croissance et de développement des espèces animales et végétales (Halitim, 2008).

Les steppes algériennes sont marquées par une grande variabilité interannuelle des précipitations. En outre, les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante. La diminution des précipitations de l'Est à l'Ouest algérien est respectivement de l'ordre de 18 à 27% et la saison sèche a augmenté de 2 mois durant le siècle dernier. Les travaux de (Hirche et al, 2007) portant sur une analyse statistique de l'évolution de la pluviosité de plusieurs stations steppiques, montrent que les steppes algériennes se caractérisent par une aridité croissante, cette tendance est plus prononcée pour les steppes occidentales que les steppes orientales (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Deux facteurs caractérisent la pluie de ces régions :

- Répartition inégale au cours d'une même année (été sec et hiver pluvieux) et surtout répartition très irrégulière selon les années ; Les précipitations groupées sur un nombre limité de jours tombent souvent sous forme d'orage qui peuvent éclater en toute saison mais c'est durant la saison chaude qu'ils sont les plus fréquents.
- Agressivité des précipitations : L'agressivité des averses a des conséquences néfastes à double titre ; l'érosion des sols est accentuée et l'eau s'écoule trop rapidement en torrents ou épandages, les terrains ne peuvent s'imprégner d'humidité. Un gros volume d'eau est perdu dans la nature. Ces régions sont caractérisées parfois par les gelées tardives et les chutes de grêle qui sont néfastes pour les cultures.

Cependant, cette région est caractérisée par une faible pluviométrie présentant une grande variabilité interannuelle figure 3.4 et saisonnière figure 3.5. Le filtrage par l'opérateur moyen mobile à 5 points figure 3.4, permet de mieux mettre en évidence les excédents et les déficits pluviométriques, on constate que durant cette période la pluviométrie présente deux tendances, la première, une tendance à la baisse de 1990 à 2002, la deuxième, une tendance à la hausse de 2003 à 2013. Cette allure confirme cette variabilité interannuelle.

Les cumules annuelles de la pluie de cette région est en général faible. Suite aux données météorologiques représentées par la figure 3.4, elle varie de 114 mm (année 2002) à 371 mm (année 1999). Selon l'étude (voir annexe) faite par Laouisset et Dellal, 2016 « Estimation of Barley (*Hordeum Vulgare L.*) Crop Water Requirements Using Cropwat Software in Ksar-

Chellala Region, Algeria », le détail de cette étude se trouve dans la troisième partie, chapitre IX, et qui est axé sur la détermination des besoins en eau de différentes cultures fourragères dans la région d'Oued-Touil-aval / Ksar-Chellala, cette région reçoit en moyenne un cumul pluviométrique de 254 mm par an. Par exemple, pour mettre en évidence le déficit hydrique permanent dans cette région, nous avons comparé les besoins en eau de l'orge (variété *saïda*) qui sont estimés à 281.4 mm (cette culture est la moins exigeante en eau par rapport à d'autres cultures fourragères) et le cumul de la pluie efficace durant le cycle végétatif de l'orge pour une année sèche qui est de 69.5 mm, on remarque que ce dernier représente 25% de ces besoins en eau. Alors, pour une année humide l'apport des pluies est de 49%. En conséquence, pour obtenir une bonne production, il est impératif de faire recourir à l'irrigation d'appoint durant les quatre phases phénologiques de l'orge et ce pour combler ce déficit qui est de 75%. Pratiquement il faut pratiquer respectivement des doses d'irrigation nette de 5.6 ,27.7, 99.0, 79.2 mm pour les quatre phases phénologiques (stade initial, stade développent, la mi saison, stade maturation). Pour bien appliquer ces doses il faut utiliser une méthode de pilotage de l'irrigation en particulier la méthode du bilan hydrique.

### 3.2.2 Régime saisonnier

La connaissance des saisons les plus arrosées est très importante, selon (Aidoud, 1989), les pluies d'hiver contribuent à maintenir l'humidité du sol, alors que les pluies du printemps interviennent en phase de croissance, et même les précipitations d'automne ont un rôle important dans le cycle biologique annuel. Le régime saisonnier de la région d'Oued-Touil / Ksar-chellala est de type APHE (tableau 3.1) représenté par la figure 3.5.

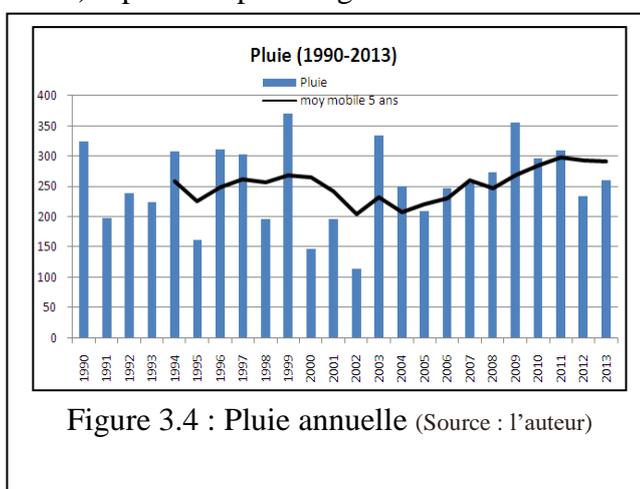


Figure 3.4 : Pluie annuelle (Source : l'auteur)

Tableau 3.1: Le régime saisonnier de la zone d'étude.			
Automne	Hiver	Printemps	Eté
99,9	44,0	67,4	30,0

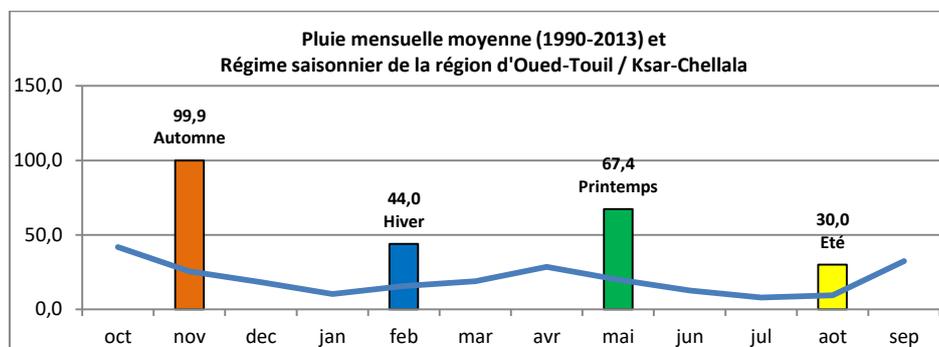


Figure 3.5 : Régime saisonnier de la région d'Oued-Touil / Ksar-chellala (Source : l'auteur)

### 3.2.3 La température

La température de l'air est l'élément climatique par lequel toutes les formes de vie sont les plus influencés. C'est l'élément météorologique le plus important. De sa distribution horizontale ou verticale dépendent les divers changements atmosphériques (Durand, Dimacopoulos, 1969).

La température est un facteur déterminant dans la pédogenèse et la distribution de la végétation dans le paysage. La caractérisation de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minima et maxima, la moyenne mensuelle, le minimum absolu, ainsi que l'amplitude thermique (Djebaili, 1984).

Pour l'étude des milieux naturels de point de vue végétation, il s'avère nécessaire de tenir compte de des deux moyennes, minimum et maximum. En effet, les paramètres thermiques en particulier le froid, jouent un rôle déterminant dans la vie végétale; la température intervient dans le déroulement de tous les processus biologiques selon des modalités diverses. Elle contrôle la croissance végétative des espèces, leurs reproductions, leurs survies et par conséquent leur répartition géographique générant les paysages les plus divers. Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat (Pouget, 1980).

Les régions steppiques connaissent un régime thermique contrasté, de type continental. L'amplitude thermique annuelle est supérieure à 20° C. Ce climat est installé suite à l'éloignement de ces régions de la mer et qui sont séparées de celle-ci par une barrière de montagnes (l'Atlas Tellien), Cependant, la valeur de cette amplitude dans la région d'Oued-Touil reste comprise entre 20 et 22° C. Le régime thermique de notre région est aussi fortement influencé par une altitude moyenne de 780 m.

En zone steppique, le réchauffement amorcé les deux dernières décennies a provoqué une élévation de la température moyenne annuelle de plus d'un degré Celsius (1°C), avec des extrêmes dépassés dans certaines régions. Cela a provoqué un déplacement de l'étage aride vers le Nord de plus de 100 km, (Seguin, 2002).

Les conséquences en sont des déplacements des zones agro-climatiques potentielles, de nombreuses espèces, un dépérissement des peuplements forestiers (cas du cèdre dans les Aurès), une perte de la biodiversité, une pédogenèse inhibée, une accentuation de la désertification. En présence d'un tel réchauffement climatique les besoins en froid ne sont pas satisfaits notamment pour les arbres à pépins. Les dates de floraison sont avancées d'une à deux semaines avec des risques de gelées, ce qui se traduit par une maturation plus précoce (Halitim, 2008).

Pour le traitement de la température, on a utilisé une série de 12 ans, tableau 3.2, malgré que le nombre d'année soient limitées, mais c'est la plus complète. Comme la température, statistiquement, est un paramètre continu et qui présente une certaine régularité (le coefficient de variation, tableau 3.2, des différentes températures est faible, à l'exception des températures minimales absolues, qui sont des températures exceptionnelles), en conséquence, on peut prendre en considération ces températures, qui sont illustré par la figure 3.7 et qui sont représentatives de la région d'étude, La température moyenne annuelle est de +17.6 °C avec un écart type de 0.3°C, ces valeurs confirment la régularité de ce paramètre.

### 3.2.3.1 Température moyenne mensuelle

Durant toute l'année la température moyenne mensuelle (figure 3.6) dans la région d'Oued-Touil ne dépasse pas les 30 °C, en hiver elle chute au-dessus de 10°C. Cette courbe c'est une caractéristique des régions steppiques.

### 3.2.3.2 Les températures minimales

Cette région, du fait de son altitude relativement élevée (780 m), connaît des températures hivernales plus basses. *La température moyenne des minima du mois le plus froid* « m » dans la plus grande partie de l'Algérie steppique est comprises entre les isothermes + 1°C et + 3°C (Le Houerou et al, 1975), alors pour cette région, cette température est de +2.8 °C (figure 3.6), donc elle est comprise dans cette fourchette. *La température moyenne des minimas annuelle* est de +11.3 °C avec un écart type de 0.3 °C (tableau 3.2). Ce qui nous intéresse c'est *les températures minimales absolues* qui occasionnent *les gelées*, surtout *les gelées tardives printanières* (selon le jargon local, lorsque la gelée se manifeste pendant le printemps, on parle de la nuit noire, qui cause des dégâts importants). La moyenne des *températures minimales absolues* sous abri est de -3.3°C, alors on a enregistré trois records de -5.4°C, -5.1 °C et -5.0 °C, où leurs dates d'occurrence est respectivement le 27 janvier 2005, le 05 février 2012 et le 30 Décembre 2010 (tableau 3.2). Cependant, on a dressé deux tableaux, le tableau 3.3 qui comptabilise le nombre de jours où la température sous abri est comprise entre 0°C et -6°C, donc sa concerne surtout l'élevage et le tableau 3.4 qui comptabilise *le nombre de jours de gelée* mais sa concerne la

période 1990-1999. Pour le mois de janvier, février mars et décembre la moyenne du nombre de jours moyen de gelée est respectivement de 9, 8, 4 et 7 jours. Les gelées du mois de mars, malgré leurs faibles fréquences absolues, sont les plus néfastes pour les arbres fruitiers, parce qu'ils coïncident généralement avec la phase critique (la floraison). D'après les statistiques des services agricoles, les années marquées par les gelées tardives, causent des dégâts de perte de production, de plus de 50 % pour les céréales et en particulier pour les arbres fruitiers. La moyenne annuelle du nombre de jours de gelée est de 30 jours. Alors on a enregistré 56 jours pour l'année 1998.

### 3.2.3.3 Les températures maximales

Cette région est caractérisée par des étés secs et chauds, la *moyenne des températures maximales* du mois le plus chaud est de 36.8 °C (figure 3.6), alors que celle des *températures maximales absolues* est de 42.6 °C, tableau 3.2. On a enregistré le 8 juillet 2008 et le 24 juillet 2009 un record de température de 43.9 °C dans cette période. Lorsque ces températures sont accompagnées des vents chargés de poussière qui soufflent surtout du sud-ouest, advection d'air très chaud (sirocco), les cultures sous irrigation deviennent à l'abri d'un phénomène qui dessèche rapidement ces cultures.

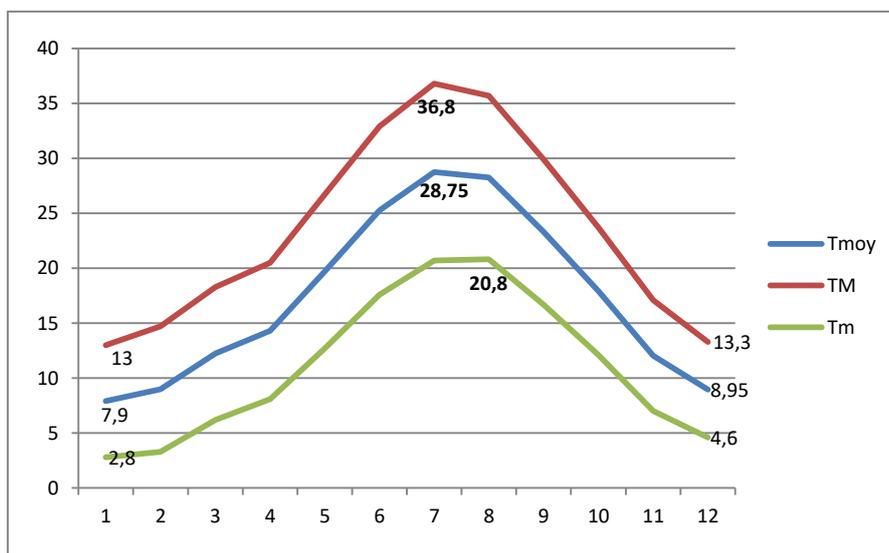


Figure 3.6 : Températures moyenne, maximale et minimale mensuelles (Source : l'auteur)

Tableau 3.2 : Climatologie annuelle de la température

Année	Temp Max Absolue	Date	Temp Max Moy	Temp Moy Annuelle	Temp Min Moy	Temp Min Absolue	Date
2002	43	22 juil.	24.2	17.9	11.5	-3.4	11 janv.
2003	43.1	22 juil.	22.9	17.4	12	-3.6	1 fev.
2004	40.2	19 jut.	23.8	17.4	11.1	-1.8	7 janv.
2005	43	17 juil.	24	17.5	11	-5.4	27-janv
2006	41.1	3 juil.	24.5	18.1	11.6	-3.4	16 janv.
2007	41.6	24-juin	23.6	17.4	11.2	-3.2	17 dec.
2008	43.9	8 juil.	23.5	17.5	11.5	-3.4	26 janv.
2009	43.9	24 juil.	24.5	17.9	11.4	-0.4	16 janv.
2010	42.1	22 juil.	23.9	17.8	11.6	-5	30 dec.
2011	42.9	21 juil.	24	17.7	11.3	-3.2	22 janv.
2012	44	7 juil.	24.4	17.7	11.2	-5.1	5 fev.
2013	42.9	27 juil.	23.6	17.2	10.7	-2.2	27 fev.
Moyenne	42.6		23.9	17.6	11.3	-3.3	
Ecart-type Coéf	1.1		0.4	0.3	0.3	-1.4	
Variation	2.6%		1.7%	1.7%	2.7%	42%	(Source : l'auteur)



Figure 3.7 : Climatologie des différentes températures (Source : l'auteur)

Tableau 3.3 : Nombre de jours où la température sous abri est inférieure à 0°C et à -6°C

année	Temp ≤ 0					Total année	Temp ≤ - 6
	Jan	Fev	Mars	Nov	Déc		
2002	7	2				9	
2003		2			3	5	
2004		1	2		4	7	
2005	19	9	3		6	37	27 janvier
2006	10	4				14	
2007	1			1	4	6	
2008	6	4	1		1	12	
2009	2				1	3	
2010	2	2	1		9	14	
2011	2	7	3		1	13	
2012	9	14	3		1	27	05 février
2013		6	1	1	8	16	
Moy	6	5	2	1	4	14	(Source : l'auteur)

Tableau 3.4: Nombre de jours de gelés

année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct.	Nov	Déc	Total
1990	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	12
1991	4	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	22
1992	17	17	3	0	0	0	0	0	0	0	0	8	44
1993	24	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	4	42
1994	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	12
1995	4	3	3	2	0	0	0	0	0	0	5	5	22
1996	2	6	4	1	0	0	0	0	0	0	3	9	25
1997	3	9	8	0	0	0	0	0	0	0	2	12	34
1998	13	15	6	0	0	0	0	0	0	0	5	17	56
1999	9	9	2	0	0	0	0	0	0	0	5	3	28
Moyenne	8,5	7,9	3,5	0,3	0	0	0	0	0	0	2,2	7,4	29,7

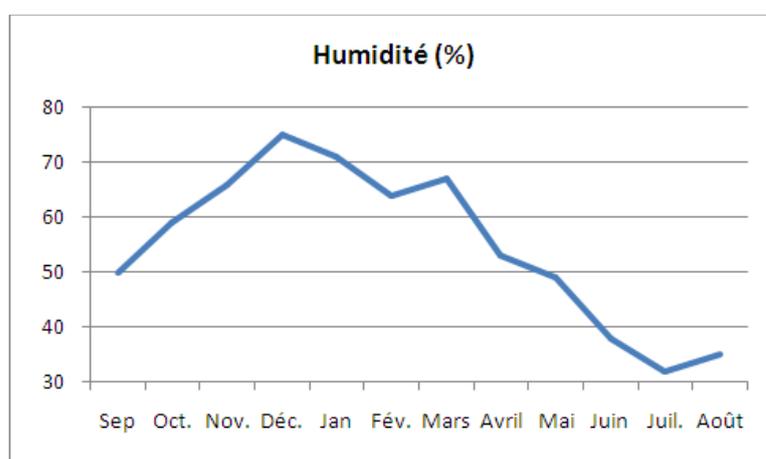
(Source : l'auteur)

### 3.2.4 Humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air (HR), ou degré hygrométrique, correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température, elle est mesurée en pourcentage (%). Selon le taux d'humidité de l'air, elle influe positivement ou négativement sur l'évaporation du sol ainsi que la transpiration des végétaux. Elle rentre dans le calcul de l'évapotranspiration. La période d'observation considéré est de 15 ans (1990 à 2005). Le tableau 3.5 représenté par la figure 3.8 montre la

variation de l'Humidité moyenne journalière relative pour chaque mois. On constat que les valeurs de l'humidité relative sont supérieures à 50%, du mois de septembre jusqu'au mois d'avril. En période hivernale, elle atteint une moyenne journalière de 75% en mois de décembre. En période estivale, elle chute jusqu'à 32 % pendant le mois de Juillet. En conséquence, l'évapotranspiration prend des valeurs extrêmes, voir tableau 3.5.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui.	Aoû
HR	50	59	66	75	71	64	67	53	49	38	32	35



Source : l'auteur

Figure 3.8 : variation de la moyenne journalière de l'Humidité Relative pour chaque mois

### 3.2.5 L'insolation et rayonnement solaire globale

L'insolation ou bien la durée d'ensoleillement est à laquelle le soleil brille sur le sol.

La détermination de l'évapotranspiration potentielle de référence «ETP<sub>0</sub>» est fonction du rayonnement solaire global «RG». Alors que la plus part des stations météorologiques ne mesurent pas ce rayonnement, néanmoins, ces stations mesurent la durée d'ensoleillement. Donc, il existe plusieurs relations qui estiment ce rayonnement. La relation la plus communément utilisée reste celle du type «formule d'-Angstrom». Elle se présente sous la forme suivante :

$$RG/RG_0 = a + b S/S_0$$

Dans laquelle RG et S désignent respectivement le rayonnement global et la durée d'insolation. RG<sub>0</sub> désigne le rayonnement global maximum théorique (appelé aussi rayonnement global extraterrestre, aux confins de l'atmosphère). S<sub>0</sub> est la durée d'ensoleillement théorique.

La période d'observation considéré est de 15 ans (1990 à 2005) tableau 3.6.

Tableau 3.6 : Moyenne journalière de la Durée d'ensoleillement et du Rayonnement globale

Mois	Durée d'ensoleillement moyenne (Heure)	Rayonnement Globale moyen (MJ/m <sup>2</sup> /J)
Jan	6	10.1
Fév	7	13.3
Mar	8.2	17.7
Avril	9.1	21.6
Mai	9.9	24.3
Jun	9.9	24.7
Jul	10.8	25.7
Aout	10.7	24.3
Sep	9.7	20.4
Oct	8.9	16.2
Nov	8.2	12.6
Dec	6.5	9.8
Moy	8.7	18.4

(Source : l'auteur)

### 3.2.6 Les vents

Le nord du Maghreb, point de vue météorologique, est situé entre les zones de subsidence au niveau du Sahara et les dépressions qui viennent du nord-ouest de l'Europe. Il est soumis à des vents fréquents et parfois violents. Les vents sont dus à des différences de température engendrant des dépressions différentes. Il s'écoule des hautes vers les basses pressions. Le vent accentue les effets des éléments du climat (température, humidité et précipitations). Il est fortement influencé par les conditions topographiques locales. Le Houèrou, 1979, a mis en évidence l'existence d'un écart de 20 % pour les valeurs des précipitations pour les versants exposés ou abrités par rapport aux vents pluviaux. Le vent peut être également responsable, du façonnement du relief, de l'évapotranspiration et de la formation de la végétation. Il est également connu pour son effet de dessiccation des graines. En effet, le vent est l'aspect climatique le plus important dans l'étude d'une région aride il est malheureusement n'est pas pris en détail dans les études relatives à ces régions. D'après (Demangeot, 1981) : le vent est non seulement, un agent érosif spécifique au façonnement des paysages désertiques, mais aussi responsable de l'ensablement et de leur origine. Le vent est donc capable d'éroder des roches tendres et cela par le frottement exercé par les grains de sable transportés. Les vents jouent un rôle d'inséminateur naturel durant la saison de printemps (Avril, Mai, Juin) pour la végétation naturelle en place.

Cependant, dans le cadre d'utiliser le vent pour des fins énergétiques, on a consacré le chapitre IV (Possibilités d'exploitation des énergies renouvelables dans les steppes algériennes le cas du sous bassin versant Oued-Touil-Aval) pour l'étude détaillée du vent ainsi que la détermination du potentiel énergétique du vent dans cette région.

### **3.2.7 L'évapotranspiration**

L'évapotranspiration (ETP) où la demande climatique est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes. La transpiration se définit par les transferts d'eau dans la plante et les pertes de vapeur d'eau au niveau des stomates de ses feuilles. Le concept d'évapotranspiration et ses mesures sont apparus dans les années 1950. Ce concept est très important pour expliquer et quantifier les transferts d'eau dans les écosystèmes, pour calculer les besoins en eau des cultures agricoles et plus globalement pour la gestion de l'eau des espaces naturels. L'ETP est considérée comme une donnée climatique, ne dépend que des conditions atmosphériques, de l'énergie disponible à la surface évaporante et la résistance aérodynamique de couvert végétal. Ils existent des méthodes expérimentales pour la mesure directe de l'ETP, basées sur le bilan hydrique, le bilan d'énergie et la méthode lysimétrique. Devant la difficulté de la mise en place de ces dispositifs, différentes formules avec des degrés d'empirisme variables ont été développées depuis ces 50 dernières années pour estimer indirectement cette grandeur à partir de données climatiques. Parmi ces formules on peut citer la formule de (Penman-Monteith, 1994, citée dans Allen, 1994) qui est recommandée par la FAO.

La formule de Penman-Monteith se distingue parmi les différentes formules par son origine théorique dérivée du bilan de flux énergétique à la surface de couvert végétal, dans un souci de normalisation, la FAO, à travers son groupe d'experts opérants dans différents contextes climatiques, a adapté la formule de Penman-Monteith aux conditions d'un couvert de gazon et propose la formule dérivée comme la nouvelle définition de l'évapotranspiration de référence.

Allen et al (1994) cité, dans l'ouvrage «Traité d'irrigation, 1998», ont défini l'évapotranspiration potentiel  $ET_0$  comme «l'évapotranspiration d'un couvert végétal "hypothétique" de référence ayant une hauteur de 12 cm, une résistance du couvert de 70 s/m et un albédo de 0.23. Un couvert de gazon se développe activement sur une grande étendue régulièrement tendu, bien alimenté en eau et indemne de maladies». Sur la base des résultats de plusieurs études, notamment celles de (Jensen et al, 1990), la consultation d'experts menée par la FAO sur la méthodologie d'estimation des besoins en eau des cultures a conduit à recommander la méthode de Penman-Monteith comme méthode privilégiée d'estimation de  $ET_0$  du gazon, et donc pour servir de base à la détermination des coefficients culturaux.

### 3.2.7.1 Bilan d'énergie

En partant des échanges d'énergie sur la surface d'une végétation, on peut estimer l'évapotranspiration par échange d'énergie sur le couvert végétal et limitée par la quantité d'énergie disponible. En raison de cette limitation, il est possible de prévoir le taux d'évapotranspiration en appliquant le principe de la conservation d'énergie. Ainsi l'énergie arrivant à la surface doit être égale à l'énergie partant de la surface pour la même période de temps. Le bilan énergétique pour une surface d'évaporation se présente comme suit :

$$R_n = G + \lambda \cdot ET + H \quad (3.1)$$

Où :  $R_n$  est le rayonnement net,  $H$ , la chaleur sensible,  $G$ , le flux de chaleur dans le sol,  $\lambda \cdot ET$ , la chaleur latente.

Les divers termes au niveau de (3.1) peuvent être positifs ou négatifs ; si  $R_n$  est positif,  $G$  est positif ;  $\lambda \cdot ET$  et  $H$  enlèvent l'énergie de la surface. L'équation (5.1) peut être appliquée à une grande étendue surface de végétation homogène. La chaleur latente  $\lambda \cdot ET$  représente l'évapotranspiration et peut être déduit de l'équation bilan énergétique si tous les composants sont connus. Le rayonnement net ( $R_n$ ) et le flux de chaleur dans le sol ( $G$ ) peuvent être mesurés ou estimés à partir des paramètres climatiques ; les mesures de la chaleur sensible ( $H$ ) sont complexes et ne peuvent pas être facilement obtenues. La chaleur exige la mesure précise des gradients de température au-dessus de la surface. Pour estimer  $H$  on utilise la méthode de transfert de masse qui se caractérise par le mouvement vertical de l'air au-dessus d'une grande surface homogène. Ces mouvements d'air transportent de la vapeur d'eau et de l'énergie vers la surface d'évaporation. Le taux d'évapotranspiration peut être calculé à partir des gradients verticaux de la température de l'air et de la vapeur d'eau d'une part ou d'autre part des gradients de vitesse du vent et de la vapeur d'eau. (Allen et al, 1998).

### 3.2.7.2 Formule générale de Penman-Monteith

La formule de Penman-Monteith est une combinaison du bilan énergétique et de la méthode de transfert de masse. Parmi les différentes méthodes de calcul des ETP, elle est recommandée par la FAO (Allen et al, 1998). Cette formule brute se présente comme suit :

$$\lambda ET = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_w - e)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (3.2)$$

$R_n$  : rayonnement net

$G$  : flux de chaleur du sol

$\rho_a$  : densité moyenne de l'air

$c_p$  : chaleur spécifique d'air

$\lambda$  : chaleur latente de changement d'état (2450 kJ.kg<sup>-1</sup>)  
 $e$  : tension de vapeur à la température  $t$   
 $e_w$  : tension de vapeur saturante à la température  $t$   
 $\Delta$  : la pente de la courbe de tension de vapeur saturante  
 $r_a$  : la résistance aérodynamique  
 $r_s$  : la résistance du couvert végétal  
 $\gamma$  : la constante psychrométrique

La résistance aérodynamique a pour formule :

$$r_a = \frac{\ln\left[\frac{z_m - d}{z_{om}}\right] \cdot \ln\left[\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right]}{k^2 u_z} \quad (3.3)$$

$z_m$  : la hauteur de la mesure du vent (m)  
 $z_h$  : la hauteur la mesure de l'humidité (m)  
 $d$  : hauteur initiale de déplacement (m)  
 $z_{om}$  : hauteur initiale de transfert du vent (m)  
 $z_{oh}$  : hauteur initiale de transfert de la chaleur et de la vapeur (m)  
 $k = 0,41$  : constante de VonKarman  
 $u_z$  : la vitesse du vent à l'altitude  $z$  (m/s)

En considérant le vent, l'humidité et la vitesse du vent mesurés à 2m par rapport au sol et une végétation de 0,12 m de hauteur (Allen et al. 1998), l'expression de (3.3) se simplifie :

$$r_a = \frac{208}{v} \quad (3.4)$$

$v$  : la vitesse du vent mesurée à 2m ( $m.s^{-1}$ )

La résistance du couvert végétal a pour formule :

$$r_s = \frac{r_l}{LAI_{active}} \quad (3.5)$$

$r_s$ : la résistance du couvert végétal ( $s.m^{-1}$ )  
 $r_l$ : la résistance stomacale de la feuille bien illuminée ( $s.m^{-1}$ )  
 $LAI_{active}$  : indice foliaire de la feuille.

Pour un gazon bien irrigué de hauteur 12 cm, on aboutit à :

$r_s \approx 70 s.m^{-1}$  le jour et  $700 s.m^{-1}$  la nuit lorsque la radiation solaire incidente est inférieure à  $10W.m^{-2}$ .

### 3.2.7.3 Formule horaire de Penman-Monteith

Pour une échelle de temps horaire, et un gazon bien irrigué, l'équation de Penman-Monteith donne une Evapotranspiration de référence ( $ET_0$ ) :

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) \cdot d + \gamma \frac{37}{t + 273} v (e_w - e)}{\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{208} v \right)} \quad (3.6)$$

$ET_0$  : évapotranspiration de référence (mm/h),

$R_n$  : rayonnement net ( $W \cdot m^{-2}$ ),

$G$  : flux de chaleur du sol ( $W \cdot m^{-2}$ ),

$d$  : longueur du pas de temps en k secondes ( $d = 3.6 \cdot 10^{-3} ks$ )

$t$  : température moyenne horaire de l'air ( $^{\circ}C$ ),

$\Delta$  : pente de la courbe de la tension de vapeur saturante ( $kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}$ ),

$\gamma$  : Constante psychrométrique ( $kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}$ ),

$e$  : tension de vapeur à la température  $t$  (kPa),

$e_w$  : tension de vapeur saturante (kPa),

$v$  : vitesse moyenne du vent à 2 m ( $m \cdot s^{-1}$ ).

#### Les hypothèses:

- La végétation est un gazon bien irrigué et couvrant à une hauteur de 0,12m, de résistance extérieure de  $70 s \cdot m^{-1}$  et un albédo de 0,23.
- Le flux de la chaleur dans le sol  $G$  n'est pas négligeable pour des calculs horaires de l'ETP.
- Les données météorologiques exigées sont : la température horaire moyenne de l'air, l'humidité relative horaire moyenne, vitesse horaire moyenne mesurée à 2m, le rayonnement net horaire. (Allen et al, 1998)

Les paramètres intervenant dans le calcul de l'ETP de Penman-Monteith proviennent :

- a) de mesures directes sur le terrain pour  $t$ ,  $R_n$  et  $v$  ;
- b) d'estimations de  $e_w$ ,  $e$  et  $G$  en utilisant les formules :

$$e_w(t) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot t}{t + 237,3}\right) \quad (3.7)$$

$$e = \frac{H_r \times e_w(t)}{100} \quad (3.8)$$

Avec  $e_w$  et  $e$  en kPa, ( $H_r$ ) humidité relative moyenne horaire en (%) et ( $t$ ) température moyenne horaire en ( $^{\circ}C$ ).

Le flux de chaleur horaire dans le sol ( $G$ ) est fonction du rayonnement net ( $R_n$ ) :

$$G = 0,1 \cdot R_n \text{ durant la journée (Rad} > 0) \quad G = 0,5 \cdot R_n \text{ durant la nuit (Rad} = 0)$$

- c) de constantes physiques :  $\gamma$ ,  $\Delta$  :

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot P \quad (\gamma \text{ en } kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}) \quad (3.9)$$

NB: La pression est enregistrée sur les sites ou peut être calculée par la formule :

$$P = 101,3 \cdot \left( \frac{293 - 0,0065 \cdot z}{293} \right)^{5,26} \quad (3.10)$$

( $P$  en kPa,  $z$  l'altitude en m)

$$\Delta = \frac{4098 \cdot \left[ 0,6108 \cdot \exp\left( \frac{17,27 \cdot t}{t + 237,3} \right) \right]}{(t + 237,3)^2} \quad (5.11)$$

( $\Delta$  en kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,  $t$  en  $^{\circ}\text{C}$ )

### 3.2.7.4 Formule de Penman-Monteith pour le calcul de l'ETP journalier.

Lorsqu'on ne dispose que de données journalières on peut calculer l'évapotranspiration de référence à l'aide de la formule suivante, dérivée l'équation de Penman-Monteith (3.2). Cette équation est celle de la FAO (1998).

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot R_n \cdot d + \gamma \frac{900}{t + 273} v (e_w - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34v)} \quad (3.12)$$

$ET_0$  : Evapotranspiration potentielle (mm.j $^{-1}$ ),

$R_n$  : rayonnement net (W.m $^{-2}$ ),

$d$  : longueur du pas de temps en k secondes ( $d=0.0864$  ks)

$t_{moy}$  : température moyenne quotidienne de l'air à 2m ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$\Delta$  : pente de la courbe de la tension de vapeur saturante (kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),

$\Gamma$  : Constante psychrométrique (kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),

$E$  : tension de vapeur (kPa),

$e_w$  : tension de vapeur saturante (kPa),

$v$  : vitesse du vent à 2m (m.s $^{-1}$ ).

#### Les hypothèses:

- La végétation est un gazon bien irrigué et couvrant à une hauteur de 0,12m, de résistance extérieure de 70 s.m $^{-1}$  et un albédo de 0,23.
- Le flux de la chaleur quotidien dans le sol est considéré comme négligeable devant le rayonnement net à ce pas de temps ( $G \approx 0$ )
- Les paramètres climatiques exigés : les températures journalières moyenne, maximale et minimale ; la vitesse journalière moyenne de l'air à 2m ; le rayonnement net total journalier. (Allen et al, 1998)

Les paramètres intervenant dans le calcul de l'ETP journalier de Penman-Monteith proviennent :

- a) de mesures directes sur le terrain pour  $t_{moy}$ ,  $R_n$  et  $v$  ;
- b) de mesures indirectes pour  $e_w$  et  $e$  :

L'utilisation de température moyenne sous-estime  $e_w$ , on lui préfère l'expression suivante :

$$e_w = \frac{e_w(t_{\max}) + e_w(t_{\min})}{2} \quad (3.13)$$

$e_w$  : tension de vapeur saturante de la journée (kPa)  
 $t_{\max}$  : température maximale au cours de la journée (°C)  
 $t_{\min}$  : température minimale au cours de la journée (°C)

$$e = \frac{e_w(t_{\min}) \cdot \frac{Hr_{\max}}{100} + e_w(t_{\max}) \cdot \frac{Hr_{\min}}{100}}{2} \quad (3.14)$$

$e$  : tension de vapeur réelle de la journée (kPa)  
 $e_w(t_{\max})$  : tension de vapeur saturante à la température journalière maximale (kPa)  
 $e_w(t_{\min})$  : tension de vapeur saturante à la température journalière minimale (kPa)  
 $Hr_{\max}$  : humidité relative maximale (%)  
 $Hr_{\min}$  : humidité relative minimale (%)

c) de constantes physiques :  $\gamma, \Delta$

Les formulations sont identiques au pas de temps horaire. On utilise  $t_{moy}$  température moyenne journalière (°C) pour le calcul de  $\Delta$ .

### 3.2.7.5 Formule mensuelle.

Au pas de temps mensuel, on utilise les formules (3.11), (3.12) et (3.14) avec les variables suivantes :

$d$  : longueur du pas de temps en k secondes ( $d=0.0864 \cdot nb \text{ jours ks}$ )

$t_{\max}, t_{\min}$  : moyenne mensuelle des températures maximum (minimum) journalières

$$t_{moy} = \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} \quad (3.15)$$

$Hr_{\max}, Hr_{\min}$  : moyenne mensuelle des Humidités relatives maximum et minimum journalières

Le flux de chaleur mensuel dans le sol ( $G$ ) n'est pas nul. On peut l'approcher par :

$$G_i = 0,07 \cdot (t_{i+1} - t_{i-1}) \quad (3.16)$$

Ou bien lorsqu'on ne dispose pas de  $(t_{i+1})$ , on utilise l'expression :

$$G_i = 0,14 \cdot (t_i - t_{i-1}) \quad (3.17)$$

$t_i$  : température moyenne mensuelle de l'air du mois  $i$  (°C)  
 $t_{i-1}$  : température moyenne mensuelle de l'air du mois précédent (°C)  
 $t_{i+1}$  : température moyenne mensuelle de l'air du mois prochain (°C).

Pour le calcul de l'évapotranspiration de la région d'Oued-Touil-Avale, on a utilisé les données de la station météorologique de Ksar-Chellala, les paramètres qu'on a utilisés sont:

- La vitesse du vent à 10 mètres, en m/s,
- La température en °C,
- Les durées d'insolation en minutes,

- Le rayonnement global en J/cm<sup>2</sup>,
- L'humidité relative en %.

Le tableau 3.7 suivant donne les valeurs de l'évapotranspiration potentielle ET<sub>0</sub> de la région de Ksar-Chellala (Laouisset et Dellal, 2016).

Tableau 3.7 : Calcul de l'évapotranspiration potentiel ET<sub>0</sub>(Source : l'auteur)

Station : Ksar-Chellala							
Altitude::800metre							
Latitude: 35 17° N							
Longitude: 02 31° E							
Mois	T Min (°C)	T Max (°C)	Humidité (%)	Vent à 2m (Km/jour)	Durée d'insolation (Heures)	Rayonnement global (MJ/m <sup>2</sup> /jour)	ET <sub>0</sub> (mm/jour)
Jan	2.8	13	70	163.9	6	10.1	<b>1.42</b>
Fév	3.5	14.3	64	184.5	7	13.3	<b>2.01</b>
Mar	6.3	18.3	60	222.2	8.2	17.7	<b>3.14</b>
Avr	8.6	21.1	51	216.7	9.1	21.6	<b>4.26</b>
Mai	12.9	26.8	45	187.1	9.9	24.3	<b>5.38</b>
Juin	18	33.4	34	180.1	9.9	24.7	<b>6.61</b>
Juil	21.1	37.5	28	159.3	10.8	25.7	<b>7.16</b>
Août	21	36.3	32	207.9	10.7	24.3	<b>7.41</b>
Sept	16.7	30	47	141.1	9.7	20.4	<b>4.86</b>
Oct	12.5	24.3	56	139.5	8.9	16.2	<b>3.31</b>
Nov	6.8	16.4	62	179.7	8.2	12.6	<b>2.12</b>
Déc	4.4	13.2	74	176.3	6.5	9.8	<b>1.32</b>
Moy	11.2	23.7	52	179.9	8.7	18.4	<b>4.08</b>

### 3.2.8 Le bioclimat

#### 3.2.8.1 Les indices climatiques

Les climatologues et les biogéographes se sont efforcés de combiner en des formules simples les principaux éléments du climat. Ceux qui apparaissent déterminants pour la répartition des formations végétales. A partir de ces indices et diagrammes climatiques les différents climats du monde et leur classification ont été établis. Ainsi que leur représentation cartographique à l'échelle d'un pays. D'un continent ou du globe (Letreuch-Belrouci, 1991). Pour caractériser le climat régional de notre région d'étude, on s'est limité à trois indices importants, l'indice embrothermique, le deuxième c'est le Quotient pluviométrique d'Emberger, le troisième c'est l'indice d'aridité adopté par le programme des nations unies pour l'Environnement PNUE et l'étude faite par Le Houerou, 1977.

### 3.2.8.2 Diagramme Ombrothèrmique

(Bagnouls et Gaussen, 1953), définissent la saison sèche comme étant l'ensemble des mois où totale mensuelle des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle ( $P=2T$ ). La saison sèche de Ksar-Chellala se manifeste vers la fin du mois de mai et s'étale jusqu'au mois de Novembre (Figure 3.9).

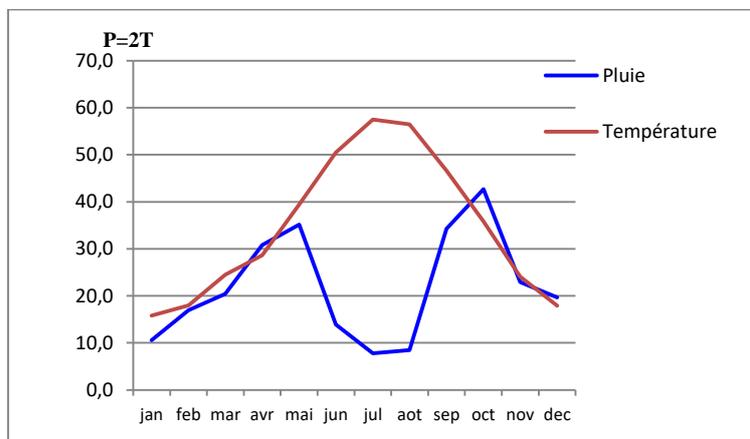


Figure 3.9 : Courbe ombrothermique de la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala (1990-2013).

(Source : l'Auteur)

### 3.2.8.3 Indice d'aridité

Plus récemment, le PNUE en 1992 a adopté un indice d'aridité, défini comme suit:

$$AI = P / ETP_0 \quad (3.18)$$

Où  $ETP_0$  est l'évapotranspiration potentielle et  $P$  est la moyenne annuelle des précipitations, ces deux paramètres doivent être exprimés dans la même unité, par exemple, en millimètres.

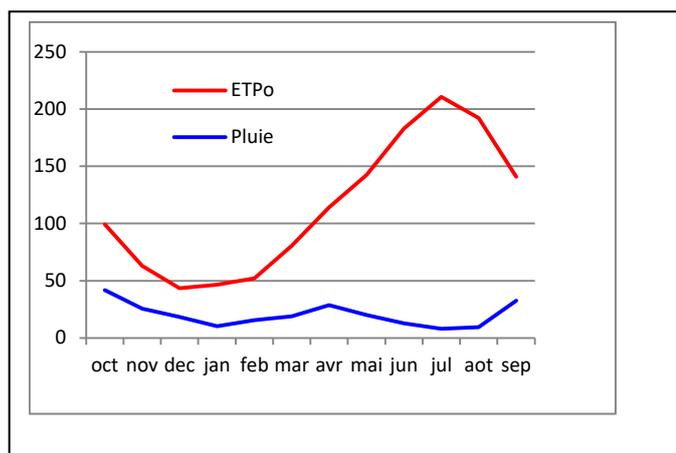
Dans ce dernier cas, les limites qui définissent les divers degrés de l'aridité et de la durée approximative de domaines concernés sont les suivants:

Classification	Indice d'aridité
Hyperaride	$AI < 0.05$
Aride	$0.05 < IA < 0.20$
Semi-arides	$0.20 < IA < 0.50$
Subhumides sèches	$0.50 < IA < 0.65$

Ainsi pour la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala l'indice d'aridité égale à :  $AI = 254 / 1369 = 0.19$

En conséquence et suite à ce résultat on peut classer le climat de cette région à l'étage aride.

La figure 3.10 montre que durant toute l'année les valeurs de l'ETP<sub>0</sub> sont supérieures à celles de la pluie. Donc il faut faire recours à l'irrigation pour la plus part des cultures.



(Source : l'Auteur)

Figure 3.10 : moyenne mensuelle de l'ETP<sub>0</sub> et de la pluie de la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala

#### 3.2.8.4 Quotient pluviométrique d'EMBERGER

En effet, après avoir constaté que le climat méditerranéen est caractérisé par des saisons thermiques nettement tranchées et a pluviosité concentrée sur les saisons froides de l'année et que la saison chaude est sèche, Emberger en 1942, signalait que le climat comprend de nombreuses variantes. Parmi ces dernières trois importantes sont à prendre en considération à savoir : la température, la pluviosité et l'évapotranspiration. Leur interférence a conduit les biogéographes à proposer divers indices pluviométriques ayant pour objet de mesure la plus ou moins grande humidité ou aridité climatique.

A cet effet, Emberger a mis au point une formule du type P/T et qu'il appelle quotient pluviométrique.

Ce quotient est défini par la formule :

$$Q2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2} \quad (3.19)$$

avec :

- $Q$  : quotient pluviométrique d'Emberger
- $M$  : moyenne des maxima (températures maximales journalières) du mois le plus chaud, en kelvins
- $m$  : moyenne des minima (températures minimales journalières) du mois le plus froid, en kelvins
- $P$  : cumul pluviométrique annuel, en millimètres

La formule est parfois adaptée sous la forme suivante (formule de Stewart) avec  $M$  et  $m$  en degré Celsius :

$$Q2 = \frac{3.43P}{M-m} \quad (3.20)$$

La donnée  $P$  est à compléter éventuellement par la somme des pluies d'été et le nombre des jours de pluies par an. Sur ces bases, Emberger a défini des étages climatiques méditerranéens aujourd'hui devenus classiques, bien mis en évidence sur un climatogramme figure 3.11. En portant, Dans un système d'axes orthogonaux les valeurs de  $m$  en abscisse et celle de  $Q2$  en ordonnée. L'auteur trace des courbes d'isoxéricité qui permettent de mettre en exergue les étages climatiques : Humide, Sub-humide, Semi-Aride Aride et désertique ou saharienne, avec 4 variantes thermiques :

- A hiver froid  $m < 0^{\circ}\text{c}$ .
- A hiver frais  $0 < m < 3^{\circ}\text{c}$ .
- A hiver doux ou tempéré  $3 < m < 5^{\circ}\text{c}$ .
- A hiver chaud  $m < 7^{\circ}\text{c}$

Ces divers étages peuvent être caractérisés de la manière suivante (Tableau 3.9). Les valeurs extrêmes de  $Q$  n'apparaissent pas très nettes sur le tableau ci-dessus et des chevauchements de valeurs existent entre les divers étages. Cela résulte du fait que les étages sont déterminés à la fois par certaines valeurs de  $Q$  et de  $m$  qui se combinent. Cependant, une même valeur de  $Q$  associée a un «  $m$  » de faible valeur où a un «  $m$  » de valeur élevée, Peut correspondre à deux étages différents. Ainsi, à titre d'exemple, Un  $Q$  de **70** correspond au sub-humide tant que la valeur de  $m$  est inférieure à **+3 C°**, par contre correspondra au semi-aride lorsque  $m$  est supérieure à **+ 3 C°**.

Tableau 3.9 : Les étages bioclimatiques			
Etage bioclimatique	Valeurs extrêmes De Q	Pluviosité Annuelle en mm	Durée de la saison sèche
Etage humide	95 à 145	900 -300	< 3 mois
Etage sub-humide	55 à 145	600-900	3-4 mois
Etage semi-aride	25 à 95	300-600	4 mois environ
Etage aride	14 à 40	100-300	5 mois
Etage saharien	20	100 irrégulière	Indéterminée parfois > à 8 mois

Pour la série de donnée utilisée dans cette étude, la pluie moyenne est de :

$P=254$  mm,  $M = 36.8$  ;  $m= 2.8$ , ce qui donne pour :  $Q2 = 25.6$ .

On peut confirmer que le climat de la région d'Oued-Touil/Ksar-Chellala appartient au climat méditerranéen, nuance aride moyen, à hiver frais.

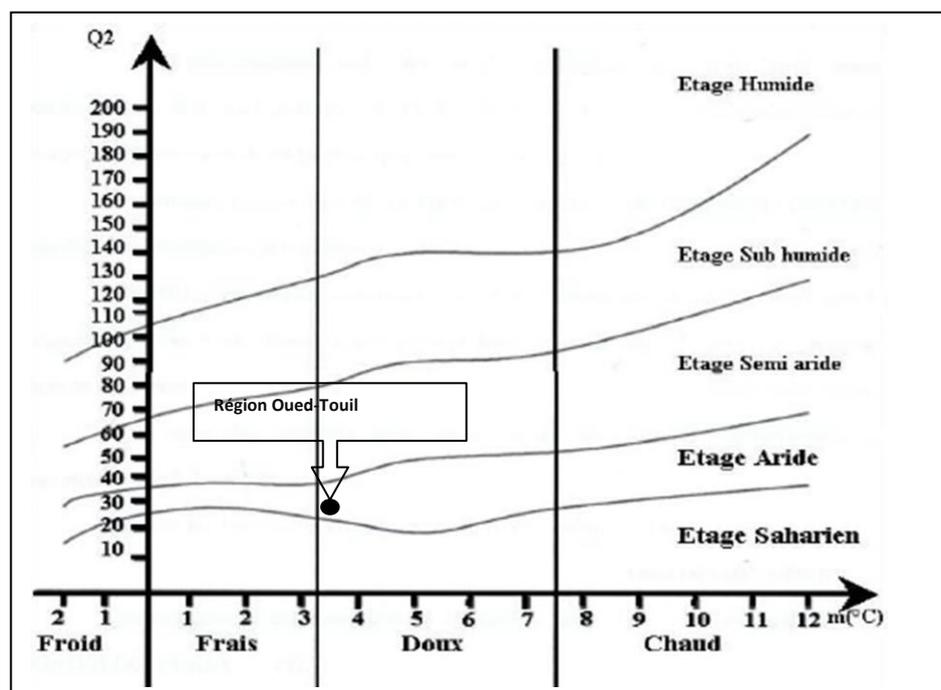


Figure 3.11 : Climagramme pluviothermique d'Emberger (Source : l'Auteur)

### 3.2.9 Carte bioclimatique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

La conception de la carte bioclimatique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval figure 3.14 a été réalisée suite à la digitalisation de la carte des étages bioclimatiques des steppes algériennes figure 3.12. On a vu au chapitre 1 que cette dernière carte a été réalisée suite à l'étude faite par (Le Houerou, Claudin, Pouget, 1979).

En réalité ce travail se résume comme suite :

Premièrement, par l'utilisation d'un logiciel SIG, on essaie de digitaliser la carte des étages bioclimatiques des steppes algériennes figure 3.12, dont ignore sa projection géographique en plus les coordonnées géographique étaient illisibles, ça était difficile de géo-référencier cette figure. Par la suite on a digitalisé les étages bioclimatiques des steppes algériennes, après on a drapé cette carte sur la base des limites administratives des communes de l'Algérie. On conséquence on a obtenu une carte géo-référencier où on peut connaître le bioclimat de chaque commune des régions steppiques figure 3.13. Pour le cas de notre étude, le sous bassin versant Oued-Touil-Aval est caractérisé par 4 sous étages bioclimatiques :

1. Aride moyen frais élevée
2. Aride moyen frais moyen
3. Aride supérieur frais moyen
4. Aride supérieur froid bas



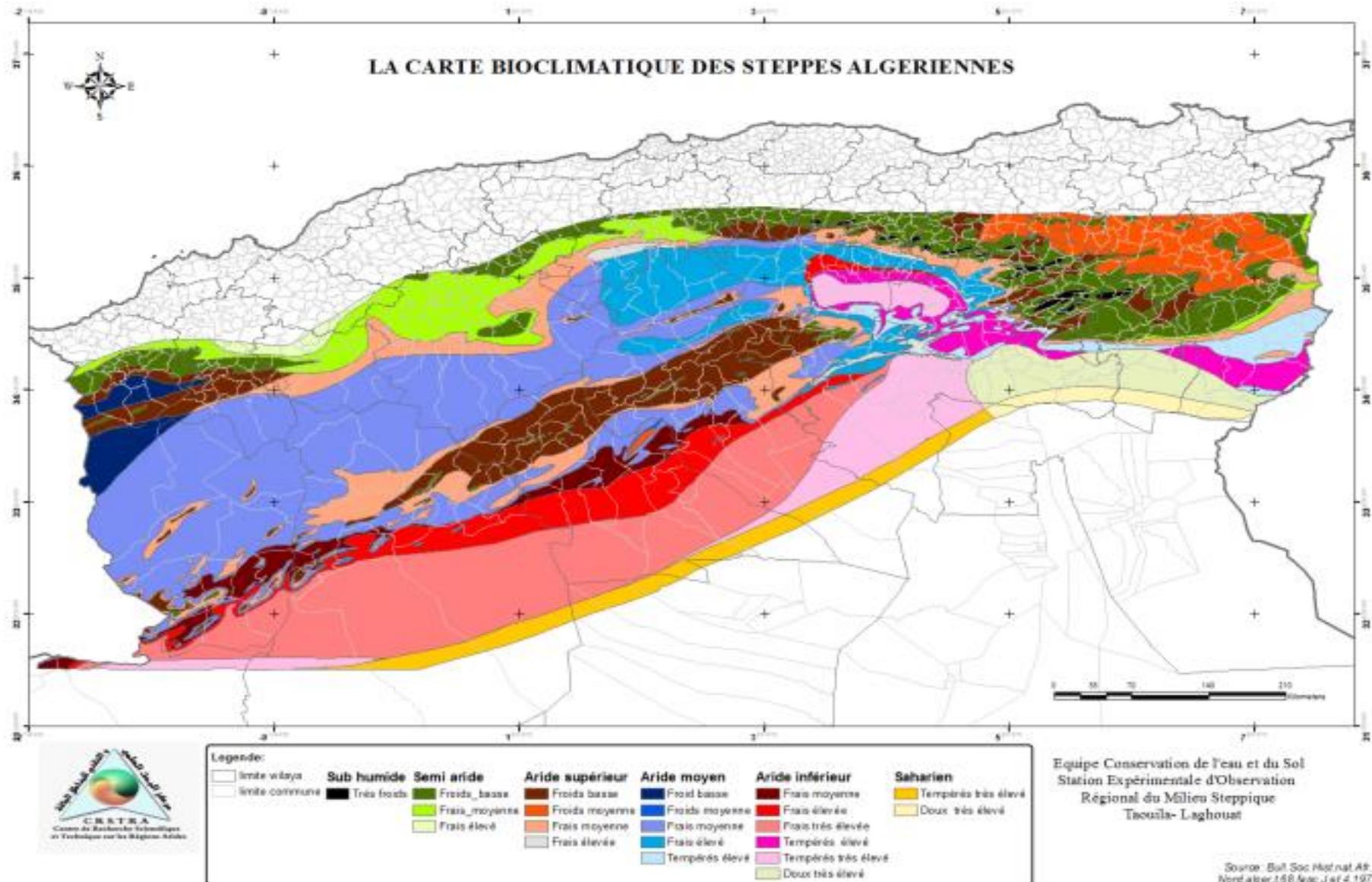
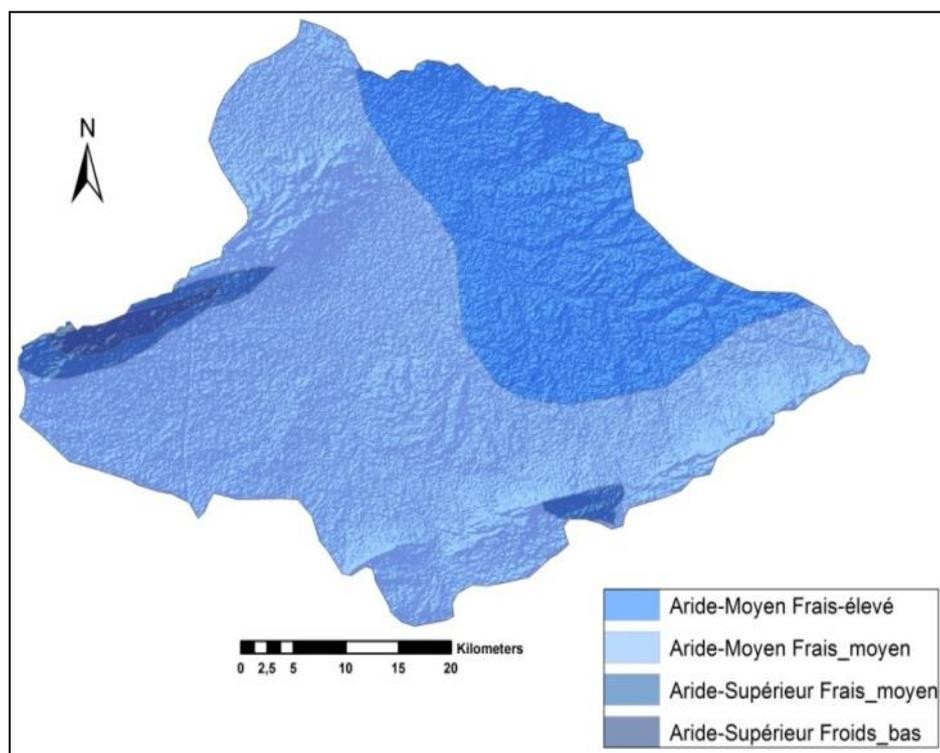


Figure 3.13 : Carte des étages bioclimatiques des steppes algériennes géo-référencée et digitalisée (Conception : Laouisset et Bouarfa S.)



Conception : Laouisset M.B.

Figure 3.14 : Carte des étages bioclimatiques du sous bassin versant Oued-Touil Aval

### 3.3 Le contexte géo-structurel

#### 3.3.1 Géologie

Suite aux études faites par (Pouget, 1980 et al) s'accordent pour dire que le substratum géologique de la zone d'étude est essentiellement constitué de matériaux formés entre le Triasique et le Quaternaire figure 3.16 et sa légende figure 3.17. Les plus vieux sédiments du Triasique sont représentées par des argiles tachetées de gypse et sont confinées aux flans ouest de la chaînes montagneuse des Ben-Hammed. Les reliefs de ces dépôts triasiques sont inclinés jusqu'à être vallonnés, parce qu'ils s'érodent facilement. Les ensembles du Jurassique sont généralement composés de carbonates de calcium, de dolomites, de marnes et de quelques grès qui favorisent le développement d'un relief rocheux avec inclinaisons abruptes. Des inclinaisons plus douces sont souvent recouvertes par des débris éoliens. Les affleurements sédimentaires du Crétacés recouvrent une grande partie de la zone d'étude ; ils sont constitués de marnes, de calcaires et de gré. Là où les affleurements sont plus marneux, la configuration est de bas-relief. Les roches du Crétacés moyen sont principalement développées dans les bases montagneuses du sud-est de la zone d'étude.

La plus grand partie de la zone étudié est composée de sédiments du Pliocène à Quaternaire, formant généralement des plaines faiblement vallonnées ou plates. Leurs lithologie est variée et contient des carbonates, des marnes, des argiles, des grès et quelques conglomérats. D'une

importance primordiale sont les grès très durs, un ciment de gypse calcaireux, une formation de carbonate travertin et quelques encroutements rocheux. Ces sédiments sont continuellement recouverts par des débris de roches alluviales et de matériaux transportés par le vent. Les accumulations de dépôts colluviaux diluviaux occupent le bas des montagnes et les dépressions. Les vallées d'oueds et les méandres abandonnés constituent en dépôts alluviaux allant de 10 à 16m dans les plus larges vallées d'oued. Les lits superficiels sont essentiellement faits d'argile et de limon fin. Des dunes de sable massives occupent seulement une surface limitée au nord-est de la zone d'étude. Elles constituent des sources importantes de dépôts éoliens, car elles sont généralement mobiles et instables. La relation entre le climat, le substratum géologique, le type de végétation et des sols (adapté de Pouget, 1980) est donné au tableau 3.10.

#### 3.3.2 Géomorphologie

Il existe quelques classes géomorphologiques distinctes sur le terrain telles que les canaux d'oued, dayas ou dépressions, terrasses de rivières anciennes et récentes, des deltas, encroutements de l'ancien quaternaire et pentes de montagnes bien drainées. Une adaptation du diagramme fait par Pouget (1980) représentant ces différentes classes et leurs relations est illustrée sur la figure 3.15. La région a été façonnée grâce à une succession de plusieurs séquences érosionnelles, la plus ancienne correspondant à la fin du Tertiaires et marquant le début du Quaternaire. Le Quaternaire comprend quatre périodes distinctes :

- Quaternaire ancien
- Quaternaire moyen
- Quaternaire récent
- Quaternaire actuelle

Les unités géomorphologiques montrés sur la figure 3.15 reflètent cette formation chronologique avec les anciens dépôts du Quaternaire présent sous forme de croûtes exposées sur les plus faibles pentes des montagnes. La même figure montre également le fort degré des situations de drainage existant dans ces classes géomorphologiques.

Le cadre orographique est marqué par une topographie douce figure 3.18, avec des altitudes comprises entre 645 à 1310 m dominée à l'ouest par les monts de Ben-Hammed avec une crête de 1315 m. Ces reliefs montagneux sont séparés par des plateaux et des plaines.

Cette région est drainée par un réseau de cours d'eau peu profonds érodés figure 3.19 et des dépressions "Dayas locales" qui se déchargent dans l'Oued-Touil Aval. Ces cours sont secs la plus grande partie de l'année et ne se remplissent qu'en périodes d'orages violents (la détermination du réseau de drainage du sous bassin a été élaboré en utilisant le modèle hydrologie sous environnement ArcGIS 10.0, la donnée de base est la carte du MNT de la

région). Dans les régions arides algériennes les oueds rares, sont caractérisés par un écoulement temporaire et endoréique, à l'exception de l'Oued-Touil qui représente l'unique cas d'exoréisme du réseau hydrographique de ces régions (Halitim, 1988). Oued-Touil et ces affluents déversent ces eaux trop chargées dans le barrage de Boughezoul photo 3.1 et à partir de celui-ci commence le grand Oued Cheliff d'où le nom du grand bassin hydrographie Cheliff Zahrez.

Tableau 3.10 : La relation entre le climat, le substratum géologique, le type de végétation et des sols (adapté de Pouget, 1980).

VEGETATION TYPE	Climat semi-aride (SA) P > 400	Climat aride supérieur (AS) 400 > P > 300	Climat aride moyen (AM) P < 300
<u>GRES DUR</u>			
Forêt	Fersiallitiques Brun calcique	Brun calcique Fersiallitiques Brun calcaire	
Steppe		Brun calcique Calcixeriques Brun calcaire	Calcixerique
<u>ALTERNANCE MARNES CARBONATEES</u>			
Forêt	Brun calcaire Brun calcaire à Encroûtement	Brun calcaire Brun calcaire à Encroûtement	
Steppe		Brun calcaire à encroûtement Calcixerique à croûte calcaire	Calcixerique à croûte calcaire
<u>MARNE</u>			
Forêt	Brun calcaire (vertiques)	Brun calcaire	
Steppe		Sierozems Regosols Regosoliques	Sierozems Regosols Regosoliques
<u>CALCAIRE DUR</u>			
Forêt	Fersiallitiques Rendzines	Rendzines	
Steppe		Rendzines Calcixerique	Calcixerique

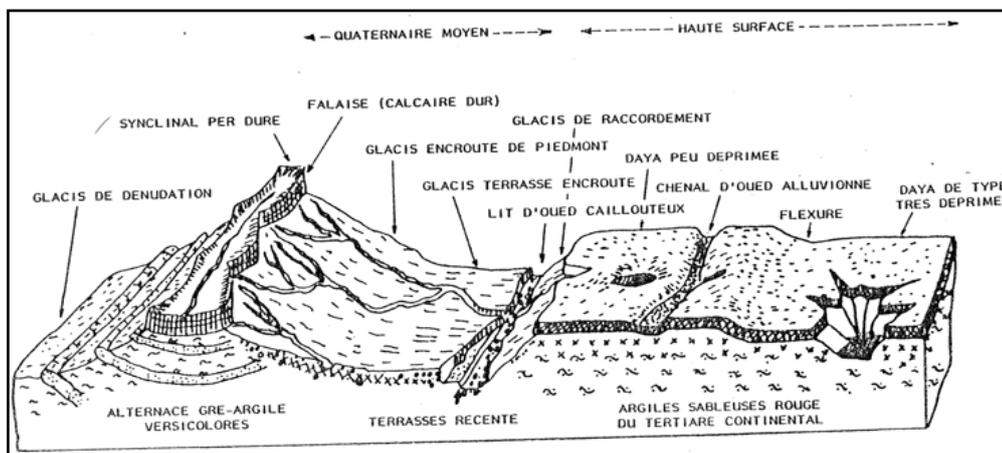


Figure 3.15 : Schéma théorique montrant quelques unités géomorphologiques  
Source : Pouget M., 1980

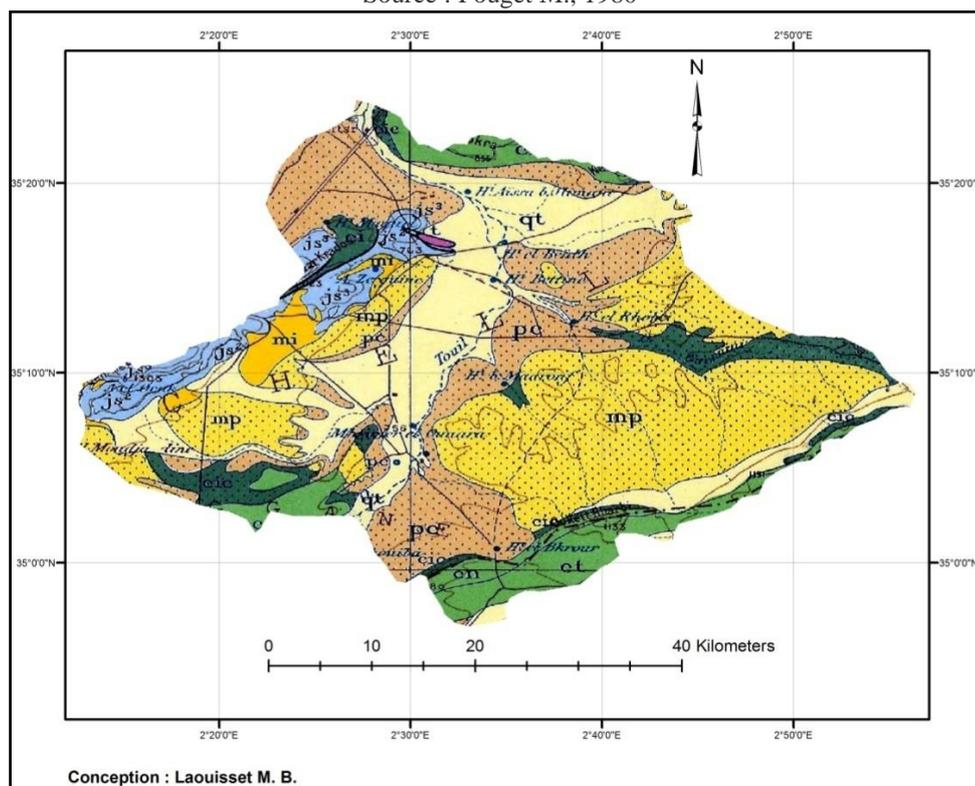


Figure 3.16 : Carte géologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

### 3.3.3 Les sols

Dans le cadre des études d'aménagement hydro-agricole des zones arides, l'élément essentiel à prendre en considération sont les ressources en sol, leurs natures et leurs caractérisations physico-chimiques. Les sols dans les régions steppique sont trop limités point de vue aptitude culturale. Cependant l'étude des sols nous permette surtout de localiser les zones irrigables. En outre la caractérisation des sols, est un élément essentiel afin de déterminer leur potentiel d'érosion. Cette information est obligatoire aussi pour la détermination des techniques de conservation du sol. Dans les zones arides le sol est l'élément de l'environnement dont la

destruction est souvent irréversible et qui entraîne les conséquences les plus graves à court et à long terme. Chaque année des milliers d'hectares sont soustraits à une utilisation agropastorale par la désertification. Pour le pédologue, la désertification peut être définie comme la réduction ou la destruction du potentiel de fertilité du sol (baisse du taux de matière organique, dégradation de la structure, diminution de l'épaisseur du sol, salinisation, etc...) se traduisant par la formation d'un paysage de type désertique. Dans les régions arides, les sols, d'une manière générale, posent d'énormes problèmes de mise en valeur (Halitim, 1980). Ces sols présentent souvent des croutes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (Aubert, 1960).

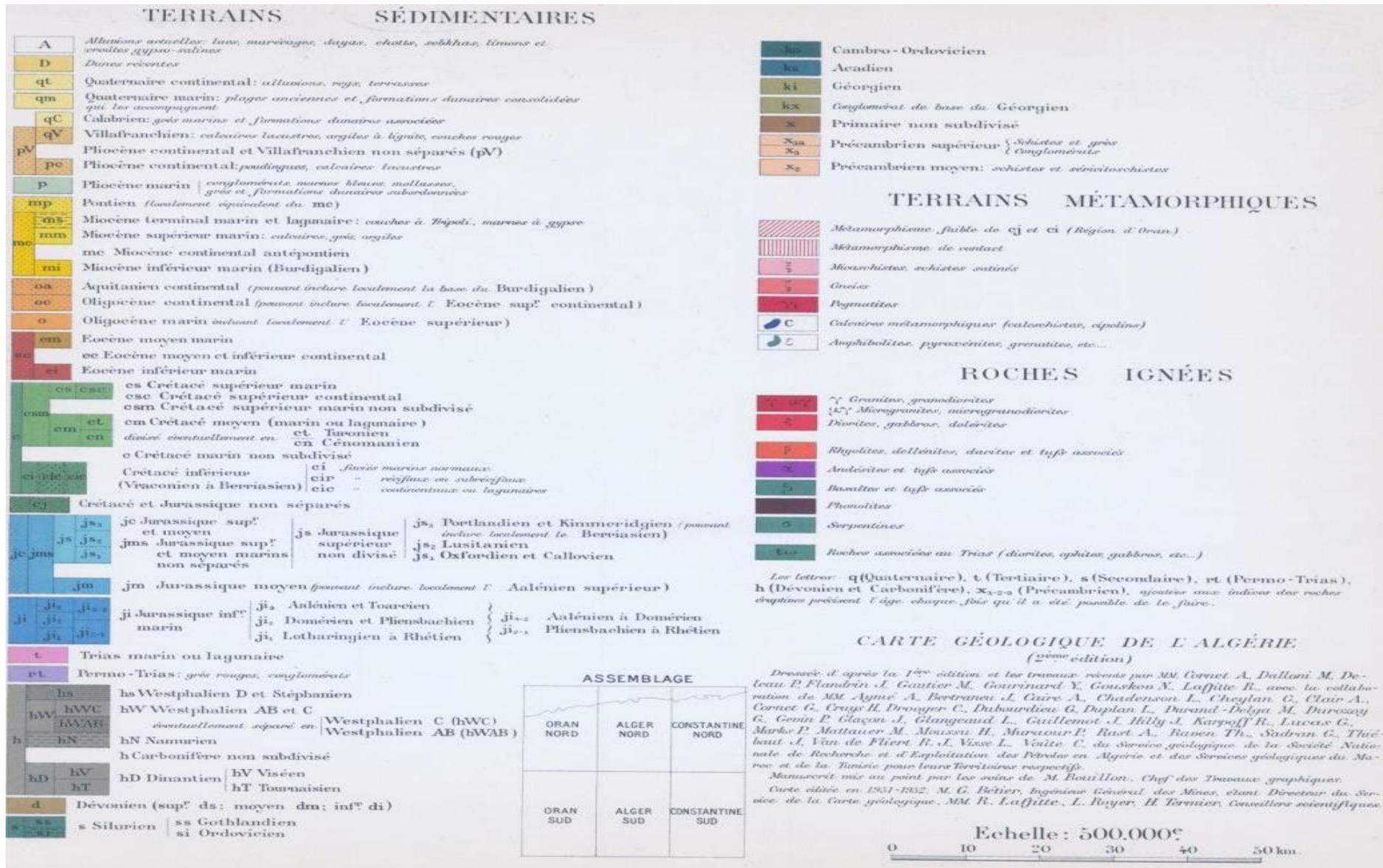
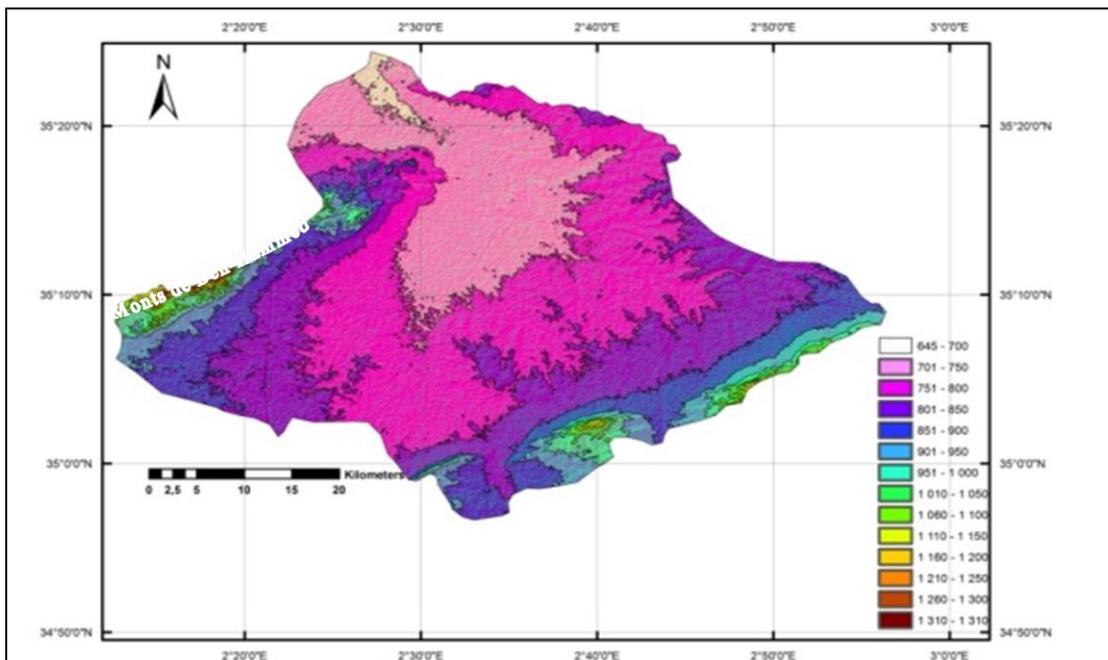
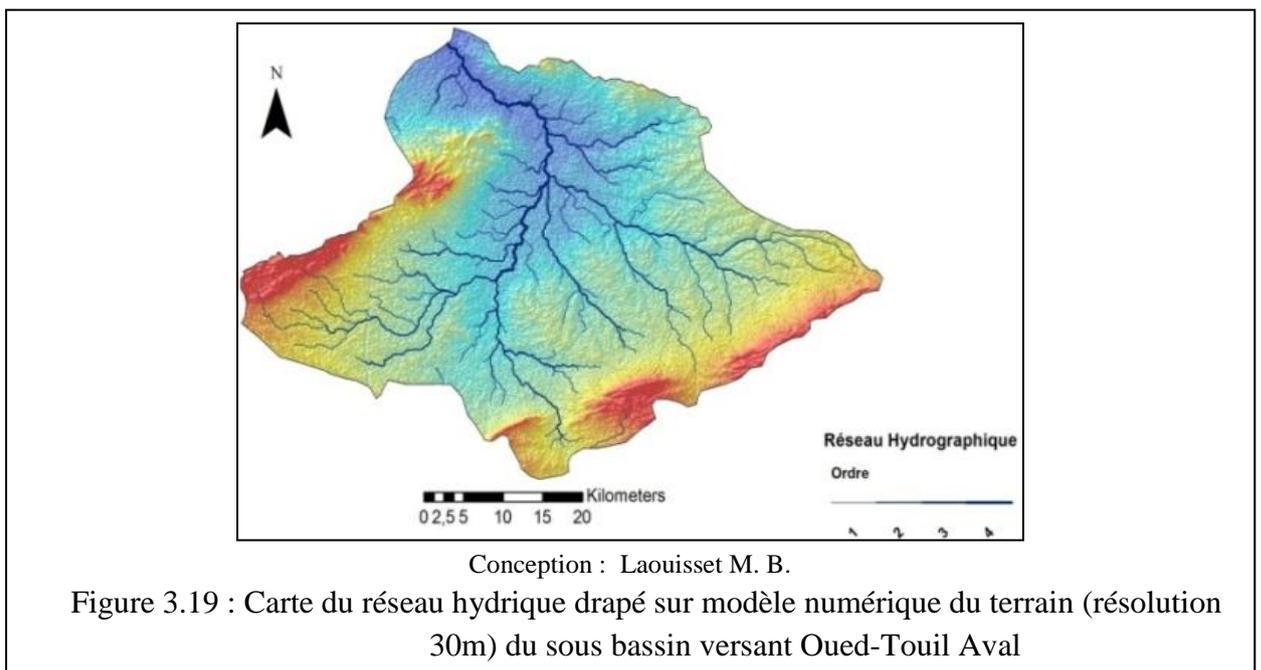


Figure 3.17 : Légende de la carte géologique du sous bassin versant Oued-Touil Aval



Conception : Laouisset M. B.

Figure 3.18 : Carte des altitudes du sous bassin versant Oued-Touil Aval (extraite du MNT de la région)



Conception : Laouisset M. B.

Figure 3.19 : Carte du réseau hydrique drapé sur modèle numérique du terrain (résolution 30m) du sous bassin versant Oued-Touil Aval

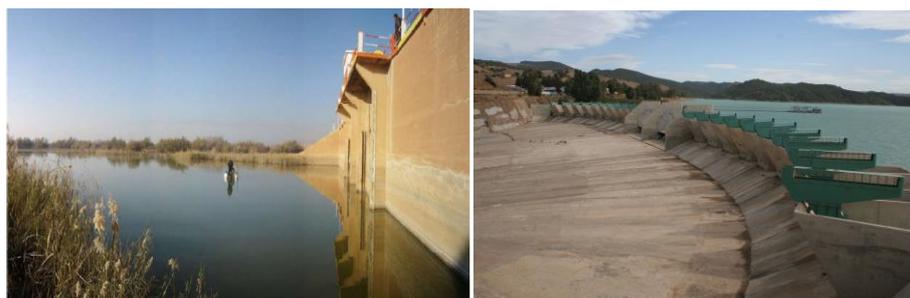


Photo 3.1 : Barrage de Bougezoul. Source : Thèse Magister Ladiel R.

### **3.3.3.1 Etudes précédentes portant sur les sols de la région d'étude**

Il y a eu de nombreuses études générales (Durand, 1954-1959) faites à grande échelle dans lesquelles les sols de la région entière ont été classifiés comme sols gris-marron. D'autres études faites par les Soviétiques entre 1966 et 1970, ont délimité les lits d'oueds, les dunes de sable instable, les sols à croûtes calcaires et les sols salins. Les études très détaillées des Soviétiques portaient uniquement sur les plaines alluviales des oueds tels qu'Oued-Touil. L'identification et la description de ces sols ont montré l'existence de calcaire bruns, de prairie gris pâle et gris foncé, des solonchaks non développés, de sables éoliens et de sols généralement alluviaux.

Dans la partie nord-ouest limitrophe de notre zone d'étude, en 1973 le pédologue Pouget a réalisé une étude pédologique (carte pédologique à 1/100.000 (feuille du sersou),) qui décrit des exemples de 120 familles de sol réparties dans huit (08) classes du système français de classification (C.P.C.S, 1967) : sols minéraux bruts, sols peu évolués, vertisols, Sols calcimagnésique, sols isohumiques, sols à sesquioxydes de fer, sols hydromorphe et sols halomorphes.

### **3.3.3.2 Carte pédologique du sous bassin versant Oued-Touil Aval**

En vue de classer les sols de notre zone d'étude on a fait recours aux techniques de télédétection et SIG, on se basant sur l'étude faite par le pédologue Pouget en 1973 dans les limites nord-ouest de notre région d'étude et une image satellite Landsat5-TM. Donc, il s'agit d'une première tentative pour réaliser une carte pédologique de cette région par les techniques de la télédétection et SIG. Les détaillés de cette première esquisse se trouve dans le chapitre VI.

## **3.4 Végétation**

La végétation de la zone du projet est celle du bioclimat "aride-moyen- méditerranéen (froid)" avec une petite partie au nord du bioclimat "aride supérieur" (Le Houérou et Hoste 1977). Cette végétation a fait l'objet d'études approfondies (Le Houérou 1967, 1968, 1969, UNDP/FAO 1971). Deux études particulières à la zone -du projet ont été faites : la première a été publiée par Botschantzev et al en 1970 et classifie des unités géobotaniques, décrit les associations de végétation et fournit une série de recommandations générales sur la gestion. Les cartes (Vinogradov et al, 1970) montrent la distribution des unités de pâtures et de géobotanique. La deuxième étude, faite par (Pouget, 1980) d'une région adjacente à la zone d'étude, représente une synthèse des ressources développées à partir des bases pédologiques. Ces études, avec expérience sur terrain, permettent l'évaluation du potentiel, l'identification du problème et l'établissement des solutions prioritaires.

### 3.4.1 Histoire

La zone d'étude fait partie de la steppe Nord-Africaine qui avait la structure d'une savane boisée avec un sous-bois buissonneux sur les plaines et des forêts à arbres hauts sur les collines et les montagnes. C'était une zone de pacages, située entre les régions désertiques au sud et les zones côtières céréalières et riches au nord (Pouget 1980). Après la colonisation des années 1930, il y avait une migration forcée des régions fertiles du nord de l'Atlas Tellien vers la zone steppique. Il s'ensuit un broutage intense et concentré sur cette zone, provoquant ainsi une sédentarisation sur les terres de pacage annuel des Achabas et Azabas. Le processus résultant a été décrit par Pouget (1980) : à cause d'un pacage intense, il était nécessaire de cultiver les étendues en dehors des régions traditionnelles et d'abattre les arbres pour le bois de construction.

Le rapport de (Botschantzev et al, 1970) typait les plaines steppiques comme étant une steppe buissonneuse avec de grandes régions cultivées et les montagnes comme étant des monticules herbeux, indiquant les grands changements forcés des paysages dans l'histoire récente. Dans le rapport ci-dessus (Vinogradov et al, 1970) développait une carte géo-botanique basée sur 10 classes de "relief" qui étaient encore divisées en genèses des sols et en profondeur. 3 zones climatiques étaient évaluées et des unités de végétation étaient établies. (Rodin et al, 1970) enregistraient les dimensions des plantes des espèces principales de la région avec leurs associations floristiques et (Pelt et al, 1970) définissaient les caractéristiques du fourrage dans les 3 zones climatiques.

L'Expérience sur le terrain en 1980 montre que les unités de végétation décrites en 1970 ne correspondent pas aux types de végétation existante. Premièrement, les unités de 1970 ne sont pas basées sur des données précises du sol et il n'y a pas de descriptions de changements dues à l'induction de perturbation dans les unités ("range condition" de Roberts, 1972); il n'est pas sûr non plus si les unités enregistrées sont "range condition" d'unités plus larges. Deuxièmement, et c'est la raison la plus importante, au niveau des principales unités, il y eu d'importants changements rétro-agressifs dont les plus apparents sont :

- Culture et abandon de culture s'est accru sur les plaines ondulées et avec un pacage continu, ces étendues se sont converties en champs d'herbes annuelles dont la principale espèce est *Peganum harmala*.
- Les montagnes et les collines ont été dénudées.
- Les oueds mineurs et les plaines élevées correspondantes érodent après la culture.
- La détérioration de la couverture végétative sur les sables a causé une perte de sol et a donné naissance à des plantes impalpables.

### 3.4.2 Situation présente

Ces changements répandus, avec les perturbations dues à l'homme forment une mosaïque d'associations, mieux décrits comme étant des groupes écologiques de (Pouget, 1980) plutôt que "groupements de végétation" d'Ozenda, 1964). Dans ce contexte, les ressources de la végétation de la zone peuvent être cataloguées comme étant des associations potentielles de végétation et, par extension, comme classe du potentiel pastoral. Des enquêtes sur le terrain indiquaient qu'il y avait 4 types de végétation représentant des associations d'une espèce dominante ou groupe d'espèces. Cette classification n'inclut pas la formation de "jachère et culture" de (Pouget, 1980), en raison de l'échelle réduite des cartes et la nature transitoire de la mosaïque super imposée par les cultures. Les 4 associations de végétation sont définies dans la table 5.11.

Tableau 3.11 : Régions et structures relatives à la végétation de la zone d'étude

Association	% Total	Structure de la végétation (Wood & Williams 1980)
<i>Artemisia herba-alba</i>	41	steppe buissonneuse
<i>Stipa tenacissima</i>	17	monticules herbeux
<i>Lygeum spartum</i>	30	monticules herbeux
Halophytes	12	bande (déboisée)

### 3.4.3 L'Association dominée de l'*Artemisia herba-alba*

Ces colonies de buissons steppiques étaient typées par (Rodin et al, 1970), dont l'espèce dominante est *A. herba-alba* avec une hauteur de 30-40 on, un diamètre de 10-20 cm et des fréquences de 2,5 - 13 plantes par m<sup>2</sup>. Elles poussent dans les plaines ondulées des Hauts-Plateaux et dans les plaines étroites et élevées liées aux oueds. Là où *A. herba-alba* est la plante vivace dominante, elle est associée à diverses variétés de plantes éphémères au printemps et en automne. Les principales et faibles plantes vivaces vivant en associations sont *Stipa tenacissima*, *S. parviflora*, *Poa bulbosa*, *Lygeum spartum*, et dans les petites régions isolées des restes de forêts de *Pistachia atlantica*.

Les associations dominantes d'*Artemisia herba-alba* forment la plus grande unité écologique dans la zone et une étude faite par UNDP/FAO (1972) montrait que ces associations avait la plus importante capacité de charge (carrying capacity), la plus nourrissante et la plus grande efficacité d'utilisation. Elles forment donc la ressource pastorale la plus importante dans la zone du projet. Les grandes régions de ces associations dans le nord-ouest de la zone du projet restent sous forme de culture ou jachère, comme il a été-noté par (Vinogradov et al, 1970). Actuellement, tous les petits oueds et les dépressions des plaines sont cultivés ou sont en période de transition vers une steppe buissonneuse avec une dominance d'espèces éphémères. La seule plante vivace

colonisatrice est le *Peganum harmala* qui est une plante impalatable et venimeuse. Ces associations sont instables écologiquement, avec les mouvements du sol et l'érosion par ravinement.

#### **3.4.4 L'Association dominée de *Stipa tenacissima***

Les herbes des monticules étaient décrits comme étant hauts de 50 cm, épais de 20-40 cm et d'une fréquence de moins d'un par mètre carré (Rodin et al, 1970). Ces associations poussent en petites communautés sur les collines et les montagnes de la zone: elles se trouvent sur un sol squelettique en dehors des étendues cultivées et sur les parties élevées de la terre, vivant avec d'autres associations particulièrement là où la perte de sol a exposé la roche-mère. En général, *S. tenacissima* est la plante vivace dominante mais sur les sous-pentes érodées où le pacage est intense et sur les sables, elle coexiste avec les restes de la flore indigène. Ces communautés couvrent de grandes étendues. Elles ont un taux de production de matière sèche le plus élevé de toutes les associations (FAO 1972). Toutefois, leur forte teneur en fibre est due à une faible efficacité d'utilisation et par conséquent, des "capacités de charges" faibles. Ces associations ont été broutées intensément, dénudant les sols des montagnes, collines et sous pentes, surtout près des villes et des villages. Les communautés stables poussent dans les parties isolées de la zone et dans les réserves à production de papier, qui sont mises en défend.

#### **3.4.5 L'Association dominée de *Lygeum spartum***

Ces herbes des monticules sont hautes de 20-40 cm, épaisses de 15-40 cm et une fréquence de 1,2 à 6,5 par mètre carré. Ces colonies poussent sur les sables et les sols sablonneux concentrés à l'ouest d'Oued-Touil. En association, *Lygeum spartum* co-domine avec d'autres plantes vivaces ou faibles et est dormante en automne et en hiver (Rodin, 1970).

Typiquement, les co-dominants sont *Foa bulbosa* et *Stipa parviflora*. Comme *Stipa tenacissima* et les co-dominants localement importants sont : *Salsola vermiculata*, *Artemisia caropeatris*, *Ziziphus lotus* et *Thymelea sp.* Bien que ces colonies couvrent une petite partie de la zone, UNDP/FAO (1972) enregistre une grande efficacité d'utilisation pour une production relativement basse de matière sèche, indiquent que ces colonies peuvent représenter une nourriture de printemps importante.

Les colonies sont très instables et la fréquence des plantes rapportée par (Rodin et al, 1970) est maintenant plus faible sur les grandes parties de la zone. "Pedestalling" est largement répandu avec des indications allant jusqu'à 15 cm de sol déplacé. Ces touffes d'herbes s'agrippent au sol et le retiennent dans certaines régions lorsqu'il y a des vents de sable, mais la courte efficacité de ce processus est indiquée par l'exposition des racines où le sable a de nouveau été déplacé. Ces

colonies forment des régions stables entre les parties des dunes de sable mobiles jusqu'à l'ouest de Z'mir El Emir Abdelkader. Les cultures dans cette région ont causé une érosion sévère et un mouvement de population durant ces dernières années, selon une information locale.

### **3.4.6 Les Associations dominées des Halophytes**

Ces associations complexes de landes poussent sur les plaines salines des crues et sur les levées naturelles supérieures des principaux oueds. Une variété de halophytes pousse comme dominante ou co-dominante, mais les plus importantes sont *Salsola tetendra*, *S. zygophylla*, *Suaeda fruticosa*, *Atriplex glauca*, *A. halimus* et *Salsola vermiculata*. Bien que les complexes s'intègrent naturellement et en raison de la perturbation, 2 formes principales sont apparentes : la première est celle où *Atriplex* SD sont dominants, la fréquence faible et il y a très peu d'espèces associées; ces étendues sont généralement proches/dans les lits des oueds. La deuxième forme est une couverture au sol avec des floristiques riches et variées. Là où les degrés de salinité des sols et l'enmagasinement de l'eau ne présente pas de problèmes, ces régions sont cultivées. Les étendues, où le petit *Atriplex* domine, sont sévèrement broutées. Les restes des étendues sont stables et le pacage est contrôlé.

### **3.4.7 Relation végétation-sol**

Les particularités de la genèse des sols ne peuvent pas être découvertes jusqu'au fond sans le facteur biologique. La tâche la plus importante consiste à étudier la richesse floristique en fonction de la salinité des sols, de la profondeur des nappes des eaux souterraines, de la profondeur d'apparition de la croûte calcaire et de l'encroûtement.

Avant 1969 la couverture végétale des plaines des Hauts Plateaux a été étudiée assez faiblement. En 1962 la compagnie SCET a établi un aperçu phyto-écologique ainsi que les cartes couvrant une partie de la superficie de la plaine. Ces documents contiennent les données portant sur la structure des associations végétales, la composition chimique de certains édificateurs, les caractéristiques écologiques et les recommandations sur l'utilisation des pâturages.

Outre cela, il y a des Etudes sur l'écologie (Le Houerou, 1959), sur les pâturages Le Houerou, 1964) dans les plaines des Hauts Plateaux de l'Algérie, de Tunis et de Maroc.

En 1967-1968 le complexe des études géobotaniques a été entrepris sur les Hauts Plateaux dans la partie d'ouest du département de Médéa par l'équipe des spécialistes soviétiques dirigés par le Professeur Rodin. A l'issue de ces études ont été établis une carte géobotanique à l'échelle de 1/200000 et le rapport avec la description détaillée de la couverture végétale, de la caractéristique des types de pâturages etc. (Rodin et coauteurs, 1969).

Analysant le caractère des paysages des plaines des Hauts Plateaux, (Rodin L.E. et ses coauteurs,

1969) ont rangé ce territoire dans la zone de déserte subtropicaux (méditerranéens) (Walter Licth, 1960 ; Lavrenko, 1962). Or, sous l'angle de la géographie botanique, il appartient au secteur des déserts du Sahara et du Sind, sous-groupe du domaine des déserts englobant, le Sahara et le Gobi (Lavrenko, 1962).

La formation des paysages des Hauts plateaux subit l'influence, d'une part, du Telle Atlas représenté abondamment par la mer méditerranéenne et d'autre de l'Atlas Saharien où à côté de forêts faibles et de parcs du type méditerranéen on y voit apparaître des formes de végétation zonale à espèces sahariennes (*Astragalus armatus*, *Hammada scoparia* etc.).

Par conséquence, sur les planes des Haut plateaux sont répandues tant les espèces méditerranéennes (*Artemisia herba alba*, *Stipa tenacissima*, *Lygeum spartum*) que celles tourano-irano-méditerranéennes (*Noaea mucronata*) et saharo-méditerranéennes (*Salsola vermiculata*).

(Rodin L.E. et ses coauteurs, 1969) estimant que le type zonal de la végétation des plaines des hauts plateaux appartient au groupe buissonnât des déserts. Au cours des études réalisées sous la direction du professeur (Rodin, 1969) on a établi la corrélation nette de la couverture végétale avec le relief et le caractère des sols. Nos études de champs ont entièrement confirmé la corrélation établie par les géo-botanistes.

Dans les piedmonts ou la puissance de la couche de terre fine non salée varie généralement du 0,1 à 0,6 m est répandue *Stipa tenacissima*. Si la couche de terre fine est plus puissante, *Artemisia herba-alba* et *Lygeum Spartum* deviennent prédominantes.

Sur les sols peu épais (contenant des cailloux) des pénéplaines plates et vallonnées des Hauts Plateaux avec l'apparition de la croûte calcaire à la profondeur 0,1-0,3 m sont répandues *Stipa tenacissima* et *Suffruticeta petrophytica*. Les dernières jouissent le rôle des indicateurs des sols peu épais.

Les sols des plaines des Hauts Plateaux avec la croûte calcaire faiblement formée gisant proche de la surface, se caractérisent par les complexes d'association de *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba-alba* et *Lygeum Spartum*.

Sur les sols non salins avec les horizons relativement profonds de la croûte calcaire (du 0,5 à 2,0m), formant dans les dépressions faiblement marquées des plaines des Hauts Plateaux sont répandues des associations comprenant *Artemisia herba-alba* + *Algae* ass avec la couverture abondante des éphémères et de *Poabulbosa*.

Sur les sols épais des "dayas" poussent principalement *pistachia atlantica* et *Ziziphus lotus*.

Semi association présentée principalement par *Retama raetam* et *Aristida pungens* accompagnées de *Stipa tenacissima* et *Holianthemum* sp.sp. se rencontre sur les sols des monticules de sables mobiles et demi-fixés.

Sur les sols peu épais (jusqu'à 1m) d'origine éolienne répandus dans les plaines plates et vallonnées, poussent *Artemisia campestris*, *Lygeum Spartum* et *Thymelaea microphylla*.

Les variations de la texture des sols, du caractère et du degré de salinisation des sols et des profondeurs de gisement des eaux souterraines de minéralisation différente dans les vallées des oueds, déterminent la composition bigarrée de la couverture végétale.

Dans la zone de transition comprise entre les plaines et les terrasses supérieures des vallées des oueds sur les sols peu épais caillouteux sablo-limoneux et sableux on rencontre, à côté des *Rétama raetam* et *Artistida pungens*, les *Stipa tenacissima*, *Helianthemum* sp.sp., *Atractylis* sp. sp. Sur les sols non salins limoneux et sablo-limoneux sont répandues les espèces suivantes: *Agrostis semiverticillata*, *Cynoclon dactylon*, *Trifolium arvense*, *Trifolium tomenbasum* et *Festuca deserti*.

Au fur et à mesure de l'augmentation de salinisation des sols ces espèces de plantes sont remplacées par les halophytes. Sur des sols faiblement salins, sableux et sablo-limoneux aux nappes phréatiques proches de surface se rencontrent les *Atriplex halimus*, *Tamarix gallica* et psammophites. Dans les dépressions, sur ces sols on trouve les espèces de *Thymelaea microphylla*, *Artemisia campestris*, *Ephemrae*.

Les sols faiblement salins solontchaks sablo-limoneux et limoneux aux nappes phréatiques gisant plus profondes de 5m sont couverts par *Salsola vermiculata*, *S. Zygothylla*, *Atriplex glauca*, Herbe pastorale. Sur les sols faiblement salins solontchaks sablo-limoneux aux nappes phréatiques allant de 3 à 5m de profondeur les espèces *Atriplex halimus*, *A. glauca* et *Suaeda fruticosa* sont prédominantes.

Sur les sols solontchaks de texture limono-argileuse aux nappes phréatiques gisant à la profondeur de 3 à 5m, la couverture végétale est peu abondante présentée par *Suaeda fruticosa*, *S. pruinosa* et *Atriplex glauca*. La végétation est encore plus pauvre sur les sols argilo-limoneux aux nappes aquifères minéralisées gisant à la profondeur de 2-3m, présentée par *Suaeda fruticosa*, *S. pruinosa*, *Salsola tetrandra* et *Herbae halophyticae*.

Sur les sols saumâtres limoneux et limono-argileux inondés périodiquement par les crues, aux nappes aquifères faiblement minéralisées gisant proche de la surface prédominent les espèces de *Cynoclon dactylon* et de *Suaeda fruticosa*, tandis que sur les sols profondément saumâtres prédominent *Cynoclon dactylon* et *Herbae halomesophyticae*.

Sur les sols argilo-limoneux aux nappes aquifères faiblement minéralisée (des eaux bicarbonato-calcitées) gisant à 0,5-1,0 m de la surface, on rencontre *Juncus acutus* et *Herbae halophyticae*.

Sur les solontchaks sulfaté-sodique sablo-limoneux et limoneux aux nappes phréatique très minéralisées gisant à 1,0-1,5m de la surface, s'observe la cumulation des halophytes et psammophytes (*Artemisia campestris* et *Schismus arabicus*).

La végétation des solontchaks répandus dans les fonds des dépressions fermées et dans les vallées des oueds est très pauvre qui varie fonction de la profondeur de gisement des eaux souterraines.

Sur les sols solontchaks chloruré-sodiques et sulfaté-chloruré-sodiques aux nappes aquifères gisant à 0.1-0.5m de la surface, se rencontrent exclusivement des exemplaires de *Halocnemum strobilaceum*, *Salicornia arabica*, *Cressa cretica*, *Frankenia pulverulenta*, *Algae*.

Sur les sols-solontchaks chloruré-sodiques et sulfaté chloruré-sodiques aux nappes aquifères gisant à 0,5-1.0 m de la surface prédominent *Halocnemum strobilacoum*, *Frankenia pulverulenta*, *Halopeplis amplexicaulus*.

Sur les solontchaks situés suivant les limites des dépressions importantes aux nappes aquifères gisant très profondes (plus de 5m de la surface), les espèces principales sont : *salsola vermiculata*, *S. Tetrandra*, *S.Zygophylla*, *Suaeda fruticosa*.

La végétation des terrains cultivés et des terres en jachère se distingue par une bigarrure extrême fonction de la position zonale, de la culture précédente et de leur obstruction, de la qualité de labourement des terres etc.

Sur les anciennes terres en Jachère se rencontrent les mêmes espèces que sur les terres vierges.

Ainsi, la couverture végétale des plaines des Hauts Plateaux est un indicateur remarquable des particularités des sols. Faute des cartes pédologiques détaillées à l'échelle moyenne pour l'ensemble des plaines des Hauts plateaux, la planification de la mise en valeur des régions étudiées rencontre des difficultés.

L'établissement par les géobotanistes soviétiques, dirigés par le professeur (Rodin., 1969), des fonctions corrélatives entre la végétation et le sol dans les conditions des Hauts Plateaux de l'Algérie permet de procéder à l'établissement des cartes pédologique sur la base de l'interprétation complexe des documents de la photographie aérienne en vue de déterminer les micro-combinaisons de la couverture végétale.

### **3.5 Ressources en eau**

#### **3.5.1 Considérations générales**

L'eau est sans aucun doute la ressource la plus importante dans les régions arides. La région du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval est caractérisée par un potentiel hydrique important concrétisé par les écoulements superficiels en particulier celle d'Oued-Touil et surtout la présence de plusieurs systèmes aquifères alimentant cette région. Malgré tous ces potentialités, l'eau présente le caractère de rareté dans cette région et ceci suite aux différentes contraintes surtout d'ordre technique. En conséquence lors des études d'aménagement hydro-agricole il est impératif de connaître la disponibilité de l'eau (point de vue qualité et quantité) et sa distribution.

Du fait de sa rareté, la disponibilité de l'eau et sa conformité doivent être considérées par rapport aux besoins et aux conditions d'utilisation.

### **3.5.2 Evaluation des ressources en eaux souterraines**

Les données des ressources en eau sont collectées des études hydrogéologiques faites par la mission soviétique dans les années 60 et début des années 70 dans la région d'Oued-Touil.

Le mouvement de l'eau dans le sol et le sous-sol est une étape d'un grand circuit sur la terre, le cycle global de l'eau. La source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration qui renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et entretient, par son circuit dans les aquifères, le débit de l'écoulement souterrain (Castany, 1998).

La formation des bassins était passée sous l'influence des facteurs climatiques géomorphologiques et géologie-structurales qui ont déterminé les particularités spécifiques de chaque nappe aquifère.

Les zones d'alimentation des bassins artésiens sont localisées suivant les limites des structures où a lieu des affleurements des roches réservoirs.

Le déchargement des eaux souterraines se fait par l'écoulement des sources ou par l'évaporation à partir des surfaces libres des cours d'eau. La liaison hydraulique existe tant dans le plan horizontal que dans le plan vertical, mais dans chaque cas concret de degré de cette liaison permet de tracer les limites hydrogéologiques des nappes aquifères.

En général la direction de l'écoulement des eaux souterraines est Nord-Est, à l'exception de certains endroits où les anomalies sont conditionnées par les particularités géologiques (Vséssojuznojé, 1971). Les ressources en eaux souterraines exploitables dans les limites de la région d'étude sont représentées par sept (07) systèmes aquifères. Ce sont principalement des nappes phréatiques en roches fracturées susceptibles d'être reliées entre elles soit au moyen d'une liaison hydraulique directe soit par simple écoulement. Cette situation est parfaitement illustrée dans le cas des aquifères du Barremien et Albien, Crétacés inférieurs ( $Cr^b$  et  $Cr^{al}$ ) du Tithonique et Kimméridgien Jurassiques supérieurs ( $J^{km}$  et  $J^l$ ) considérées comme des systèmes aquifères uniques dans cette région.

### **3.5.3 Différentes horizons aquifères :**

Dans les limites du territoire étudié les eaux souterraines sont localisées dans les dépôts de lithologie différente formant les horizons aquifères (Vséssojuznojé, 1971) figure 3.20.

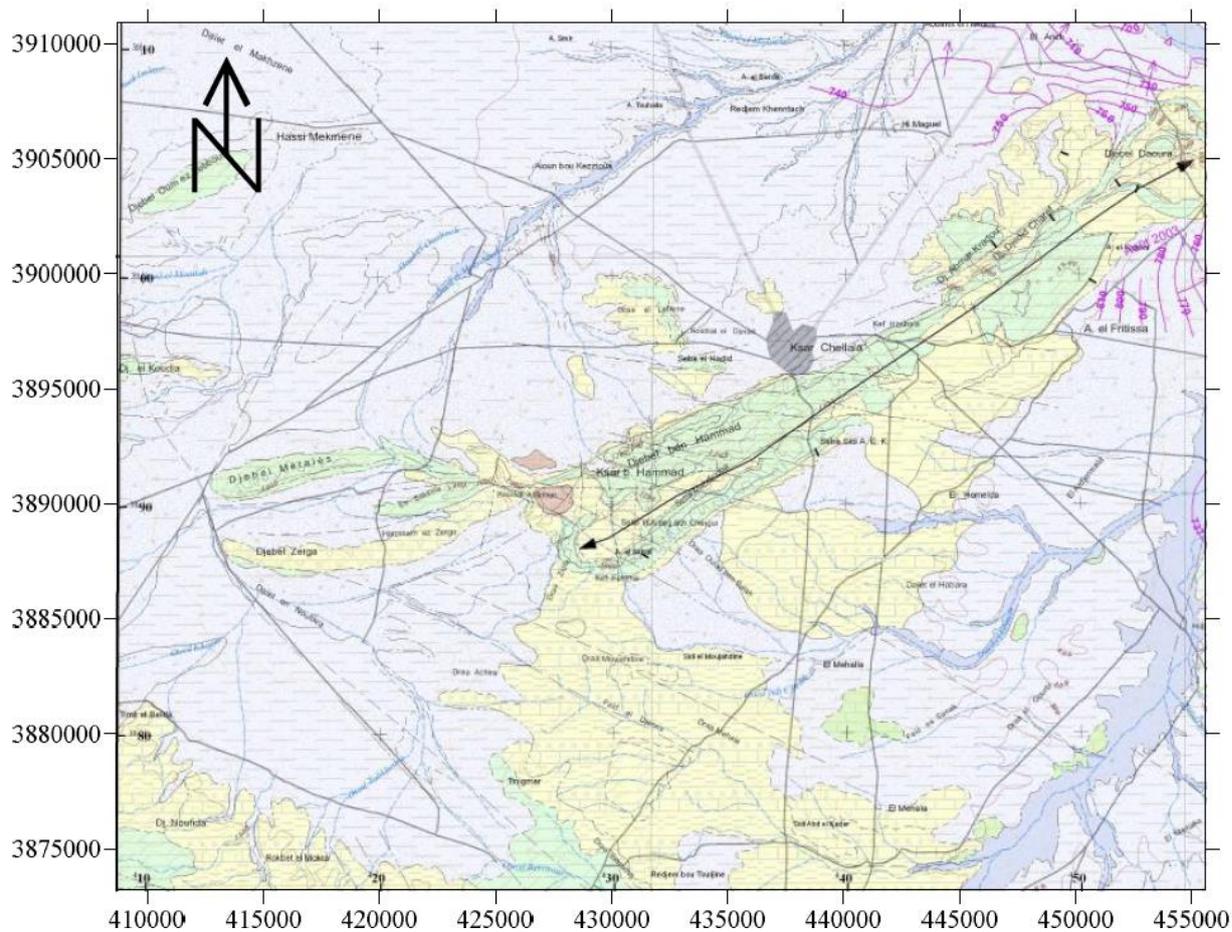


Figure 3.20 : Extrait de la carte hydrogéologique de la région d'étude (ANRH, 2008)

### Légende

Perméabilité	Stratigraphie	Composition Lithologique				
<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">moyenne</td> <td style="text-align: center;">faible</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9ead3; width: 20px; height: 10px;"></td> <td style="background-color: #f4cccc; width: 20px; height: 10px;"></td> </tr> </table>	moyenne	faible			Holocène	Alluvions actuelles: sables, graviers et argiles
moyenne	faible					
	Quaternaire	Alluvions actuelles et récentes: sables, graviers et argiles				
	Quaternaire	Croûte calcaire-dépôts quaternaires anciens avec surface encroûtée				
	Quaternaire	Formations dunaires consolidées, lumachelles, poudingues et grès				
	Crétacé supérieur Coniac. et Santon.	Calcaires				
	Crétacé supérieur Turonien	Calcaires et marnes				
	Jurassique supér. Tithonien	Dolomies cristallines				
	Jurassique supér. Kimmérigien	Dolomies, calcaires, grès et argiles				
	Crétacé inférieur Albien	Grès-calcaires ocres-argiles				

### **3.5.3.1 L'aquifère à nappe libre du Plio-Quaternaire**

Elle s'étale sur toute la vallée de l'Oued Touil et est caractérisée dans sa majeure partie par des dépôts alluvionnaires hétérogènes coiffés d'une croûte calcaire. Ces alluvions sont formées de sable, limons, galets, graviers, argiles marneuses, grès, conglomérats et brèches.

Cet horizon aquifère de substratum peu perméable peut être limité par le Barrémien gréseux Sa puissance varie entre 5 et 10 mètres, mais devient plus importante le long d'Oued Touil où les dépôts constituent des terrasses alluviales d'une épaisseur de 20 à 25 m. Cet aquifère est limitée au Nord-Ouest par les affleurements du Crétacé inférieur et du Jurassique supérieur et se présente sous forme d'une cuvette à fond plat sauf le long de l'Oued Touil où les dépôts forment la vallée sur creusée (Braham, et Hamidouche, 2007).

### **3.5.3.2 Les aquifères à nappes profondes**

#### **3.5.3.2.1 La nappe du Crétacé inférieur**

##### **A-L'horizon aquifère dans les dépôts de l'Albien**

L'horizon aquifère Albien est étudié en rive droite de l'Oued-Touil et dans la région de Zénina. En rive gauche de l'Oued Touil l'horizon aquifère Albien faiblement développé est mis à découvert par les forages seulement entre la chaîne de montagne de Chellala et la vallée de l'Oued Ouerq.

Les roches-réservoirs sont représentées partout par des grès fins, d'une puissance jusqu'à 50m séparées par les argiles. Les dépôts cénomaniens du Crétacé supérieur (marne et argile) y jouent le rôle d'un toit imperméable. L'alimentation de l'horizon aquifère Albien s'effectue généralement par les venues d'eau au côté de l'Atlas Saharien et par infiltration des précipitations dans les zones à surface libre. La direction générale des eaux souterraines est vers le Nord et le Nord-Est avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0.002 (Vséssojuznojé, 1971).

##### **b-L'horizon aquifère dans les dépôts de l'Aptien:**

Les éléments les plus perméables de l'assise-aquifère aptien sont les passées de grès d'une puissance de 20m environ renfermées entre les marnes, calcaire et argiles. Les marnes et calcaires sont stratifiés et fissurés, l'assise aquifère de l'aptien joue le rôle d'un mur faiblement perméable entre les horizons aquifère Barrémien et albien. Cet horizon aquifère n'est pas perspectif pour l'exploitation (Vséssojuznojé, 1971).

##### **c-L'horizon aquifère dans les dépôts du Barrémien:**

L'horizon aquifère Barrémien, le plus répandu sur le territoire étudié, est plus abondant en eau parmi les horizons aquifères du Crétacé. Les roches enclavant d'eau sont présentées par des grès quartzeux, le ciment est calcaire D'après les conditions de l'alimentation et de la décharge la

superficie de l'extension de l'horizon aquifère Barrémien se divise en deux zones séparées par la chaîne de montagne de Chellala :

- Au Nord des montagnes de Chellala l'horizon aquifère est alimenté par des précipitations atmosphériques.
- Dans la zone Sud limitée par la chaîne de montagnes de Taguine, l'horizon aquifère Barrémien est alimenté par infiltration en rive gauche de l'Oued Touil; outre cela, l'horizon est suralimenté par les venues d'eau du Sud. La décharge partielle a lieu dans la vallée de l'Oued Touil. Vu l'apparition de l'assise calcaréo-argileuses de l'Aptien, l'horizon aquifère y passe au régime artésien.

Le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté du Sud-Est au Nord-Est. Avec un gradient hydraulique de 0.0025 (Vséssojuznojé, 1971).

### **3.5.3.2.2 La nappe du Jurassique supérieur :**

#### **a-L'horizon aquifère dans les dépôts du Tithonique:**

L'horizon aquifère emprisonné par les dépôts Tithonique du jurassique supérieur est largement répandu situé au Sud de la chaîne de montagne de Ksar-Chellala. Les roches-réservoirs sont représentées par des calcaires, dolomies, plus rarement par des grès. Les couches sont alternées avec des argiles et marnes qui jouent le rôle de substratum imperméable relatif L'horizon aquifère est alimenté dans les limites du plateau jurassique Taga où a lieu l'accès libre des précipitations atmosphériques dans les dépôts du Tithonique. Dans les parties Ouest et Nord de l'extension de l'horizon aquifère, le dernier passe dans la zone de l'ennoyage sous dépôts Valangino-hauteriviens du régime libre au régime artésien. La direction principale de l'écoulement des eaux souterraines est Nord-Est et Est, avec un gradient hydraulique variant entre 0.01 – 0.02. Dans la zone de transit, l'horizon aquifère Tithonique est suralimenté par les venues d'eau à partir de l'horizon aquifère sous-jacent à régime artésien renfermé dans les dolomies Kimméridgiennes du jurassique supérieur. La décharge partielle des eaux souterraines s'effectue par l'écoulement des sources sur le flanc Est de la chaîne de montagne de Chellala (Vséssojuznojé, 1971).

#### **b-La nappe du Kimmeridgien :**

L'horizon aquifère des dépôts du kimméridgien est l'un des plus abondants en eau qui constituent les structures synclinales des montagnes de Ksar-Chellala. Dans les limites des affleurements les roches réservoirs sont représentés par les dolomies massives, fissurées à un degré différents, cavernes, dont l'épaisseur varie de 350m a 400m. Les dolomies sont alternées avec les passées de marnes et d'argiles, Le substratum imperméable supérieure de l'horizon aquifère Kimméridgien est constitué par des dépôts Tithonique caractérisés, dans son

ensemble, par une forte anisotropie de filtration ; Les couches argilo-marneuses du Callovo-Oxfordien jouent le rôle de substratum imperméable inférieur. La zone principale de l'alimentation de l'aquifères du Kimméridgien est localisée dans les limites de plateau de Taga, l'alimentation s'effectue par l'infiltration de précipitations. L'horizon aquifère reçoit l'alimentation supplémentaire sur le versant Sud-Est de la chaîne montagneuse de Ksar-Chellala. La direction de l'écoulement des eaux souterraine est Nord-Est, le gradient hydraulique est de l'ordre de 0001 à 0,0005 (Vséssojuznojé, 1971).

### 3.5.4 Piézométrie

Vue l'hétérogénéité des horizons aquifères rencontrés figure 3.21 et l'absence de puits suffisants captant tous ces horizons, l'établissement d'une campagne piézométrique semble très délicate et demande une très bonne connaissance aux conditions aux limites qui débordent chacune des nappes.

Formation	Log systématique	Epaisseur (m)	Lithologie	Hydrogéologie
Quaternaire-miocène		25	Argiles, calcaire marneux	Perméable
Cénomanién		170 à 500	Marne, marno-calcaire, calcaires massifs dolomitique alternant  Marne, gypse  Calcaire crayeux, blancs	Imperméable
Albien		300	Grés continentaux, Argile	Perméable
Aptien		250	Calcaires dolomitisé, marno-calcaires et grés.	Semi Perméable
Barrémien		400	Grés marneux avec des blocs de dolomie.	Perméabilité de fissures
Kimméridgien		140 à 400	Dolomies, grés, marne, calcaire	Perméabilité de fissure

Figure 3.21 : Log stratigraphique synthétique de la région d'étude (Bersi, 2011) Modifié.

### 3.5.5 Recharges des aquifères

D'après l'étude russe, la recharge des aquifères est estimée à une moyenne de 2600 l/s. La plus grande partie provient de l'écoulement d'eau en profondeur venant de l'extérieur de la zone d'étude. On ne prend pas en compte dans ces évaluations l'eau située à faible profondeur dans les sédiments quaternaires récents.

### 3.5.6 Stockage

En plus de réapprovisionnement des aquifères, on estime que la quantité d'eau stockée dans les aquifères est de  $12 \times 10^9 \text{ m}^3$ , On peut mobiliser la moitié de cette réserve d'eau sans difficulté. Bien qu'une plus grande quantité d'eau existe sans doute, on considère qu'il vaut mieux de ne pas exploiter ces réserves d'eau au-delà de la limite admissible avant d'avoir calculé de façon certaine les effets que les prélèvements d'importantes quantités d'eau vont avoir sur les aquifères.

### 3.5.7 Critères

Les estimations concernant le réapprovisionnement des principales aquifères ont été obtenues en calculant le passage dans chaque nappe de l'eau souterraine, en provenance de la zone principale de réserve, en se basant sur la loi de Darcy :

$$Q = T i w \quad (3.21)$$

Soit :

Q = volume du débit d'eau souterraine en  $\text{m}^3/\text{jour}$

T = transmissibilité moyenne de l'aquifère en  $\text{m}^2/\text{jour}$

i = radian potentiométrique moyen

w = largeur moyenne de l'aquifère (en mètres), lieu de passage de l'eau souterraine (Q)

Les valeurs pour «i» ont été obtenues en relevant toutes les données disponibles concernant le niveau de l'eau.

On a considéré que les valeurs de transmissibilité fournies par les Russes étaient valables. Comme il est nécessaire de tenir compte d'autres facteurs concernant les systèmes d'aquifères dans de la roche fracturée et hétérogène, où les données de transmissibilité dépendent en grande partie du manque d'expérience des Russes et la fréquence des fractures à l'intérieur de la nappe, on est amené à sélectionner, à partir de ces données, des estimations moyennes de T extrêmement prudentes.

La quantité d'eau souterraine stockée a été calculée en multipliant le volume de l'aquifère et son coefficient de porosité, que des estimations prudentes fixent à 1%.

Les estimations de réapprovisionnement sont approximatives et devraient être revues au fur et à mesure que d'autres données sont disponibles (comme, par exemple, le résultat de l'utilisation des contrôles).

### 3.5.8 Capacité d'exploitation

Les diverses zones à l'intérieur de la zone d'étude où l'eau disponible pour l'irrigation et l'approvisionnement, sont indiquées sur la carte à une échelle au 1/200000 qui accompagne ce rapport intitulé "Exploitation potentielle de l'eau souterraine des aquifères profondes".

Les limites de chaque zone sont approximatives et l'eau en faible profondeur dans les sédiments quaternaires récents n'est pas mentionnée.

Le tableau 3.12 et la figure 3.22 indiquent les 7 zones de rendement du forage et 5 zones de réapprovisionnement du forage ainsi que la production qu'on peut espérer obtenir.

Zone de rendement	Rendement 1/sec.	Zone de Recharge	Recharge 1/sec.
1	50-100	A	480
2	20-60	B	250
3	20-40	C	890
4	10-30	D	890
5	0-20	E	90
6	note 3		•
7	note 4	Total	2600

note 3 : d'autres test de forage sont nécessaires pour évaluer la quantité des ressources

note 4 : la capacité est réduite soit parce que les rendements sont très bas, soit parce que les puits sont très profonds.

Les périmètres d'irrigation prévus à Serguine et Sidi Ladjel se trouvent sur l'aquifère D, tandis que le Ain Oussera se trouve sur l'aquifère C. Les puits pour Serguine sont sur le côté Est de Djebel Ben Hammad dans la zone de rendement 1 tandis que les puits de Sidi Ladjel et Ain Oussera sont dans la zone de rendement 2. Ainsi et suite à cette carte on a pu déterminer la carte hydrogéologique (potentiel d'exploitation de l'eau souterraine) du sous bassin versant Oued-touil-Aval figure 3.23.

### 3.5.9 Qualité de l'eau

On considère que les valeurs moyennes de qualité d'eau, comprenant des informations tirée des données disponibles, sont des repères suffisants pour analyser la situation générale.

Périmètre	Aquifère	Salinité ECW mmhos/cm	Adj.SAR	Chlor meq /l	HCO <sub>3</sub> meq/l	PH	CaCO <sub>3</sub> meq/l
A (Adjamaia)	Cr <sup>b</sup>	2.2	11	9.4	6.1	7.6	680
5 (Serguine)	J <sup>km</sup>	1.6	11	9.0	5.8	8.1	480
9 (El Idrissia)	N <sub>1</sub>	2.5	4	5.1	4.7	7.7	1560
10 (Ain Oussera)	Cr <sup>al</sup>	1.3	6	5.3	4.2	8.2	480

### **3.5.10 Considérations générales concernant l'eau de surface**

L'eau de surface est importante à la fois en tant que ressource secondaire d'eau et à cause du danger d'inondation qu'elle peut présenter. Dans leur majorité, les cours d'eau qui traversent la zone du projet ont une activité de courte durée et sont à sec pour des mois sans interruption. Plusieurs d'entre eux sont approvisionnés par des sources intarissables, notamment Oued-Ouerk, mais ces sources sont en général exploiter pour satisfaire les besoins locaux.

Une proportion importante de précipitations s'écoule et s'accumule au moyen de systèmes de drainages locaux. Les facteurs qui y contribuent sont les suivants :

- la prédominance d'orages de courte durée mais très violents.
- la tendance des sols à s'impériméabiliser et à former une croûte en surface sous l'impact des gouttes de pluie, ainsi que la végétation de l'eau en surface.

C'est ainsi que les inondations-éclair (les crues) sont courantes mais imprévisibles, ce qui reflète bien l'extrême instabilité des précipitations

Ce régime d'eau de surface présente des problèmes au niveau de l'organisation et des possibilités d'exploitation.

### **3.5.11 Les caractéristiques du captage des eaux**

Le drainage des eaux de surface se fait en général en direction nord-est. Le cours d'eau principal qui traverse la zone du projet est l'Oued Touil, formé de la confluence des Oueds Sebgag et Chellala, et prenant sa source dans l'Atlas saharien près d'Aflou. Les principaux affluents d'Oued Touil sont les Oueds Sakni, Zarech et Ouerk qui tous les trois coulent vers l'est. Le drainage est en général dense et bien développé et de nombreux cours d'eau secondaires y contribuent. Le Nahr Ouassel traverse la zone d'étude au nord. Il coule selon une direction nord-est et est alimenté par de nombreux petits affluents qui prennent naissance dans l'Atlas Tellien. Au sud-ouest de Boughezoul, le Nahr Ouassel se joint au Touil pour former l'Oued Chellif. Le Chellif se jette dans la Méditerranée près de Mostaganem sur la côte occidentale Algérienne.

Le lac salin de Zahraz Rharbi constitue la seule interruption au réseau total de drainage. Il se trouve entre Z'Malet el Emir Abdelkader et Hassi Bahbah juste en dehors de la limite de la région d'étude. Il est entendu que les deux barrages existants ont été construits dans le but de réduire les inondations. Ils se situent à Boughzoul (sur le Chellif) et à Sidi-Boudaoud (sur l'Ouerk).

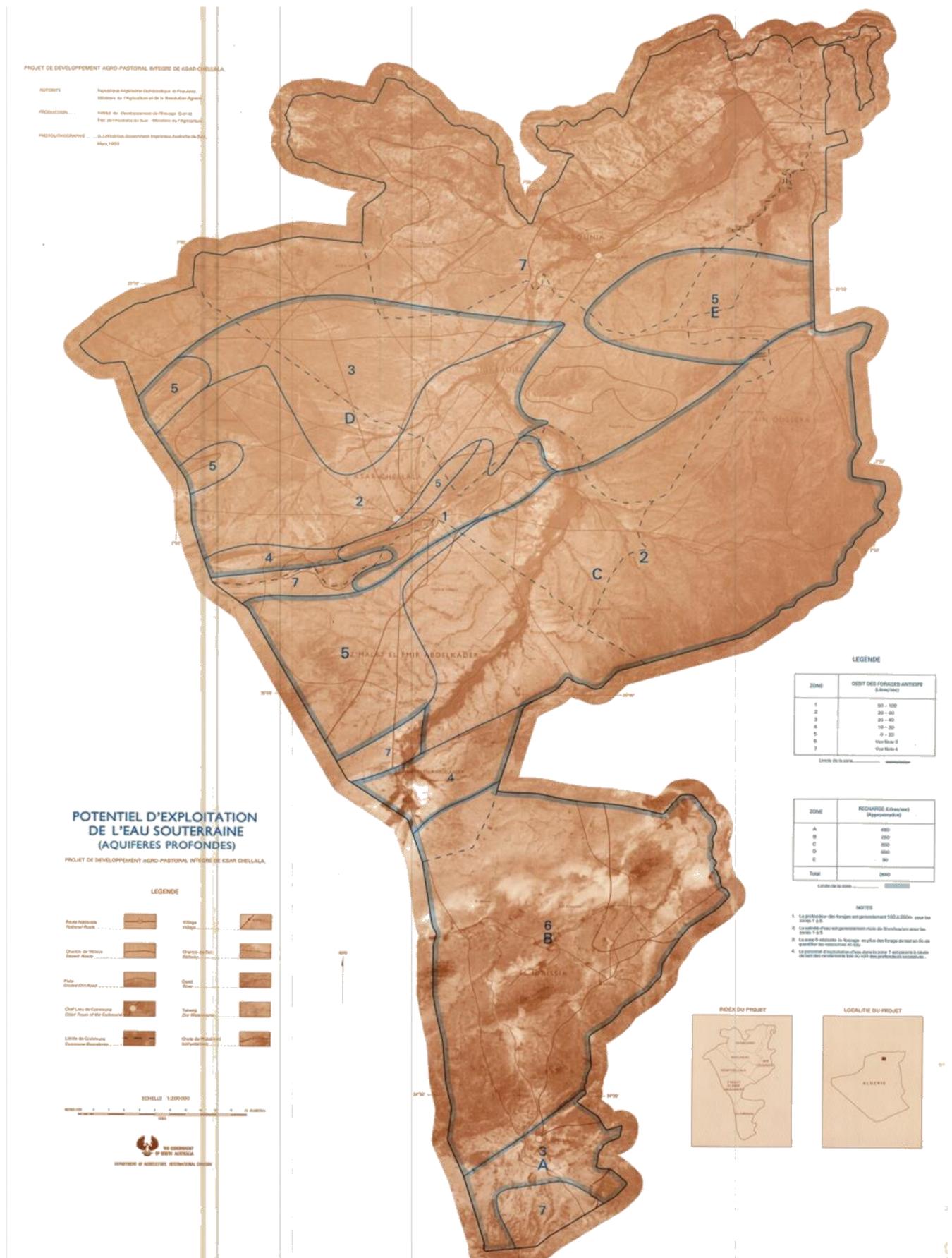
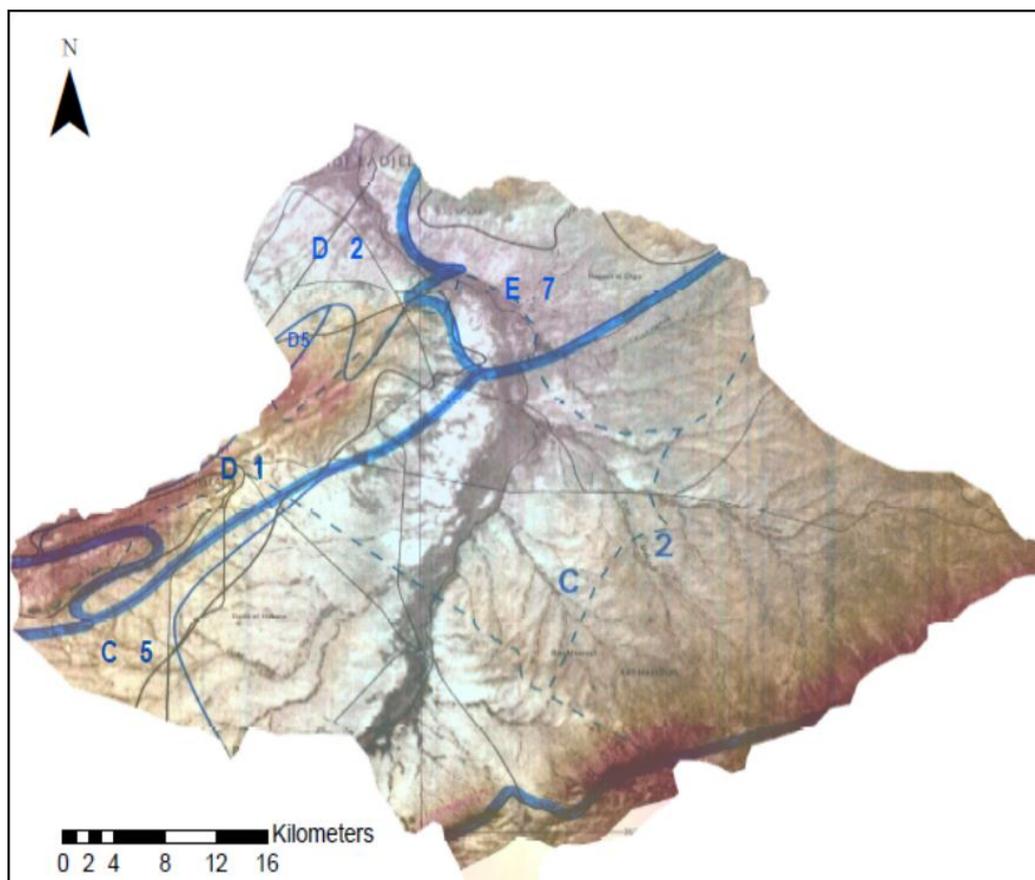


Figure 3.22 : Potentiel d'exploitation de l'eau souterraine (aquifères profondes)



Conception : Laouisset M.B.

Figure 3.23 : Carte hydrogéologique (potentiel d'exploitation de l'eau souterraine) du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

### Exploitation

Les principaux oueds sont une source potentielle d'eau. Il est essentiel de bien comprendre leurs caractéristiques hydrologiques afin de planifier des travaux et des ouvrages de protection contre les inondations dans la zone même des plaines d'inondations. Le Nahr Ouassel offre les meilleures perspectives de développement car c'est un oued intarissable. L'écoulement superficiel d'Oued-Touil est alimenté par les précipitations les plus abondantes de l'Atlas saharien. Les pertes dues à l'infiltration ont tendance à affaiblir le débit au niveau des canaux d'aval. Les canaux d'amont de l'Oued-Touil offrent, par conséquent, les meilleures perspectives de développement. Il est nécessaire de conduire d'autres investigations du point de vue hydraulique et sur le lieu des travaux avant de faire des propositions en vue de l'exploitation de l'eau de surface.

### **3.5.12 Collecte des eaux de surface**

La collecte des eaux de surface constitue une proposition intéressante en ce sens qu'elle remplit le double objectif de conservation du sol ainsi que de l'eau. On peut citer plusieurs systèmes généraux :

- Etalement de la crue se pratique là où des cours d'eau tarissables subissent de 3 à 4 inondations par an. On a besoin alors d'une certaine structure de diversion.
- La collecte de l'eau consiste à canaliser les ruissellements de surface directement à partir de captages naturels ou artificiels et à les diriger vers les zones cultivées situées plus bas.
- Les micro-captages
- concentrent le ruissellement local et le maintiennent dans une petite zone de culture. Les plantations d'arbres (un seul arbre par micro-captage) ont obtenu un succès remarquable.
- La conservation de l'eau in situ est le résultat de mesures de conservation du sol visant à réduire le débit et le volume du ruissellement. La végétation spontanée ou cultivée contribue aussi à ralentir le ruissellement. On prend comme exemples la plantation d'arbustes et d'herbes derrière les banquettes et l'ensemencement d'espèces qui poussent dans les terres de parcours.

La mobilisation de l'eau est réalisable là où la moyenne annuelle des précipitations hivernales dépasse 80 mm (Académie Nationale des Sciences, USA 1974) La faible capacité de rétention d'eau qui caractérise les sols de la zone du projet, s'ajoutant à l'instabilité des précipitations vont cependant provoquer d'énormes fluctuations dans les résultats d'une année à l'autre.

# **Chapitre IV**

## **Possibilités d'exploitation des énergies renouvelables dans les steppes algériennes Cas du sous bassin versant Oued-Touil Aval**

#### **4.1 Potentiel des Energies Renouvelables en Algérie**

La consommation énergétique de la plupart des pays n'est pas viable à long terme, et ce aussi bien sur le plan des ressources naturelles, des combustibles fossiles que du point de vue de l'environnement. Dans les régions rurales du monde en voie de développement, la situation est plus critique.

L'«énergisation» - quantitative et qualitative - de la chaîne de production alimentaire, sur la base de sources diversifiées et d'une meilleure utilisation de l'énergie commerciale, est une des clés de la sécurité alimentaire et de l'amélioration des conditions de vie des populations rurales.

Le défi à relever offre également des possibilités, en exploitant le potentiel qu'offrent les sources d'énergie renouvelables, les agro-écotechnologies et les arrangements institutionnels et financiers innovateurs, les zones rurales pourraient passer directement à des systèmes d'énergie plus durables et accéder à la sécurité alimentaire. Elles pourraient ainsi devenir un exemple pour d'autres secteurs de la société, aussi bien dans le monde en développement que dans les pays développés.

Dans le cadre de cette perspective de développement durable, l'Algérie doit nécessairement accroître et diversifier la disponibilité des ressources énergétique tels que les énergies renouvelables : énergie éolienne, solaire, etc... si, elle veut assurer les conditions de son développement. Cependant, la question de fond est de savoir comment cet accroissement indispensable devrait s'effectuer?, selon quelles modalités?, quelles rythmes? Et suivant quels choix? Or, l'Algérie éprouve de plus en plus de difficultés à assurer autant qu'elle le souhaite un approvisionnement efficace en énergie, à mobiliser les financements indispensables pour construire des systèmes énergétiques cohérents et les approvisionner. Dans un tel contexte, les perspectives de développement énergétique des zones rurales semblent à priori désespérées. Aussi, comment envisager, pour le siècle à venir, les contours de stratégies énergétiques "soutenable" pour le milieu rural? Quelles sont les bases de stratégies énergétiques "soutenables" c'est à dire économiquement efficaces, environnementalement viables, socialement équitables et contribuent à la réduction des disparités? Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique Mars 2011.

Cependant, même si les calculs de rentabilité économique restent toujours en faveur de l'énergie tirée des combustibles fossiles, l'utilisation de l'énergie éolienne devient de plus en plus effective dans un grand nombre de pays.

La première partie de ce chapitre est consacré à l'étude du vent et de l'énergie éolienne dans la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala, La fin du chapitre donne un aperçu sur l'énergie solaire en Algérie.

Les résultats de la caractérisation du vent ainsi que les données relatives à la détermination du potentiel de l'énergie éolienne dans la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala sont issus de l'étude (Etude et exploitation du gisement éolien pour le pompage d'eau en milieu steppique : Cas de la Région de Oued-Touil Ksar-Chellala, Algérie, Laouisset, 2008).

#### **4.2 L'étude du Vent et de l'Energie éolienne**

Les données utilisées pour le vent (le vent brut à 10 mètres du sol) sont fournies par la station météorologique professionnelle de Ksar-Chellala et ceci pendant la période concernée (1992-1998). Sept (07) ans de données sont suffisants pour prendre en considération la variabilité interannuelle du vent.

Les régions steppiques sont sous l'influence de plusieurs types de temps. En particulier, les systèmes dépressionnaires typiques (cyclone) qui parviennent généralement du nord-ouest de l'Europe au niveau de l'océan atlantique, et ceci pendant l'hiver et le début du printemps, caractérisant le mauvais temps et qui sont à l'origine des pluies. Ils engendrent, au niveau de notre région d'étude des vents de direction dominante ouest à nord-ouest qui ont respectivement les fréquences d'occurrence de 19.3% et 18.3%, avec une vitesse moyenne annuelle de 3.4 m/s, tableau 4.1, parfois les vents de direction nord à nord-est qui ont respectivement les fréquences d'occurrence 9.8% et 13.7% deviennent glaciaux. Ces derniers sont néfastes pour les jeunes pousses des pâturages qui sont gelées et risquent de réduire à néant les pousses vertes du printemps. Le contraire un anticyclone caractérisant le beau temps ou le vent est faible à modéré. Le deuxième type de temps qui marque ces régions, les systèmes nuageux orageux, c'est des formations nuageuses locales. Leur cyclogenèse se produit pendant la fin du printemps et le début de l'été et pendant l'automne. Ils engendrent des vents souvent violents, parfois ils occasionnent des chutes de grêle, qui sont néfastes pour les cultures arboricoles pendant la floraison. Le troisième type de temps relatif aux vents chauds et secs soufflant du sud ou du sud-ouest du Sahara, ces vents augmentent l'évapotranspiration de parcours et des parcelles agricoles, desséchant la végétation et le sol. Ils contribuent à l'aspect aride de la steppe. De plus sur ces sols peu protégés par une végétation discontinue qui est soumis au surpâturage et à la surexploitation, les vents enlèvent les particules fines les limons ne laissant que les éléments grossiers et caillouteux, ainsi par cette déflation ils accélèrent le processus de dégradation de la steppe.

Leur action thermique ; le vent le plus catastrophique est le sirocco sec et chaud venant du Sahara. Il souffle pendant 20 à 30 jours en moyenne sur ces régions surtout pendant les mois de juillet et août. Son effet est d'autant plus compromettant qu'il survient tôt sur les céréales et les jeunes pousses. Il fait baisser le degré hygrométrique de 60% à 20 %. Donc il est absolument nécessaire d'implantation des brises vents au niveau des vergers.

Les vents ont joué et jouent encore un rôle primordial dans le façonnement des reliefs et la formation des sols (érosion éolienne).

En revanche de l'action néfaste du vent, il est considéré comme une source d'énergies renouvelables. Au niveau des zones très éloignées du réseau électrifié, où les énergies renouvelables sont très compétitives par rapport à l'énergie tirée des combustibles fossiles, les agro-éleveurs de ces régions steppiques peuvent procurer l'exploitation du gisement éolien gisant dans ces régions. L'exploitation du gisement éolien se fait par des aérogénérateurs. Ces machines sont destinées particulièrement à couvrir les besoins énergétiques de pompage d'eau pour l'abreuvement des cheptels et/ou l'irrigation des parcelles agricoles.

#### **4.2.1 Sélection de la climatologie régionale du vent pour le site d'installation de l'aérogénérateur**

Cette étude présente des données relatives aux aspects météorologiques qui interviennent dans le choix des sites pour l'installation des petites et des grandes éoliennes.

La vitesse du vent mesurée dans une station météorologique située dans les régions steppiques est caractérisée essentiellement par deux facteurs importants :

- Les systèmes météorologiques synoptiques tels que les systèmes des dépressions qui se déplacent de l'Ouest vers l'Est et dont les dimensions sont de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres.
- La topographie locale environnante sur un rayon de l'ordre d'une dizaine de kilomètres de la station.

L'utilisation directe de la vitesse du vent mesurée pour le calcul des ressources éoliennes, conduit à des estimations qui ne sont en fait représentatives que de l'endroit où les mesures ont été effectuées. L'application des statistiques de vitesse de vent d'une station météorologique au calcul des ressources énergétique pour un site donné nécessite donc des méthodes d'extrapolation appropriée à l'endroit choisi. Le développement de ces méthodes a donné naissance à des modèles relativement sophistiqués permettant d'extrapoler horizontalement ou verticalement les données de vent et de pouvoir évaluer ainsi les ressources énergétiques éoliennes. Ces modèles sont basées sur les théories de l'écoulement de l'aire dans les basses couches de l'atmosphères et tiennent compte à la fois de l'influence des caractéristiques de la surface terrestre des effets dus à la présence d'obstacles autour de l'anémomètre de la station météorologique et des modifications de la structures du vent imposées par la variation de la topographie locale.

Le modèle utilisé dans cette étude est le modèle WASP (Wind Analysis and Application Program). Ce modèle a été développé par les chercheurs du Département de Météorologie et d'Énergie Éolienne du Laboratoire National de Risø Danemark.

La description climatologique et la classification d'un site particulier d'installation d'un aérogénérateur ne sont pas toujours simples. Autrement dit l'estimation de l'énergie moyenne contenue dans le vent au-dessus d'une vaste région – évaluation régionale - varie à la prévision de la production d'énergie annuelle moyenne d'une éolienne spécifique installée dans un site donné. Le choix d'un site requiert généralement des informations beaucoup plus détaillées que dans le cas d'une évaluation régionale. Ces deux applications font usage des concepts généraux de l'analyse topographique et de la climatologie régionale du vent.

Cependant, la procédure pour choisir le site d'installation d'un aérogénérateur comporte quelques-unes ou l'ensemble des étapes suivantes :

- Sélection appropriée de la climatologie régionale du vent
- Détermination de l'influence de la rugosité du terrain environnant
- Détermination de l'influence des obstacles avoisinants
- Détermination de l'effet orographique local
- Calcul de la distribution de Weibull

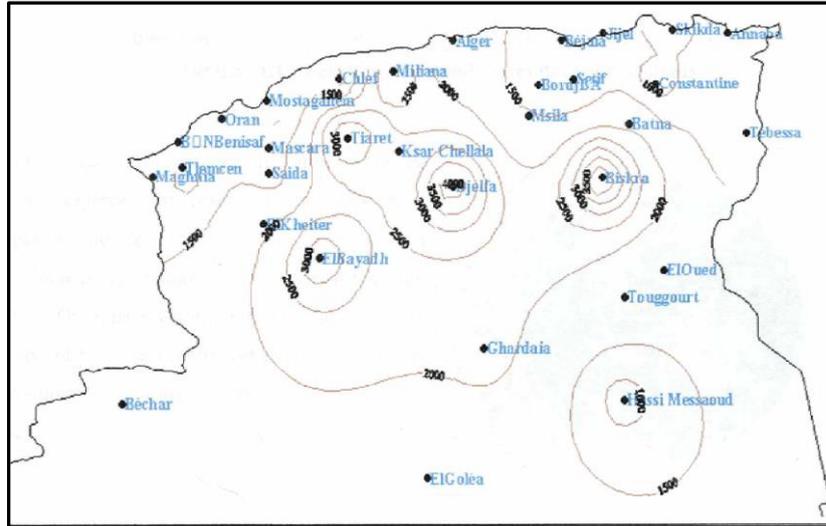
Le choix d'une climatologie régionale appropriée du vent pour le site d'installation de l'aérogénérateur choisi consiste en un choix des statistiques de la station météorologique la plus représentative. Il est pratique de choisir une station dont les conditions topographiques sont similaires à celles du site d'installation. Cette considération est particulièrement importante dans le cas des régions montagneuses et côtières.

La station choisie ne devrait pas être située à plus de 100 Km du site, dans la mesure du possible.

Il est recommandé que le site et la station sélectionnée soient situés sur des terrains aussi similaires que possible.

#### ➤ Climatologie régionale du vent

La figure 4.1 nous donne une idée sur le potentiel énergétique éolien disponible sur presque la moitié de l'Algérie. La station de Ksar-Chellala est mentionnée dans cette figure.



Source : Auteur

Figure 4.1 : Energie éolienne disponible à 10 mètres en (KWh/m<sup>2</sup>/an) Période : 1976 – 1988  
« Rugosité classe 1 »

### 4.3 Détermination du potentiel éolien de la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala

#### 4.3.1 Climatologie régionale du vent à la station météorologique de Ksar-Chellala

On détermine la climatologie régionale du vent de la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala à partir des mesures du vent de la station météorologique de Ksar-Chellala, ces données sont résumés sous forme d'histogrammes dans le tableau 4.1, la rose des vents de la station météorologique de Ksar-Chellala est représentée la figure 4.2. On utilise aussi les données qui décrivent la variation de la rugosité du terrain tableau 4.2 ainsi que l'inventaire des obstacles situés autour de la station tableau 4.3.

Cette climatologie régionale est obtenue en injectant ces données dans le modèle (WASP).

En plus de ces données, on utilise les données orographiques figure 4.3, sur un rayon de 10 Km autour de la station météorologique de Ksar-Chellala. La donnée d'entrée nécessaire est la topographie locale du terrain introduite dans le modèle WASP sous forme de courbes de niveau présent directement sur une carte topographique standard (cartes de Ksar-Chellala, type 1960, échelle 1/50000), l'opération effectuée sur ces cartes est la digitalisation de celles-ci. Suite à l'opération de digitalisation, on décompose les courbes de niveau en un ensemble de points, chaque un possède ces coordonnées cartésiennes x, y et z. On peut utiliser ces données sous forme de GRID pour construire un modèle numérique de terrain en trois dimensions de la région de Ksar-Chellala figure 4.3.

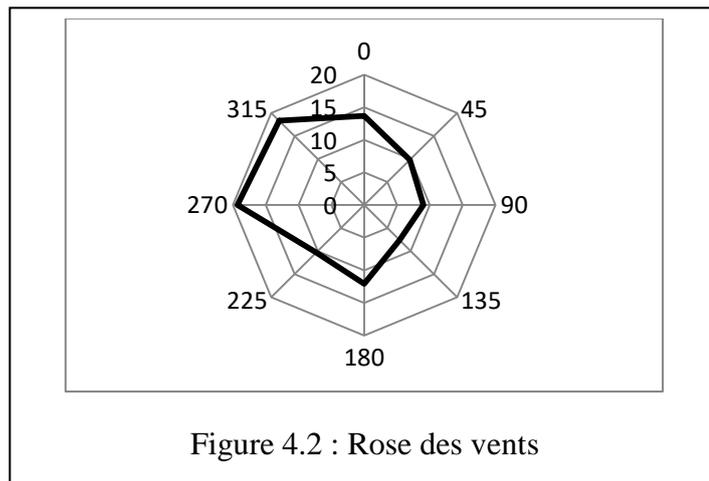
Cette climatologie régionale est présentée sous forme de tableaux (tableaux 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10) représentant les valeurs des paramètres de la distribution statistique de Weibull « A[m/s] » et « k » pour 8 secteurs, 3 hauteurs et 4 classes de rugosité.

En outre on donne également un résumé climatologique des données de base (brutes) utilisées, ainsi qu'une description sommaire des conditions de mesures (voir ci-dessous les tableaux 4.1, 4.3 et 4.4).

Tableau 4.1 : Statistiques des données du vent brut Hauteur de l'anémomètre : 10.0 Période : 01/01/92-31/12/98

Sect	Freq	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	K
0	13,7	449	0	20	38	73	85	114	62	48	74	22	8	4	2	5,1	1,46
45	9,8	630	0	14	47	68	70	82	37	17	25	8	3	0	0	2,5	0,95
90	9	682	1	17	37	51	51	63	40	29	24	4	2	0	0	1,9	0,82
135	7,6	812	1	7	24	31	35	37	16	10	15	8	1	2	0	0,6	0,54
180	12,1	508	1	15	28	53	52	79	59	45	83	40	21	9	8	4,9	1,19
225	10,3	596	0	13	37	49	58	72	47	38	51	19	13	5	2	3,3	0,98
270	19,3	319	1	16	51	80	90	132	108	65	81	37	12	3	4	6,4	1,9
315	18,3	337	1	11	41	64	79	130	91	68	112	42	15	8	2	6,6	1,89
Total	100	492	1	14	40	62	70	98	66	46	67	26	10	4	3	4,7	1,29

Source : l'Auteur



#### 4.3.2 Identification de la station

L'identification de la station comprend le nom de la station, ses coordonnées géographiques et sa hauteur par rapport au niveau moyen de la mer.

**Nom de la station :** Le nom de la station météorologique de Ksar-Chellala est utilisé dans le dictionnaire des stations du réseau synoptique d'observation météorologique de l'ONM.

- **Coordonnées géographiques**

La latitude et la longitude de chaque station sont données en degrés, minutes et secondes (habituellement la minute la plus proche).

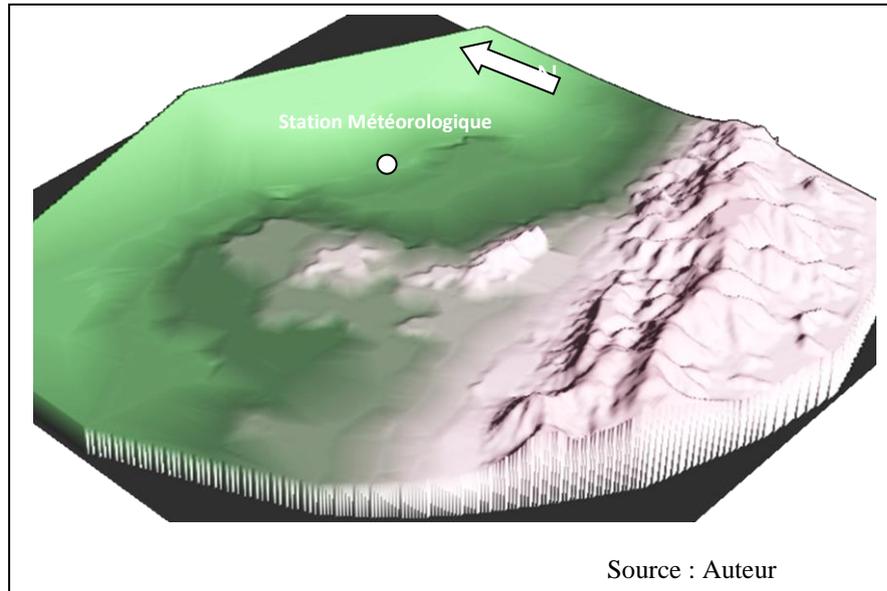


Figure 4.3 : Modèle numérique du terrain en trois dimensions de la région de Ksar-Chellala

- **Altitude**

L'altitude de la station, exprimée en mètres au-dessus du niveau moyen de la mer, se rapporte généralement à l'altitude de la cuvette du baromètre de la station météorologique.

- **Variation de la rugosité**

Les longueurs de rugosité en [m] attribuées à la surface du sol environnant la station sont présentées pour chacun des huit secteurs de direction. Les distances entre l'anémomètre et les points de discontinuité ainsi que les longueurs de rugosité correspondantes sont indiquées à l'intérieur de chaque secteur. De plus, les facteurs de correction de la vitesse du vent (prise en compte des effets d'obstacles) sont donnés dans la dernière colonne du tableau 4.4 de variation de la rugosité.

#### 4.4 Statistiques des données brutes

##### 4.4.1 Distribution des mesures de vent

On calcule les occurrences à partir des données de mesures de la vitesse et de direction du vent pour chacun des secteurs. La fréquence d'occurrence des vents pour chaque direction est exprimée pour mille. La hauteur [m] au-dessus du sol de l'anémomètre et la période d'observation retenue sont indiquées, ci-dessus, dans tableau 4.1.

La loi distribution de Weibull a été utilisée pour ajuster les distributions pour chaque secteur. Les valeurs des paramètres  $A$  en [m/s] et  $k$  sont présentées dans les deux dernière colonnes du même tableau.

• **Variation journalière et annuelle de la vitesse du vent (Tableau 4.2)**

On a déterminé la variation de la vitesse moyenne du vent à différentes heures de la journée et pour les 12 mois de l'année et ceci pour toute la période sélectionnée (8 ans). L'heure est exprimée en Temps Universel – heure TU- équivalent à l'heure GMT. En plus on a établi un graphique figure 4.7, qui représente à cette variation.

**4.4.2 Variation journalière et annuelle de la vitesse du vent**

Il s'agit dans ce paragraphe de décrire la figure 4.4 ci-dessous qui résulte du tableau 4.2 et qui nous donnent la variation journalière et annuelle du vent (données brutes) à 10 mètres de la station météorologique de Ksar-Chellala et ceci pendant la période concernée (1992-1998).

On remarque que le vent est relativement faible entre 00 heures et 9 heures et il ne dépasse pas la valeur de 3 m/s pour toute l'année. Après, il commence à se renforcer jusqu'à atteindre les valeurs de 4 à 6 m/s et plus, surtout à 18 heures et aux mois de juin et juillet. Si on suit la ligne d'isovaleur 4.50 m/s – valeur ou la majorité des éoliennes commencent à produire de l'énergie - on constate qu'elle coïncide avec les moments d'irrigation où se produit une évapotranspiration importante. En conséquence on peut dire que la région d'Oued-Touil Ksar-Chellala est favorable pour l'installation des éoliennes surtout pour des fins d'irrigation.

**4.4.3 Classification de la rugosité du terrain de la station météorologique de Ksar-Chellala**

La classification de la rugosité du terrain de la station météorologique de Ksar-Chellala consiste à attribuer des longueurs de rugosité correctes ou classes de rugosité aux divers types de terrain autour du point de mesure (anémomètre) figure 4.5 (secteur Nord). L'horizon est d'abord divisé en huit secteurs de 45° (degrés) chacun, et la classification est ensuite effectuée secteur par secteur. Le résultat de cette classification est donné par le tableau 4.3 qui récapitule la rugosité du terrain qui entoure la station météorologique de Ksar-Chellala jusqu'à un rayon de 5 Km.

Tableau 4.2 : Variation journalière et annuelle de la vitesse du vent

UTC	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Année
<b>0</b>	3	2	2,4	3,8	2,9	3,4	3,2	2,7	2,7	2,5	2,6	3	2,9
<b>3</b>	2,7	2,2	2,6	3,2	2,7	2,7	2,7	2,4	2,7	2,1	2,7	2,9	2,6
<b>6</b>	2,3	1,7	1,6	2,4	1,8	2,4	1,9	1,6	2	1,9	2,4	2,5	2,0
<b>9</b>	3	2,2	2,7	4,1	2,9	2,9	2,4	2,4	2,8	2,5	2,9	2,7	2,8
<b>12</b>	4,3	3,6	3,8	5,2	3,9	3,9	3,5	3,2	3,8	3,7	4,3	4,4	4,0
<b>15</b>	4,7	4,1	4,6	6,1	5,1	4,8	4,5	4,9	4,9	4,3	4,9	4,6	4,8
<b>18</b>	3,2	2,3	3,8	6	5,4	6	6,1	5,3	4,8	3,6	3,2	2,9	4,4
<b>21</b>	3,3	1,9	2,8	4	3,8	5	4,2	4,1	3,8	2,8	3	3,3	3,5
<b>jour</b>	3,3	2,5	3,0	4,4	3,6	3,9	3,6	3,3	3,4	2,9	3,3	3,3	<b>3,4</b>

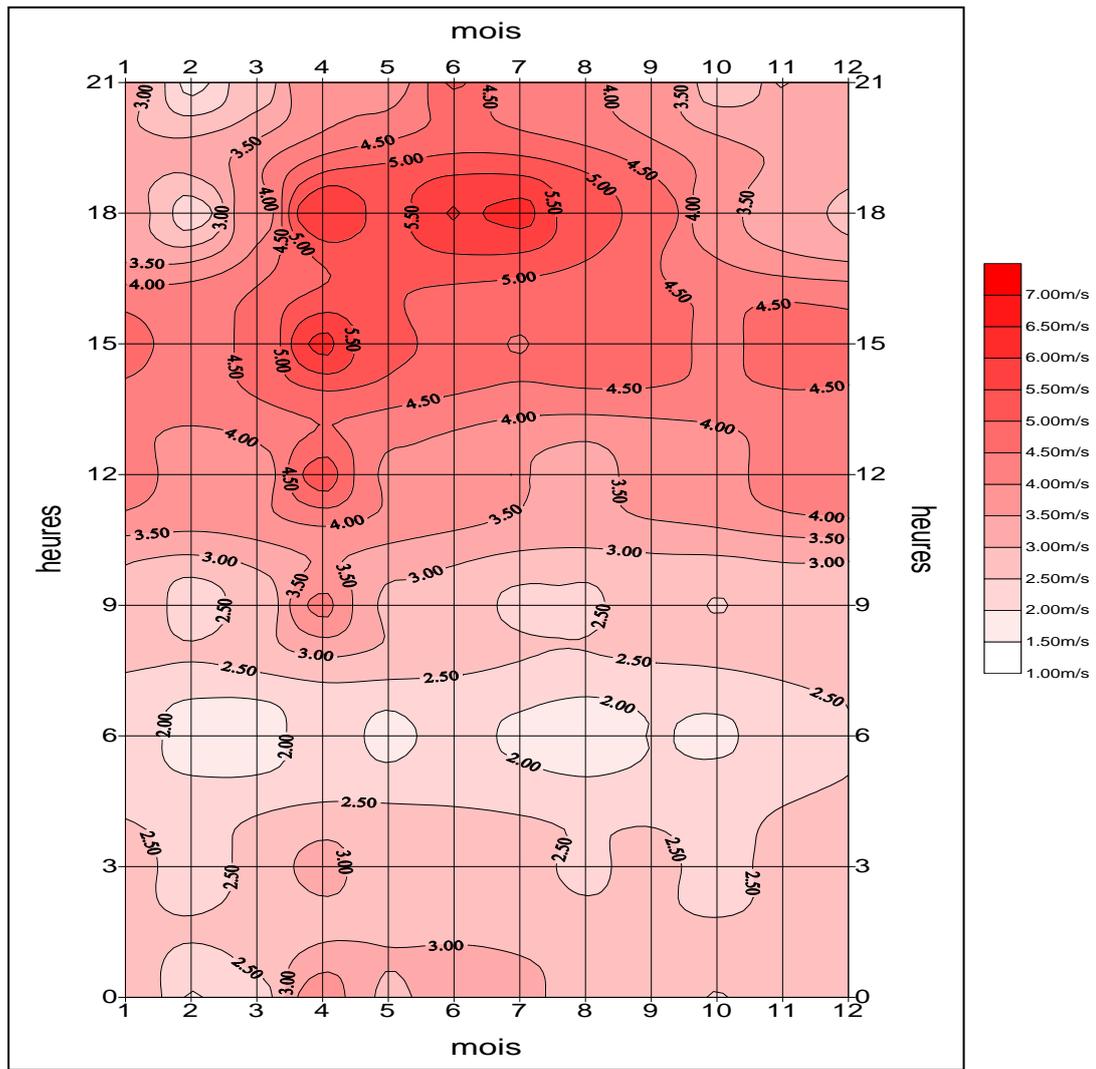


Figure 4.4 : Variation de la vitesse du vent moyenne brute selon les heures et les mois  
Station météorologique de Ksar-chellala : Période 92 – 98

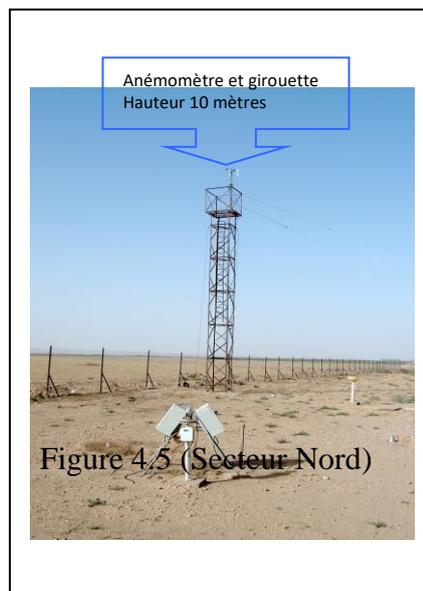


Tableau 4.3 : Rugosité du terrain qui entoure la station météorologique Ksar-chellala

Sect	$z_{01}$	$x_1$	$z_{02}$	$x_2$	$z_{03}$	$x_3$	$z_{04}$	$x_4$	$z_{05}$	$x_5$	$z_{06}$	Parc (%)
0	0.007	5000	0.007									
45	0.007	1500	0.05	200	0.007							
90	0.007	5000	0.007									
135	0.007	250	0.03	200	0.007							
180	0.007	300	0.03	200	0.007							-0.1
225	0.007	2500	0.05	700	0.007							-3.5
270	0.007	5000	0.007									-6.6
315	0.007	2000	0.05	500	0.007							-0.6

Avec  $Z_{0i}$  et  $x_i$  en mètre

#### 4.4.4 Inventaire des obstacles

Dans le modèle (WASP) on a besoin de prendre en considération l'effet des obstacles qui entourent l'anémomètre et ceci pour différents angles sur un rayon de 250 mètre, donc il faut faire un inventaire de ces obstacles (figure 4.6 et 4.7) sous forme d'un tableau. Le tableau 4.4 décrit les différents obstacles qui entourent le mât de l'anémomètre.



Figure 4.6: Vue de dessus des obstacles qui entourent l'anémomètre

Tableau 4.4: Description des obstacles qui entourent l'anémomètre de la station météorologique

N°obs	$\alpha_1$	$R_1$	$\alpha_2$	$R_2$	$H$	$d$	$P$
1	307	25	316	32	4	11	0.00
2	215	57	211	60	4	5	0.00
3	223	54	218	56	4	5	0.00
4	231	51	232	61	4	7	0.00
5	267	55	260	84	9	14	0.00
6	216	77	221	91	4	11	0.00
7	229	71	231	85	4	11	0.00
8	242	68	243	83	4	11	0.00
9	250	87	253	87	3	4	0.00

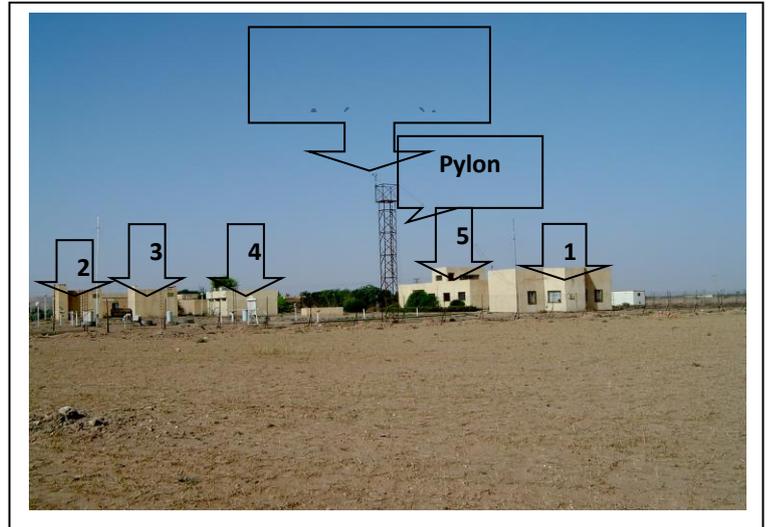


Figure 4.7 : Vue de la face Est de la station  
Météorologique de Ksar-Chellala

#### 4.5 Tableaux climatologiques

Tableau 4.5 : Classe de rugosité "0"

$z$	0	45	90	135	180	225	270	315	Total
10	6,7	2,8	2,7	1,0	6,3	4,4	8,8	7,9	5,8
	1,736	1,123	0,959	0,619	1,369	1,127	2,197	2,248	1,39
25	7,3	3,1	3,0	1,1	6,8	4,8	9,6	8,6	6,4
	1,79	1,15	0,99	0,63	1,39	1,15	2,25	2,32	1,42
50	7,9	3,4	3,3	1,2	7,3	5,2	10,3	9,3	6,9
	1,83	1,18	1,01	0,64	1,43	1,18	2,31	2,38	1,40
<b>Fréq</b>	13,7	9,8	9,0	7,6	12,1	10,3	19,3	18,3	100

Tableau 4.6 : Classe de rugosité "1"

$z$	0	45	90	135	180	225	270	315	total
10	4,4	1,9	1,7	0,6	4,2	2,8	6,0	5,3	3,9
	1,44	0,97	0,82	0,55	1,20	0,98	1,89	1,88	1,23
25	5,3	2,3	2,1	0,7	5,0	3,4	7,1	6,4	4,7
	1,55	1,04	0,87	0,57	1,25	1,03	2,01	2,03	1,29
50	6,2	2,8	2,6	0,9	5,8	4,1	8,2	7,4	5,5
	1,74	1,16	0,97	0,60	1,35	1,13	2,21	2,28	1,40
<b>Fréq</b>	13,7	9,8	9,0	7,6	12,1	10,3	19,3	18,3	100

Tableau 4.7 : Classe de rugosité "2"

z	0	45	90	135	180	225	270	315	Total
10	3,86	1,64	1,49	0,51	3,66	2,47	5,18	4,61	3,4
	1,459	0,975	0,826	0,557	1,217	0,982	1,896	1,881	1,24
25	4,8	2,07	1,91	0,65	4,52	3,1	6,38	5,69	4,2
	1,561	1,037	0,877	0,576	1,271	1,037	2,01	2,014	1,30
50	5,68	2,51	2,34	0,82	5,3	3,71	7,44	6,68	5,0
	1,725	1,139	0,955	0,607	1,357	1,119	2,189	2,229	1,39
<b>Fréq</b>	13,7	9,8	9,0	7,6	12,1	10,3	19,3	18,3	100

Tableau 4.8 : Classe de rugosité "3"

z	0	45	90	135	180	225	270	315	Total
10	2,99	1,31	1,2	0,44	2,84	1,98	4,03	3,6	2,7
	1,443	0,986	0,842	0,576	1,209	1,006	1,893	1,9	1,25
25	3,96	1,76	1,63	0,61	3,74	2,65	5,29	4,74	3,5
	1,529	1,041	0,885	0,596	1,26	1,053	1,994	2,014	1,30
50	4,82	2,18	2,04	0,78	4,52	3,26	6,36	5,73	4,3
	1,658	1,123	0,951	0,627	1,33	1,127	2,143	2,189	1,38
<b>Fréq</b>	13,7	9,8	9,0	7,6	12,1	10,3	19,3	18,3	100

Tableau 4.9 : les valeurs calculées de la vitesse moyenne [m/s] et de la puissance totale moyenne du vent [W/m<sup>2</sup>] (à 800m d'altitude, avec T = 15°C, P=1013.25mb au niveau de la mer, ρ=1.111Kg/m<sup>3</sup>)

Z	Classe 0		Classe1		Classe 2		Classe3	
10	5,28	252	3,64	103	3,17	67	2,51	33
25	5,80	324	4,34	159	3,87	111	3,23	64
50	6,28	418	5,00	212	4,55	162	3,92	104

#### 4.6 Energie Solaire

L'Algérie est parmi les pays les mieux dotés en ressources solaires au monde figure 4.9. L'Algérie reçoit près de 3000 heures d'ensoleillement par an figure 4.10 et une irradiation variant entre 4 et 7 kWh/m<sup>2</sup>/jour figure 4.11.

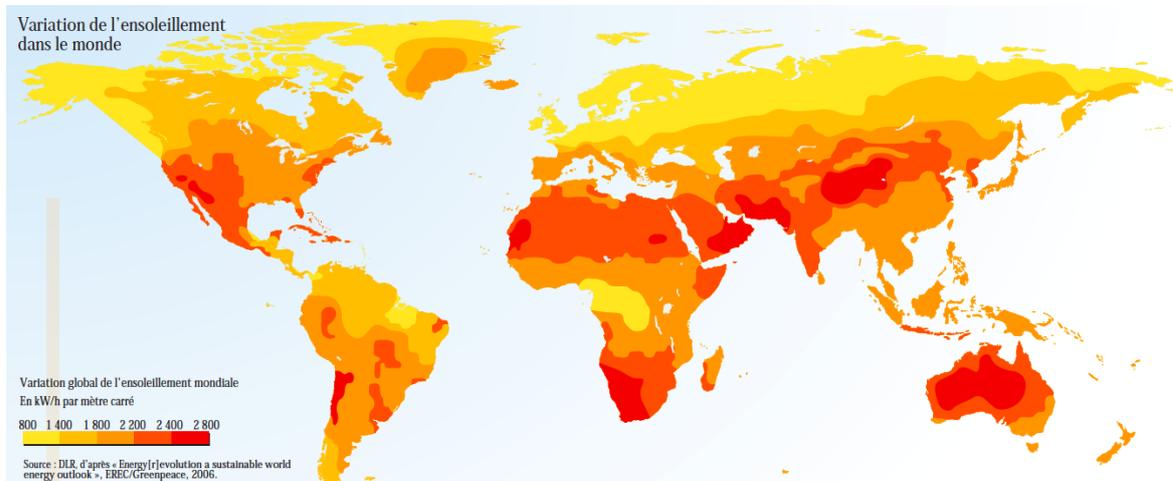


Figure 4.8 variation de l'ensoleillement dans le monde

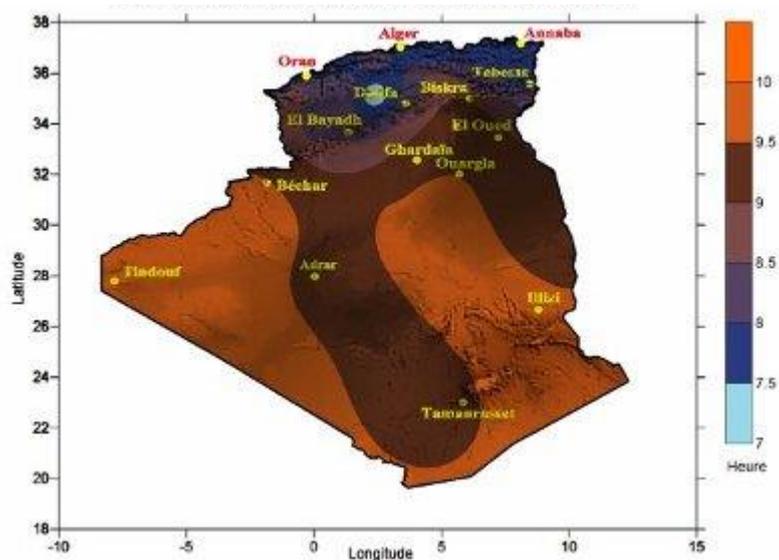


Figure 4.9 : Durée d'insolation moyenne en heures (10 ans, 48 sites)

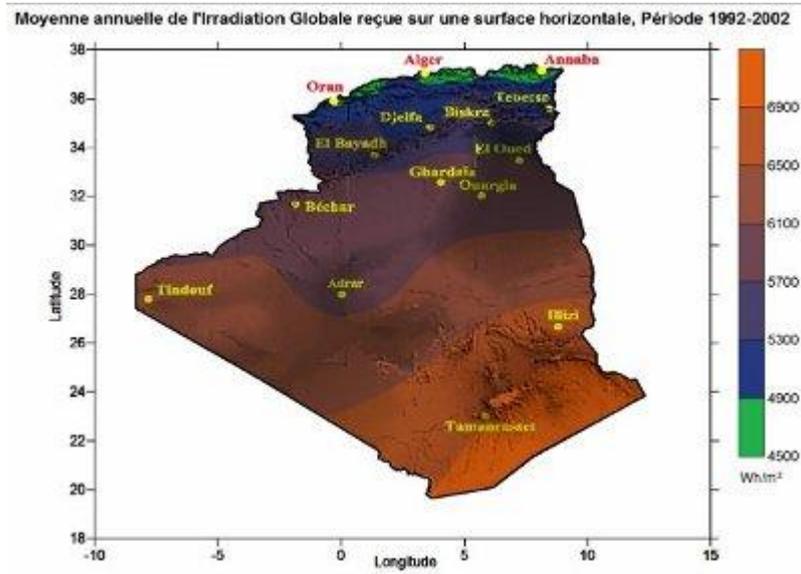


Figure 4.10 : Estimation de l'irradiation globale sur une surface horizontale Wh/m<sup>2</sup>

# Chapitre V

## **Cartographie diachroniques des changements dynamiques du sous bassin versant Oued-Touil-Aval à l'aide des images TM et OLI\_TIRS de Landsat**

## 5.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude (étude diachronique) des changements dynamiques de l'occupation et d'utilisation du sol du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval par le biais des techniques de la télédétection et des SIG et ceci afin de détecter les changements d'occupation et d'utilisation du sol au cours du temps et en conséquence d'examiner l'état de dégradation du sol. Cette étape est primordiale pour établir un schéma d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral de notre région d'étude qui présente l'objectif principal de cette thèse.

Selon (Maniere, 1987), la détection et l'identification des changements, apparaissant à la surface de la terre, constituent l'une des préoccupations essentielles pour les scientifiques et les gestionnaires impliqués dans la compréhension et la gestion des écosystèmes naturels et artificiels. Cependant, ces dernières années, on assiste à un véritable changement dynamique de la steppe caractérisé surtout par la dégradation des parcours de la végétation spontanée en particulier (*Stipa tenacissima*, *Artemisia herba Alba* et *Lygeum spartum*). Comme on a vu dans le chapitre I, cette dégradation revient à la conjugaison des facteurs naturelle en particulier les différentes formes de sécheresses et le facteur anthropozoïque. Suite aux différentes formes de dégradation de ces parcours on risque d'entraîner la disparition partielle ou totale des parcours steppiques jusqu'à un état de non résilience, le cas de la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala c'est un exemple éloquent de ce qui se passe dans la steppe d'une façon générale. Cependant, la localisation dans l'espace et dans le temps des différents secteurs en mutation les plus significatifs permet aux spécialistes de l'aménagement du territoire et aux responsables locaux de bien comprendre ces différentes mutations socio-spatiales qui affectent cette région de l'Algérie profonde.

De ce fait, le recours aux données de télédétection est primordial afin de dresser des bilans et des hypothèses fiables sur la dégradation des parcours. Dans ce contexte les images des données satellitaires et *multidates* constituent une excellente source d'information.

Selon (Bensaid, 2006), la carte d'occupation du sol reste un document nécessaire mais insuffisant pour l'appréhension de l'évolution rapide du phénomène de dégradation du sol. En effet, la surveillance régulière de ce phénomène sur de longues périodes en utilisant les imageries satellitaires peut mieux évaluer le mécanisme de dégradation des parcours steppiques.

## 5.2 Méthodologie

Les méthodes de détection des changements dynamiques sont généralement soumises à des niveaux de contraintes : radiométrique et spatiale. Les conditions d'éclairement et d'atténuation atmosphérique sont très variables dans le temps et dans l'espace. Les images nécessitent donc obligatoirement des corrections radiométriques et atmosphériques, afin d'homogénéiser les données multispectrales des images *multidates* utilisées (Bensaid, 2006).

La méthodologie adoptée pour réaliser ce travail est basé sur l'élaboration des cartes d'occupation et d'utilisation du sol du sous bassin versant Oued-Touil-Aval par le traitement des images satellites LANDSAT couvrant la zone d'étude et ce pour deux dates avec un intervalle de 7 ans. Deux scènes Landsat ont été prises pour permettre cette étude diachronique. Les images LANDSAT correspondant aux printemps des années choisies pour mieux apprécier le comportement de couvert végétal. Un seule type d'année (année normale) qui a été déterminé sur la base d'une étude de normalité d'une série de donnée pluviométrique de 23 ans (1993-2012) de la station météorologique de Ksar-Chellala représentative de la région d'étude. L'étude de normalité est déjà faite dans le chapitre IX « Détermination des besoins en eau des cultures fourragères » qui a fait l'objet d'une publication international. Le type d'année qui a été pris en considération est représenté par deux années normales (2007 et 2014).

La méthode de la classification non supervisée a été adoptée suivant l'algorithme ISOCLUST sous environnement IDRISI. Suite à la carte d'occupation de l'étude australienne de 1983 et ma connaissance du terrain, cinq (05) classes d'occupation de sol et d'utilisation des terres étaient considérées.

La méthodologie adaptée est composée de deux principales parties :

Élaboration des cartes d'occupation du sol et étude de la dynamique de l'occupation et d'utilisation du sol. La figure 5.1 ci-dessous montre les principales étapes suivies pour réaliser ce travail.

### **5.3 Choix des images satellites**

Les images Landsat\_5 et Landsat\_8 correspondant respectivement aux printemps des années 2007 et 2014 ont été choisies pour mieux apprécier cette dynamique d'occupation et d'utilisation du sol.

#### **5.3.1 Inventaire des Images Landsat**

Un inventaire a été fait par vérification sur *USGS Global Visualisation* des images Landsat disponibles. Deux scènes se sont révélées disponible pour le type d'année précitée (Tableau 5.1). Le tableau 5.2 montre les caractéristique radiométriques des bande spectrales des deux plateformes Landsat8 / OLI et Landsat\_5 / TM. Les bandes utilisées pour le classement de ces images sont les six bandes en surbrillance jaune.

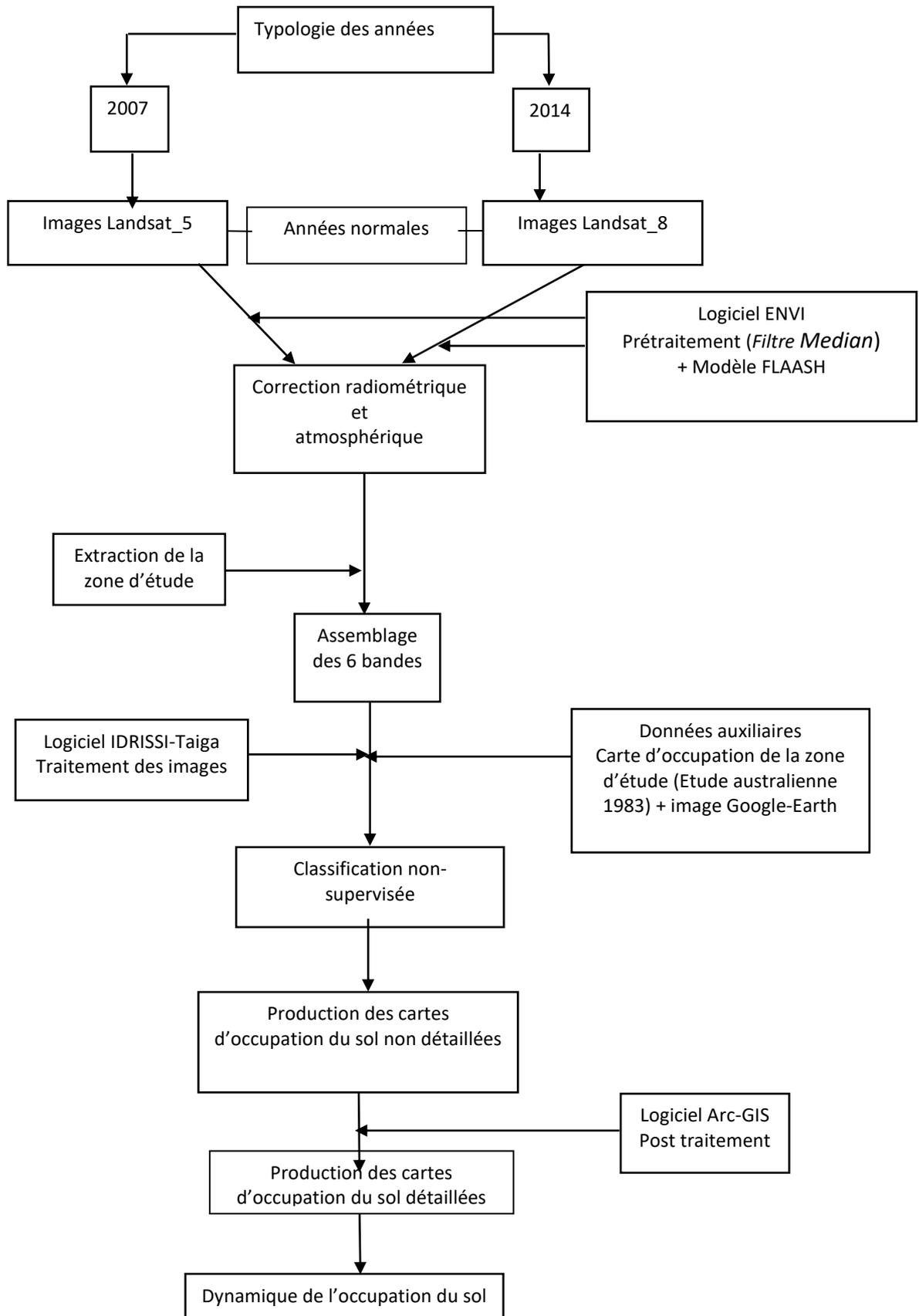


Figure 5.1 : Organigramme de la méthodologie suivie pour l'étude de la dynamique de l'occupation et d'utilisation du sol pour le sous bassin versant Oued-Touil-Aval

### 5.3 Choix des images satellites

Les images Landsat\_5 et Landsat\_8 correspondant respectivement aux printemps des années 2007 et 2014 ont été choisies pour mieux apprécier cette dynamique d'occupation et d'utilisation du sol.

#### 5.3.1 Inventaire des Images Landsat

Un inventaire a été fait par vérification sur *USGS Global Visualisation* des images Landsat disponibles. Deux scènes se sont révélées disponibles pour le type d'année précitée (Tableau 5.1).

Le tableau 5.2 montre les caractéristiques radiométriques des bandes spectrales des deux plateformes Landsat8 / OLI et Landsat\_5 / TM. Les bandes utilisées pour le classement de ces images sont les six bandes en surbrillance jaune.

Tableau 5.1: Scènes d'images Landsat disponibles couvrant le sous bassin versant Oued-Touil-aval

Date	Satellite	ID	Couverture Nuageuse	Qualité	Capteur
24 mars 2007	Landsat_5	LT51960362007083MPS00	0	9	TM
11 Mars 2014	Landsat_8	LC81960362014070LGN00	0	9	OLI

Tableau 5.2 : Les bandes spectrales de l'instrument TM et OLI TIRS

Bandes spectrales	Longueur d'onde (µm)		Résolution (m)
	Landsat8 / OLI	Landsat_5 / TM	
Bande 1 – Aérosols	0,433 - 0,453		30
Bande 2 – Bleu	0,450 - 0,515	0,45-0,52	30
Bande 3 – Vert	0,525 - 0,600	0,52-0,6	30
Bande 4 – Rouge	0,630 - 0,680	0,63-0,69	30
Bande 5 - Infrarouge proche	0,845 - 0,885	0,76-0,9	30
Bande 6 - Infrarouge moyen 1	1,560 - 1,660	1,55-1,75	30
Bande 7 - Infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300	2,08-2,35	30
Bande 8 – Panchromatique	0,500 - 0,680		15
Bande 9 – Cirrus	1,360 - 1,390		30

### 5.4 Correction radiométrique et atmosphérique

En télédétection, l'information concernant la surface de la terre est le rayonnement électromagnétique. Les mesures satellitaires, faites au niveau du capteur embarqué sur un satellite, sont généralement très difficiles à exploiter pour un processus d'interprétation des images, puisque les propriétés du rayonnement sont perturbées par l'atmosphère au cours du double trajet : soleil - terre et terre - capteur. La propagation du signal dans l'atmosphère et les caractéristiques propres du capteur introduisent une distorsion dans la mesure radiométrique. La couverture nuageuse rend difficile en effet l'acquisition de mesures régulièrement réparties dans le temps. Dans une étude *multidates* ou un suivi dynamique régulier d'un phénomène par télédétection, il est opportun de

corriger les images radiométriquement, car ces dernières sont prises dans des conditions de prise de vue très différentes (éclairage solaire, coefficient de calibration, angle zénithal, angle azimutal, etc.) qui changent au cours du temps.

#### 5.4.1 Prétraitements des images Landsat

Avant l'application des méthodes de détection des changements qui affectent le milieu, les images ont subi des traitements d'amélioration radiométrique et atmosphérique.

Les Prétraitements et traitements des données s'est réalisés sous environnement d'ENVI 5.1 et IDRISI Taïga (2009). Les images satellitaires acquises sont déjà corrigées et géoréférencées dans le système de coordonnées UTM WGS 84.

##### Étape 1 : Élimination du bruit aléatoire

Les pixels impairs qui ont un faux DN surgissent fréquemment dans les images (en particulier. si elles sont brouillées). Ils peuvent être supprimés par un filtrage spatial. Par définition, ces défauts peuvent être identifiés par leurs différences marquées de DN par rapport aux pixels adjacents dans la bande affectée. Les pixels bruités peuvent être remplacés en les substituant par une valeur moyenne des DN voisins. Des fenêtres mobiles de 3×3 ou 5×5 pixels telles que le filtre Médian ou le filtre *Adaptive Box* sont utilisées dans de telles procédures. (Eastman et al., 2001) suggèrent que le filtre Médian est excellent pour l'élimination du bruit aléatoire. En effet. le module *Convolutions and Morphology* dans le menu *Filter* a permis d'éliminer le bruit aléatoire en se basant sur un filtre Médian de dimension 3×3.

##### Étape 2: Correction atmosphérique

La correction des images de télédétection des effets atmosphériques est faite sous environnement ENVI 4.8 par le module *FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters* qui se trouve dans le sous menu *Calibration Utilities* du menu *Preprocessing*.

Premièrement on doit commencer par la conversion des valeurs *Digital Numbers* (DN) des lignes des bandes de l'image Landsat en radiances calibrées et le format des bandes en sortie est de type band-interleaved-by-line (BIL), le module *landsat-calibration - calibration utilities - preprocessing* dans le menu *Basic-tools* a permis la conversion.

Deuxièmement on applique le modèle atmosphérique pour les deux images mais en prend l'exemple de l'image «LT51960362007083MPS00 du 24 mars 2007», figure 5.2. Le résultat c'est une image en *reflectance* non pondérée et d'après les statistiques de cette image, les valeurs de la réflectance de la bande b1 varie de -1557 à 5430, donc pour rendre les valeurs de la réflectance comprise entre 0 et 1 on doit appliquer une équation de pondération par le module *Band Math* dans le menu *Basic Tools*, on remplace b1 par chaque bande.

Equation de pondération :  $(b1 \text{ le } 0) * 0 + (b1 \text{ ge } 10000) * 1 + (b1 \text{ gt } 0 \text{ and } b1 \text{ lt } 10000) * \text{float}(b1) / 10000$

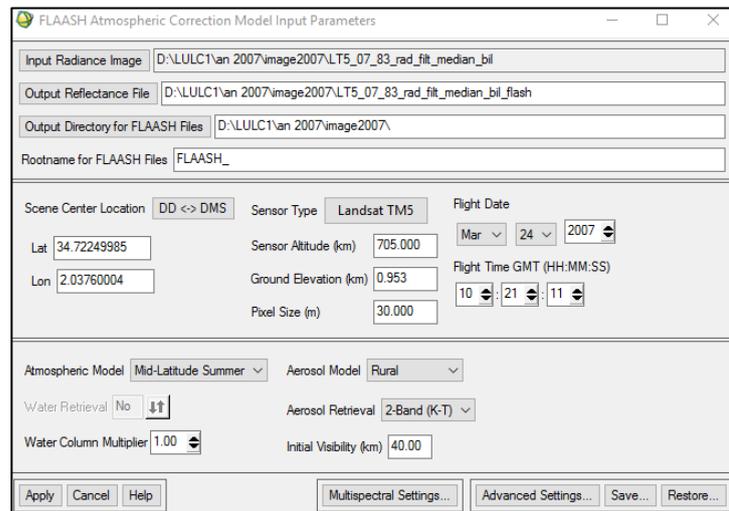


Figure 5.2 : Fenêtre du module correction atmosphérique (Cas de l'image LandsatLT51960362007083MPS00)

Après application du *shapefile* du bassin versant Oued-Touil-Aval sur les six bandes réflectances on obtient six bandes réflectances spécifiques au bassin versant Oued-Touil-Aval figure 5.3 (band1, image B) avec application d'une palette de couleur de l'ENVI 4.8. En plus de la différence des valeurs des pixels des deux images (image A= DN, image B=réflectance) et si on observe les détails des deux images on remarque l'image « B » est plus claire que l'image « A » suite à l'application du modèle de la correction atmosphérique.

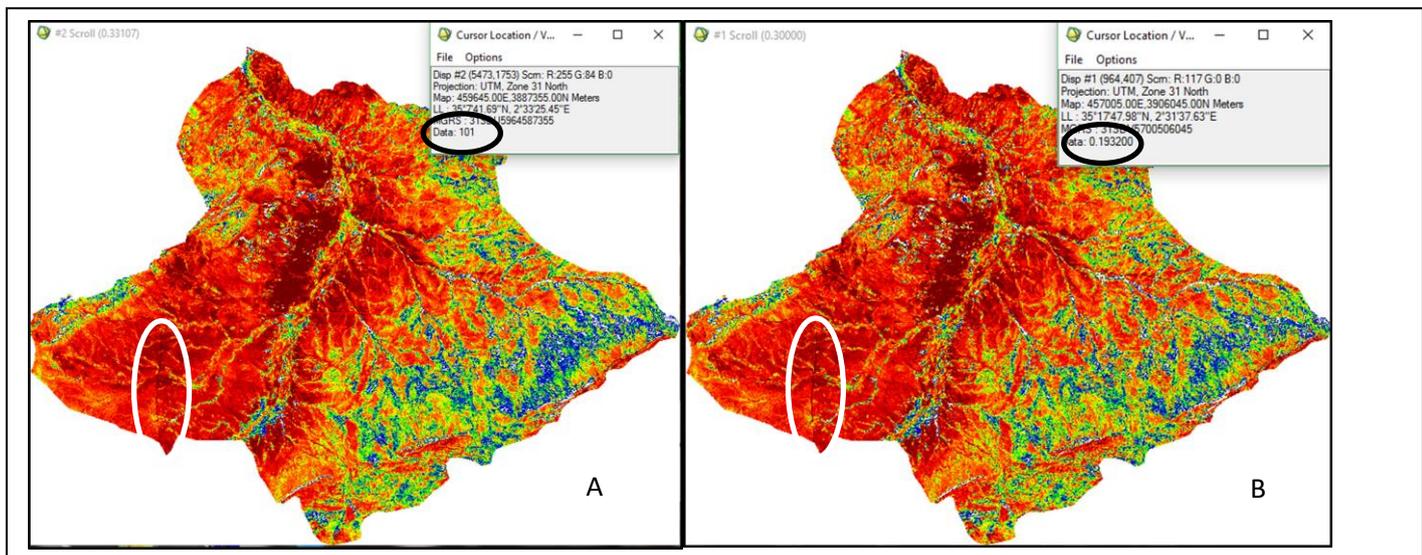


Figure 5.3: Image avant (A) et après (B) la correction atmosphérique de la 1<sup>ère</sup> bande Landsat TM 2007 du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

### 5.4.2 Traitement des images Landsat

Cette partie se révèle décisive car indispensable pour l'acquisition des résultats.

#### a) Classification

Compte tenu de la documentation disponible et des connaissances du terrain. Nous avons opté pour la classification non-supervisée. Des résultats probants ont été obtenus grâce à cette technique. Les travaux de (Steven et *al.*, 1995),(Latifovic et *al.*, 2004),(Sarr, 2009) pour ne citer que ceux-là peuvent en témoigner.

Pour la classification des images on a utilisé le logiciel IDRISI, l'algorithme *ISOCLUST* dans le sous menu *Hard Classifiers* du menu *Image Processing* a été utilisé pour la classification. C'est un processus itératif d'auto-organisation. Classificateur non supervisé basé sur un concept similaire à la routine bien connue *ISODATA* de Ball et Hall (1965) et les routines de grappes technologiques comme les procédures *H-means* et *K-means*. Pour ce classement on a pris en considération uniquement les six bandes précitées dans le tableau 5.2.

#### b) Nombre de classe

Sur la base des cartes de végétation et d'utilisation du sol des communes de Ksar-Chellala, Ain-Ouessra, Sidi-Ladjel, Zmllet-Emir-Abdelkader, Idrissiade 1983 de l'étude australienne et de la visualisation du bassin versant à partir de *Google Earth*, ainsi que l'image dans le visible du sous bassin versant Oued-Touil-Aval figure 5.5, le nombre de classe d'occupation de sol pour chaque image a été fixé à cinq afin d'aborder aisément les études multi-temporelles.

On a constaté que ces cartes de végétation et d'utilisation du sol étaient dépourvues des coordonnées géographiques ainsi que leurs projections! En plus de ça, pour une même carte ils ont utilisés deux ou trois fond de cartes topographiques d'échelle différente, mais toujours dépourvues des coordonnées géographiques. Dans ces conditions on a essayé d'utiliser des techniques de cartographie pour géoréférencer ces cartes puis on a effectué un mosaïquage de ces 5 cartes de végétation et d'utilisation du sol et avec l'application d'un masque (limites du sous bassin versant Oued-Touil-aval) ça abouti à une carte de végétation et d'utilisation du sol géoréférencé de ce bassin figure 5.4. Le logiciel utilisé pour cette opération est l'Arc-GIS 9.2.

Suite à cette technique de classification on a abouti à deux cartes d'occupation et d'utilisation du sol du sous bassin versant Oued-Touil-Aval et ceci pour l'année 2007 figure 5.5 et pour l'année 2014 la figure 5.6.

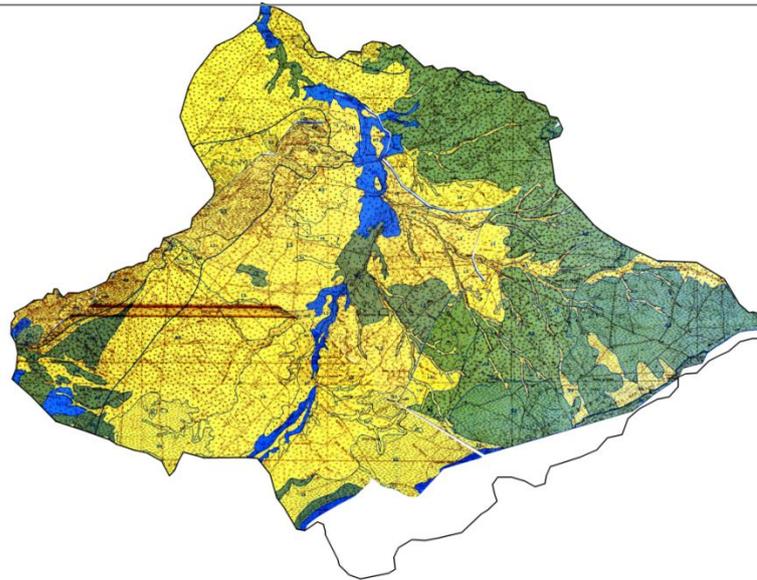
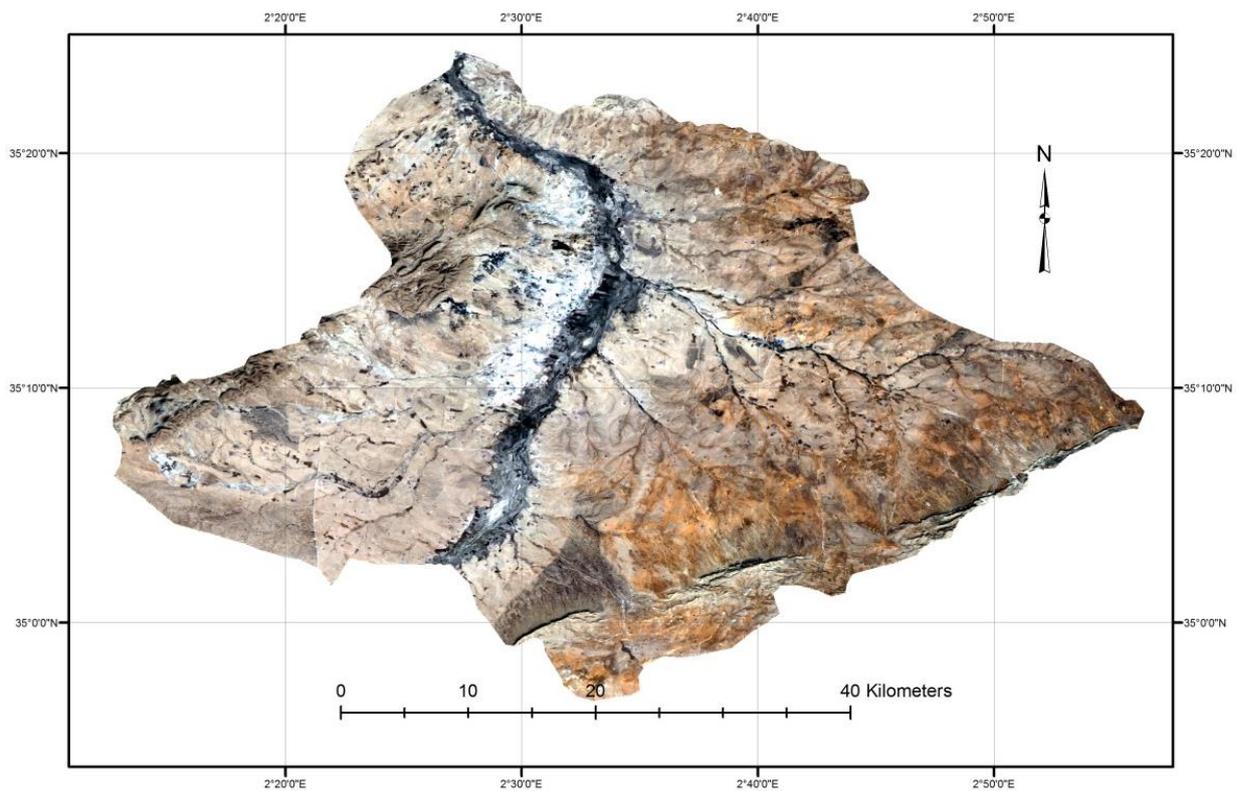


Figure 5.4 : Carte de végétation de 1983 de l'étude australienne



Conception : Laouisset M. B.

Figure 5.5 : Image dans le visible du sous bassin versant Oued-Touil-Aval  
Composition en couleur naturelle (bande 1,2,3 RVB)

### c) Cartes d'occupation et d'utilisation de sol

#### 1. Années Normales 2007 et 2014

La figure 5.7 et la figure 5.8, ci-dessus, représentent les cartes d'occupation et d'utilisation de sol du sous bassin versant Oued-Touil-Aval des deux années normales 2007 et 2014. L'analyse de ces cartes montre une couverture végétale du sol et sont caractérisée par la présence de la céréaliculture notamment au niveau des zones d'épandage des crues. Suite à la carte de végétation de 1983 de l'étude australienne on a observé qu'il y a quatre espèces d'association végétales dominantes au niveau des parcours du sous bassin :

1. *Artemesia herba-alba*
2. *Stipa tanacissima*
3. *Lygeum spartum*
4. *Halophytes*

Pour les *Halophytes* se trouvent surtout au niveau du lit majeur d'Oued-Touil et aussi au niveau des zones d'épandage de crue. Concernant les trois autres types de steppe se trouvant dans les parcours steppiques. Cependant, on a observé quatre niveaux d'état du couvert végétal des parcours :

1. Les bons parcours : Généralement c'est des mises en repos.
2. Les parcours assez bons
3. Les parcours dégradés
4. Parcours défrichés

#### 5.4.3 Interprétation des cartes d'occupation et d'utilisation de sol

Le tableau 5.3 représenté par la figure 5.6 donne de façon plus détaillée les superficies d'occupation et d'utilisation du sol. A titre indicatif pour ces deux années normales (2007 et 2014) et si on prend uniquement les statistiques des parcours en particulier les parcours dégradés et défrichés surtout par les labours illicites, tableau 5.4, on constate qu'on est passé de 27% à 52% des parcours steppiques du sous bassin versant Oued-Touil-Aval qui sont dégradés (désertifiés), l'équivalent de 89037 ha. Par conséquent dans l'espace de 7 ans on a constaté une augmentation des parcours dégradés de 25% (l'équivalent de 46117,62 ha) des parcours steppiques du sous bassin versant Oued-Touil-Aval. En outre, concernant la superficie des parcours dégradé par rapport à la superficie totale du bassin, on a calculé les pourcentages suivants : pour l'année 2007 (24%) ; pour l'année 2014 (50%). On peut tirer comme conclusion, presque la moitié du sous bassin versant N°6 Oued-Touil-Aval est dégradé en 2014.

Concernant les céréalicultures on a constaté une diminution de la surface destinée à cette classe d'occupation du sol et on est passé de 13971.69 ha en 2007 à 5238.72 ha en 2014, cette situation est dû certainement à la variation interannuelle des précipitations.

Occupation de sol	2007		2014	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Parcours bons	21697,29	12	47046,51	27
Parcours assez bons	97094,79	55	34361,01	20
Parcours dégradés	35323,11	20	44291,52	25
Parcours défrichés	7596,18	04	44745,39	25
Céréalicultures	13971,69	08	5238,72	03
<b>Total</b>	<b>175683,06</b>	<b>100</b>	<b>175683,06</b>	<b>100</b>

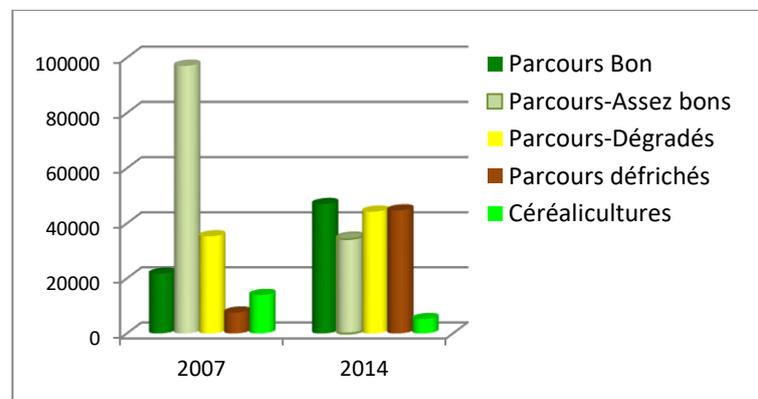


Figure 5.6 : Détection de changement d'occupation et d'utilisation de sol dans le sous bassin versant Oued-Touil-Aval (2007 et 2014)

Occupation de sol	2007		2014	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Parcours-Bons	21697,29	13	47046,51	28
Parcours-Assez bons	97094,79	60	34361,01	20
Parcours-Dégradés	35323,11	22	44291,52	26
Parcours défrichés	7596,18	5	44745,39	26
Total	161711,37	100%	170444,43	100%

L'interprétation du tableau 5.5 ci-dessus donne une idée sur le croisement des différentes classes d'occupation. On remarque premièrement une diminution notable de la superficie des parcours assez bons de 36% (l'équivalent de 62733,8ha) ; par conséquent la superficie des bons parcours a

été augmenté de 14% (l'équivalent de 25349,2 ha) suite aux techniques de mise en repos des parcours steppique adopté par le haut-commissariat de développement de la steppe (HCDS) dans la steppe, en outre le reste des parcours assez bons devient dégradé (5%) et défriché (21%). Concernant la superficie des céréalicultures a été diminuée de 5% (l'équivalent de 8733 ha) ; cette superficie peut être considéré comme les parcours défrichés.

En conclusion à ce chapitre, l'utilisation de la télédétection et les SIG est une approche intelligente afin de comprendre la dynamique de cet écosystème. La cartographie diachronique des changements dynamiques du sous bassin versant Oued-Touil-Aval qui se veut quantitative a été réalisée dans le sous bassin versant Oued-Touil-Aval.

D'après les résultats de ce chapitre on peut confirmer que plus de la moitié des parcours du sous bassin versant Oued-Touil-Aval est dégradés. Les causes de cette dégradation sont bien connus : en premier lieu le facteur anthropozoïque et deuxièmement vient le facteur climatique (la sécheresse).

Il faut souligner que l'approche intégrée «télédétection-paysage-dynamique de l'écosystème», proposée dans ce chapitre est une contribution au développement des nouveaux outils d'analyse et d'aide à la décision en particulier dans les études d'aménagement dans le milieu steppique tel que le cas de cette thèse de doctorat.

Tableau 5.5: Caractéristiques du croisement des classes d'occupation et d'utilisation de sol dans le sous bassin versant N°6 Oued-Touil Moyen (2007 et 2014)

<b>Occupation de sol</b>	<b>Superficie (ha) 2007</b>	<b>Superficie (ha) 2014</b>	<b>Variation (ha)</b>	<b>%</b>
Parcours-Bons	21697,29	47046,51	25349,22	14
Parcours-Assez bons	97094,79	34361,01	-62733,78	-36
Parcours-Dégradés	35323,11	44291,52	8968,41	5
Parcours défrichés	7596,18	44745,39	37149,21	21
Céréalicultures	13971,69	5238,72	-8732,97	-5
<b>Total</b>	175683,06	175683,06		0.00

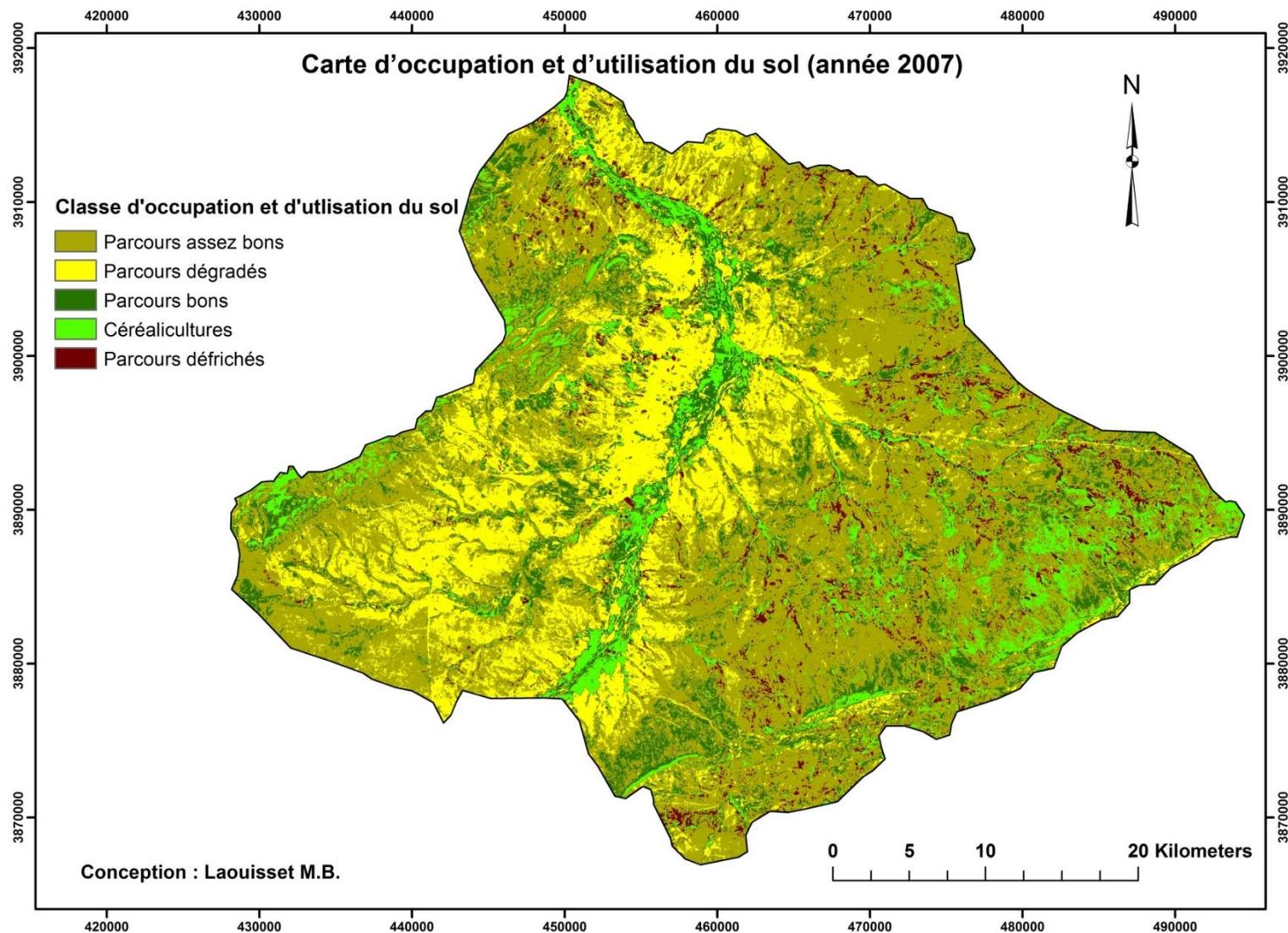


Figure 5.7: Carte d'occupation et d'utilisation du sol du sous bassin versant N°6 Oued-Touil-Aval (année 2007)

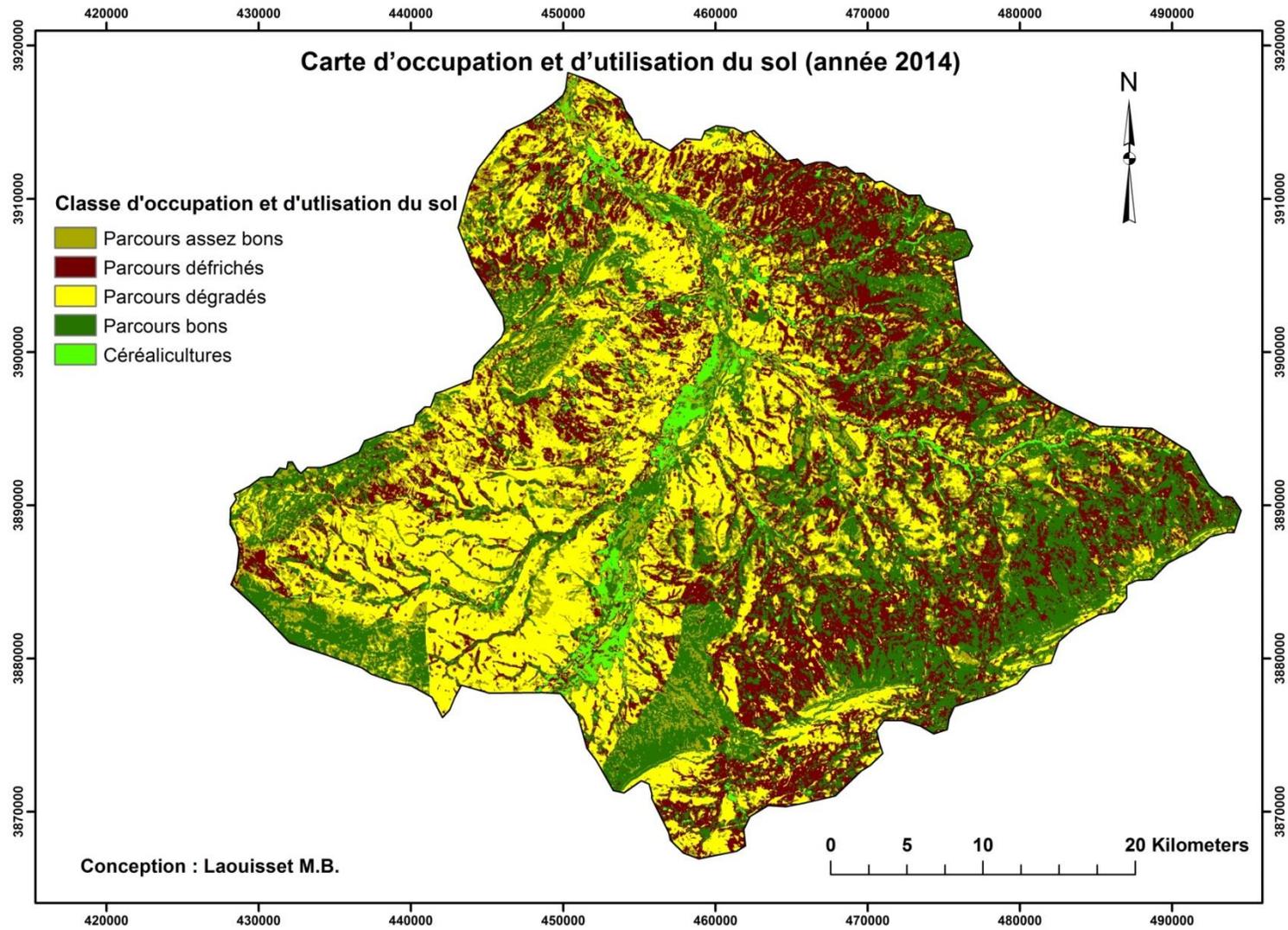


Figure 5.8 : Carte d'occupation et d'utilisation de sol du sous bassin versant N°6 Oued-Touil-Aval (2014)

# Chapitre VI

## **Classification automatique des sols par télédétection : Classification non-supervisé des sols du sous bassin versant Oued-Touil-Aval**

## 6.1 Introduction :

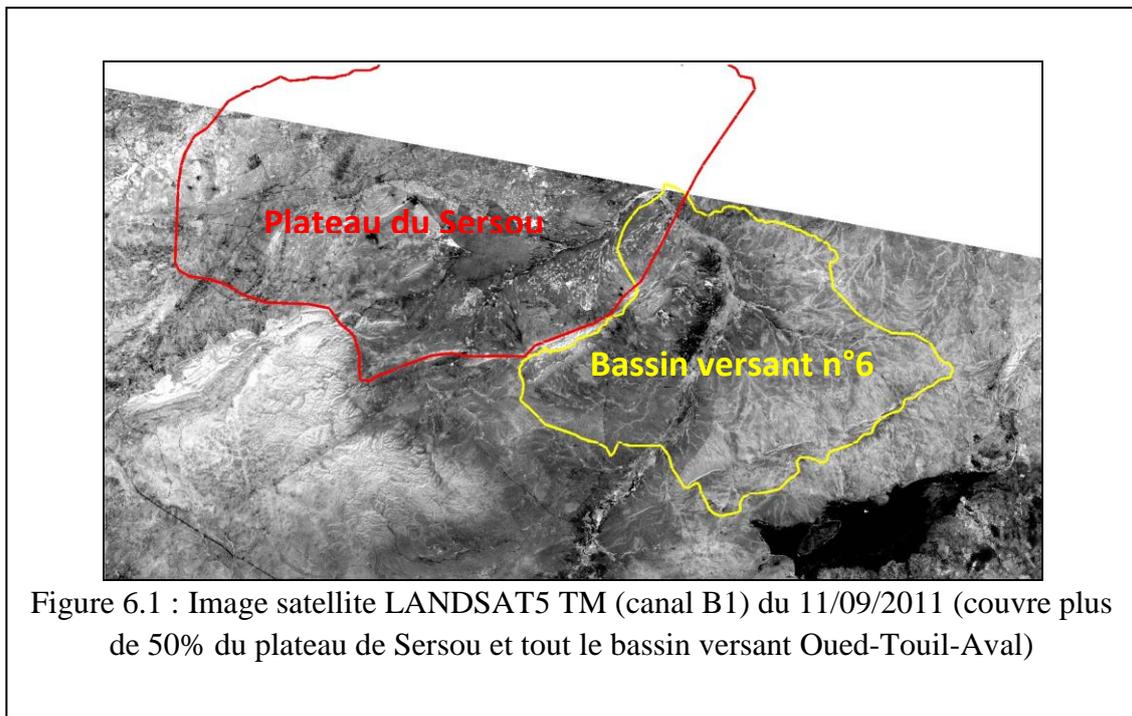
L'objectif d'un aménagement hydro-agricole est d'atteindre une production optimale sans compromettre le milieu naturel, on parle de la durabilité de l'écosystème. Ceci conduit à une utilisation rationnelle des ressources en eau et en sol, alors la conception d'un schéma d'aménagement est basée essentiellement sur la cartographie des sols. Cependant, la connaissance des sols est indispensable à la gestion des territoires, tant au niveau d'une parcelle agricole qu'au niveau paysagique. Au niveau paysagique (Echelle d'un bassin versant), les études de (Girard, 1975, King, 1994 et al.), montrent qu'une information de synthèse représentée par le concept de cartographie pédopaysagique ou descendante est suffisant dans un premier temps, pour connaître les grandes classes du sol. Elle sera introduite dans un deuxième temps, dans un SIG afin d'orienter les terres vers un aménagement adéquat, alors on peut passer à l'échelle de la parcelle.

Donc, en vue de classer les sols de notre zone d'étude on a fait recours aux techniques de télédétection (classification non-supervisée) et SIG, on se basant sur l'étude faite par le pédologue Pouget en 1973 dans les limites nord-ouest de notre région d'étude en plus d'une image satellite LANDSAT5-TM figure 6.1. L'image choisie correspondant au 11 septembre 2011 tableau 6.1, cette image nous permet de mieux apprécier les différents types de sols et qui couvre plus de 50% du plateau de Sersou et tout le sous bassin versant Oued-Touil-Aval. Donc, il s'agit dans ce chapitre d'une première tentative pour réaliser une carte pédologique de cette région par les techniques de la télédétection et SIG.

Tableau 6.1 : Scène d'image Landsat7 disponibles couvrant le sous bassin versant Oued-Touil-Aval				
Date	ID	Couverture Nuageuse	Qualité	Capteur
11Septembre 2011	LT51960362011254MPS00	0	9	TM

## 6.2 Etudes précédentes portant sur les sols de la région d'étude

Il y a eu de nombreuses études générales (Durand, 1954-1959) faites à grande échelle dans lesquelles les sols de la région entière ont été classifiés comme sols gris-marron. D'autres études faites par les Soviétiques entre 1966 et 1970, ont délimité les lits d'oueds, les dunes de sable instable, les sols à croûtes calcaires et les sols salins. Les études très détaillées des Soviétiques portaient uniquement sur les plaines alluviales des oueds tels qu'Oued-Touil. L'identification et la description de ces sols ont montré l'existence de calcaire bruns, de prairie gris pâle et gris foncé, des solonchaks non développés, de sables éoliens et de sols généralement alluviaux.



Dans la partie nord-ouest limitrophe de notre zone d'étude, en 1973 le pédologue Pouget a réalisé une étude pédologique (carte pédologique à 1/100.000 (feuille du Sersou) qui décrit des exemples de 120 familles de sol réparties dans huit (08) classes du système français de classification (C.P.C.S, 1967) figures 6.2 (carte pédologique de Sersou) et figure 6.3 (légende et carte pédologique de Sersou): sols minéraux bruts, sols peu évolués, vertisols, Sols calcimagnésique, sols isohumiques, sols à sesquioxides de fer, sols hydromorphe et sols halomorphes.

### **6.3 Réalisation d'une Cartographie des sols de la région d'étude « une première esquisse »**

Les sols des régions arides sont difficiles à classer et à placer dans les groupes de sol distincts (FAO, 1973). L'inventaire pédologique est l'une des clefs de la gestion des ressources en sols et du contrôle de la désertification des zones arides. Or les nombreuses études localisées qui y sont disponibles ne permettent pas aux organismes chargés du développement de ces régions d'appréhender de façon rationnelle et globale les grands espaces dont ils ont la charge.

Les méthodes classiques de cartographie sont longues et onéreuses et ne peuvent pas répondre à l'urgence des prises de décisions nécessaires (Boulaouat et Naert, 1996).

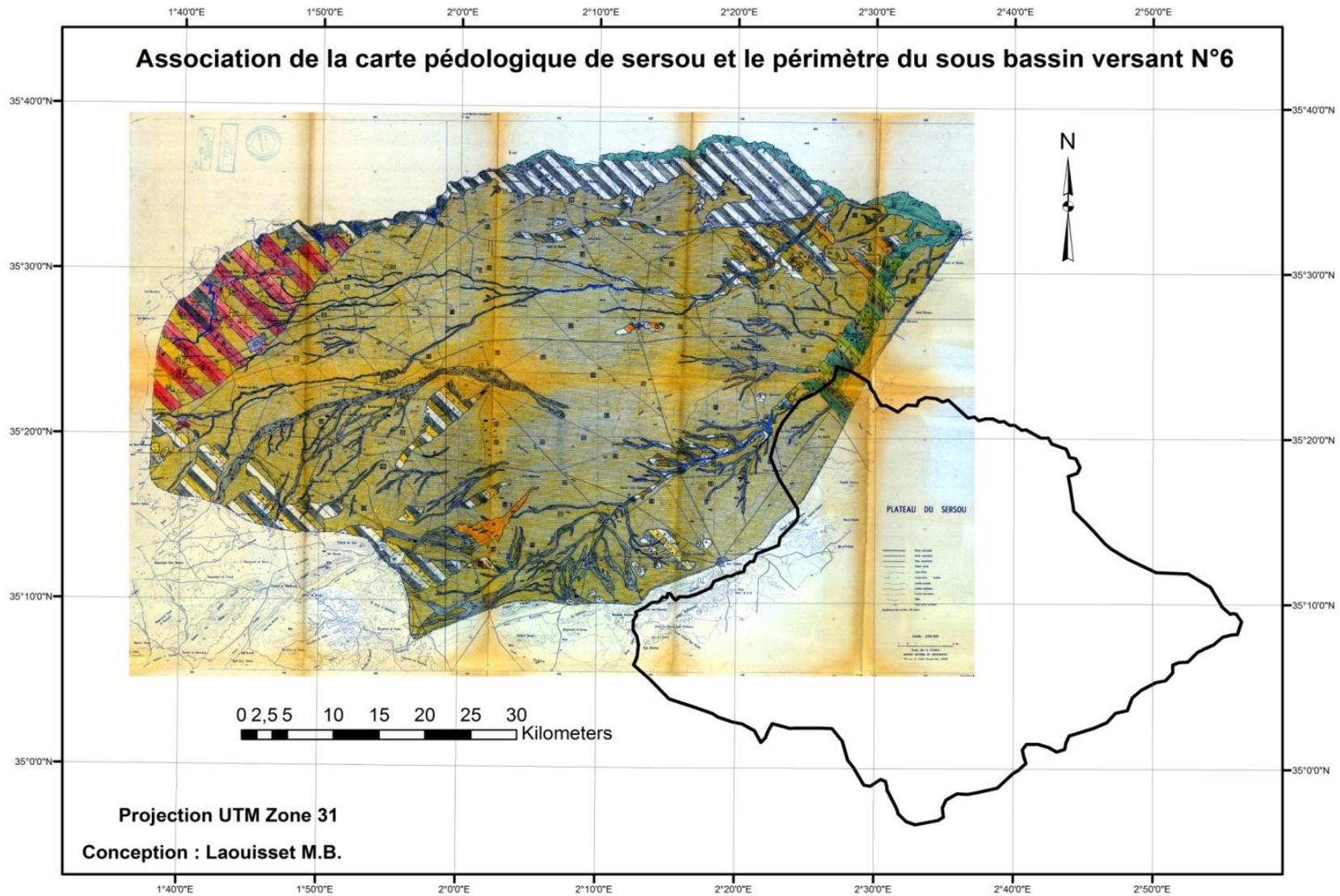


Figure 6.2 : Association de la carte pédologique du plateau de Sersou (Feuille du Sersou) et le périmètre du sous bassin versant Oued-Touil-Aval, Pouget 1973

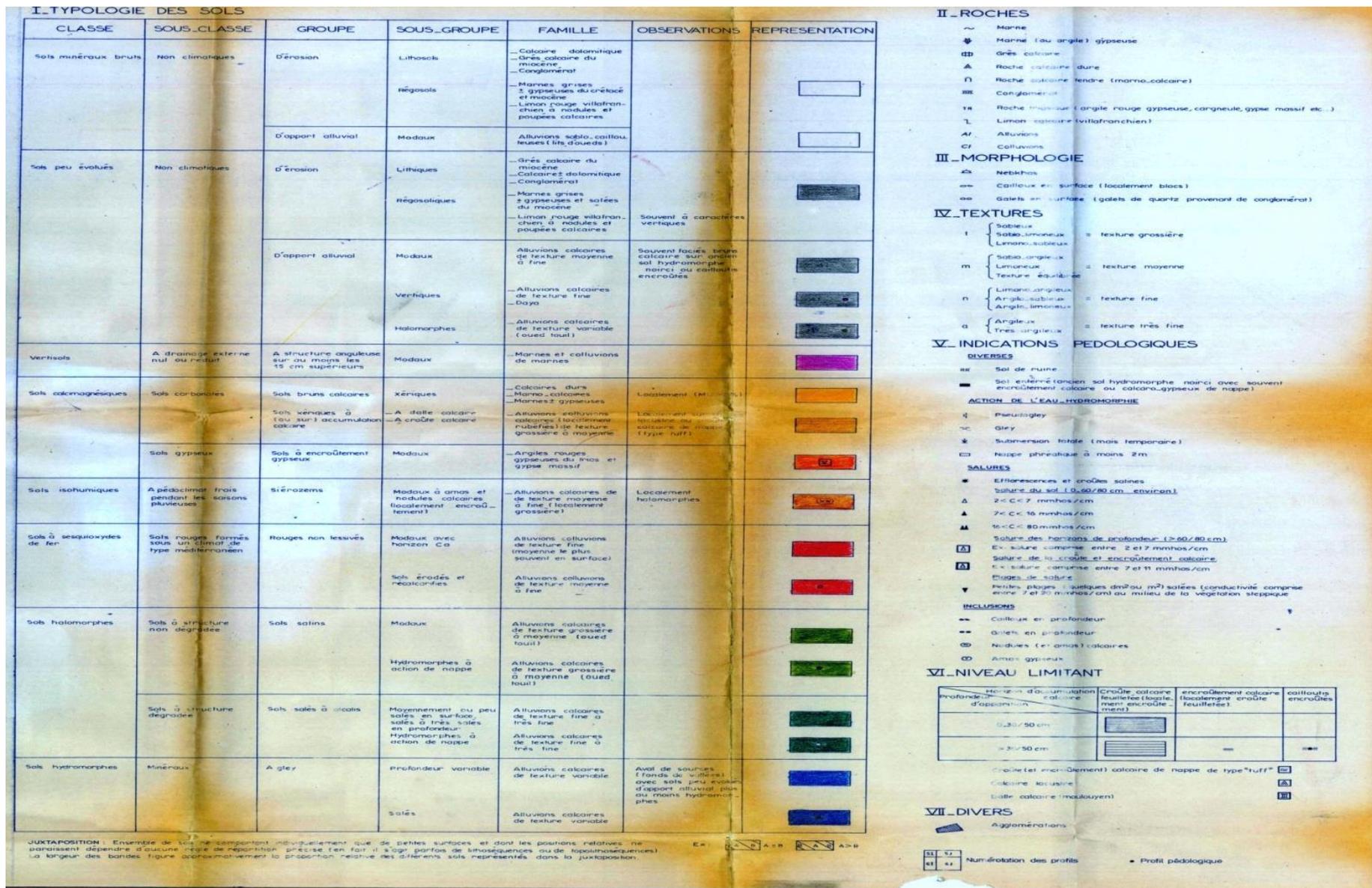


Figure 6.3 : Légende de la carte pédologique à 1/100.000 (feuille du sersou)

### 6.3.1 Identification des classes utiles

Les classifications non-supervisées, ainsi obtenues à partir des divers documents du référentiel radiométrique, ont été interprétées directement sur le terrain par l'utilisation ci-dessous de la carte pédologique du plateau de Sersou et des images hautes résolution de Google-Earth. On constate que les classes "pures", désignant un thème exclusif, sont l'exception. En général, les classes représentées ont une signification thématique majeure, mais elles incluent aussi un certain nombre d'unités secondaires occupant une surface moindre.

Certaines confusions sont communes à l'ensemble des traitements :

- sols halomorphes et domaine urbain,
- forêts, ou reboisements denses, et fonds de dayas humides,
- sols fortement battants et marnes gypseuses ou affleurements calcaires,

Dans le domaine minéral, tel que le cas de ce travail, les classifications les plus intéressantes sont issues des triplets de canaux 1, 2, 3 et 1, 3, 5 (ou 1, 3, 7) de TM, tableau 6.2. En revanche, on a opté pour la combinaison 1, 3, 5 qui convient mieux à notre région d'étude.

Le traitement "non-supervisé" nous permis d'identifier des unités de paysage, plus ou moins complexes, dont un composant (pédologique ou non pédologique) est dominant sur l'image, il a confirmé dans cet exemple pris dans les régions steppiques, les aptitudes qui lui sont généralement attribuées : "fournir un bon dégrossissage de l'information et être utile lorsqu'on dispose de peu de données préalables" (Girard et Girard, 1989).

### 6.3.2 Données et méthodes

En vue de classer les sols de cette région on a fait recours aux techniques de télédétection et SIG, on se basant sur l'étude faite par le pédologue Pouget en 1973 dans les limites nord-ouest de notre région d'étude et une image satellite LANDSAT5-TM. Un inventaire a été fait par vérification sur "USGS Global Visualisation" des images Landsat disponibles. La scène révélée disponible et celle qui correspond à l'image Landsat5-TM du 11 septembre 2011 a été choisie pour mieux apprécier les différents types de sols (voir ci-dessus figure 6.1, band B1), cette image couvre plus de 50% du plateau de Sersou et tout le bassin versant Oued-Touil Aval (selon Boulahouat et Naert, 1996), pour permettre une superposition suffisante il faut au moins 20 % entre les documents radiométriques et pédologiques). En démarrant de ma connaissance du terrain et les données des cartes disponibles, la méthode classique de traitement de l'image, non-supervisée sous la plateforme (logiciel ENVI 4.8), a été appliquée sur cette image prise dans cette région.

Tableau 6.2 : Thèmes détectés en mode non-supervisé

Unités principales	Unités secondaires les plus fréquemment associées (a)	Classifications les plus performantes				
		spot XS	Spot IVB (b)	TM mai 2 3 4	TM juil1 1 2 3	TM juil 1 3 5 1 3 7
<b>DOMAINE MINÉRAL</b>						
<b>1</b> Roche dure ou marneuse, dominante des Djebels et reliefs nus	2, 12, 13		x	x	x	
<b>2</b> Sols à très forte pierrosité, cailloux et blocs calcaires ou gréseux des glacis d'érosion anciens quasi-entièrement dénudés, petits relief	1, 3, 14	x	x	x	xx	xx
<b>3</b> Sols squelettiques à forte pierrosité, débris de croûte dans une matrice limoneuse des glacis plus ou moins érodés	2, 4	x	x	x	xx	xx
<b>4</b> Dunes du cordon dunaire	-	xx	xx	xx	xx	xx
<b>5</b> Sable grossier bordant le cordon dunaire (ou dunes plus basses)	-	x	x	x	xx	xx
<b>6</b> Accumulations de sable mobile : voile éolien, nébkas, placage de sable, micro-dunes	7	x		x	xx	xx
<b>7</b> Sols de texture sableuse dominante	4, 8	x		x	xx	xx
<b>8</b> Alluvions, colluvions, texture limoneuse à limono-sableuse des terrasses et glacis récents, moins caillouteux	3, 5	x	x	x	x	x
<b>9</b> Sols limoneux à limono-sableux profonds des dayas et zones d'accumulation	4,6,7,11,12,13,14	x	x	x	x	x
<b>10</b> Sols halomorphes des dépressions	4, 5, 6	xx	xx	xx	xx	xx
<b>11</b> Formations gypseuses, efflorescences, marnes, croûte gypseuse superficielle	4, 5, 11		x		xx	xx
<b>DOMAINE VÉGÉTAL</b>						
<b>12</b> Forêts anciennes de pin d'Alep	1, 13, 14	xx	xx	xx		
<b>13</b> Matorral à juniperus Ph. ou Ox. et bon peuplement Ziziphus L.	1, 2, 12, 14	xx	x	xx		
<b>14</b> Jeunes reboisements et bonnes steppes à Stippa Tenacissima	1, 2, 13	xx	x	xx		x

(a) Les chiffres renvoient aux numéros des unités thématiques du même tableau  
(b) IVB : combinaison bichrome indice de végétation - indice de brillance Spot

x : assez bien identifié  
xx : bien identifié

### 6.3.3 Le référentiel cartographique

Le référentiel cartographique utilisé par Pouget se compose des cartes topographiques à l'échelle 1/100.000 qui constituent la référence planimétrique (feuille de Reibell et feuille de Tiaret) et d'une carte pédologique à 1/100.000 (feuille du Sersou), dressée par Pouget en 1973. Cette carte des sols, qui couvre 15% du sous bassin versant Oued-Touil Aval, a été considérée comme la référence pédologique susceptible d'être extrapolé à l'ensemble de notre zone d'étude (voir ci-dessus figure 6.2 et figure 6.3).

### 6.4 Prétraitements des images Landsat

Les prétraitements et traitements des données s'est réalisés sous environnement d'ENVI-4.8. Les images satellitaires acquises sont déjà géo-référencées. Le logiciel ENVI peut lire directement les bandes de l'image Landsat sans aucune transformation. L'extraction de la zone d'étude a été effectuée grâce au fichier *shapefile* (\*.shp) de la zone d'étude importé dans ENVI.

#### Étape1: Mise en format

Le module *landsat calibration* dans le sous menu *calibration utilities* du menu *basic-tools-preprocessing* a permis de convertir les valeurs *Digital Numbers* (DN) des lignes en radiances calibrées des images acquises.

#### Étape 2: Extraction de la zone d'étude (le sous bassin versant Oued-Touil-Aval)

Après importation du fichier *shapefile*(\*.shp) conçu dans Arc-GIS 10.0. On a procédé à l'extraction de la zone étude des bandes utilisées par le module *Subset Data via ROIs*. La figure 6.4 donne le résultat de cette opération.

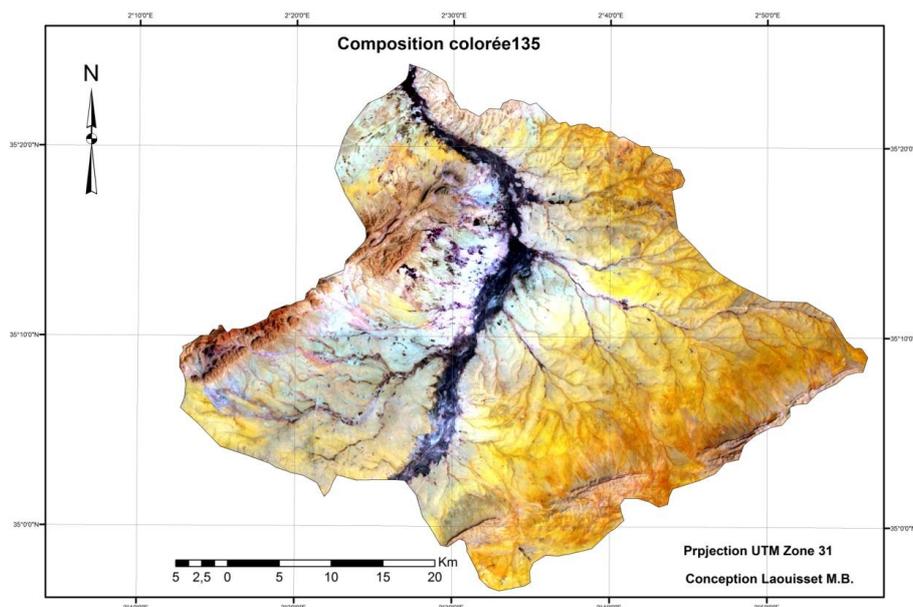
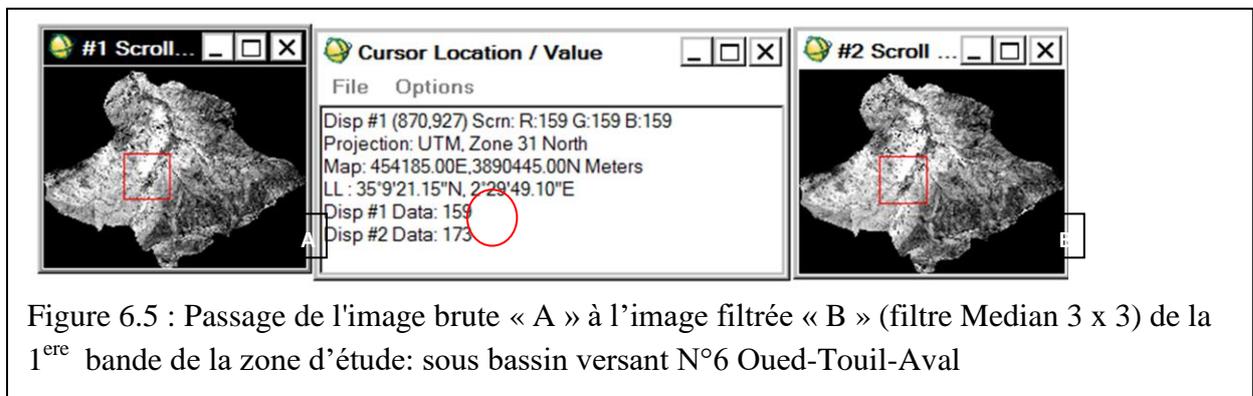


Figure 6.4 : Image satellite LANDSAT5-TM du 11 septembre 2011

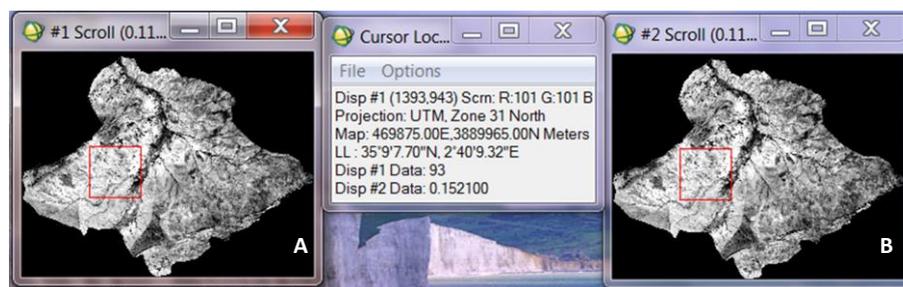
### Etape 3 : Élimination du bruit aléatoire

Les pixels impairs qui ont un faux DN surgissent fréquemment dans les images (en particulier, si elles sont brouillées). Ils peuvent être supprimés par un filtrage spatial. Par définition, ces défauts peuvent être identifiés par leurs différences marquées de DN par rapport aux pixels adjacents dans la bande affectée. Les pixels bruités peuvent être remplacés en les substituant par une valeur moyenne des DN voisins. Des fenêtres mobiles de 3×3 ou 5×5 pixels telles que le filtre Médian ou le filtre *Adaptive Box* sont utilisées dans de telles procédures. Eastman et *al.* (2001) suggèrent que le filtre Médian est excellent pour l'élimination du bruit aléatoire. En effet, le module *median* dans le sous menu *conventions and morphology* du menu *filtera* permis d'éliminer le bruit aléatoire en se basant sur un filtre Médian de dimension 3×3 (figure 6.5). Donc pour le même point visé on remarque qu'il y a une différence de valeur du compte numérique DN.



### Etape 4: Correction atmosphérique

On a déjà vu au chapitre V comment on corrige une image des effets atmosphériques. Pour le cas de ce chapitre on doit respecter la même méthodologie appliquée pour corriger les images utilisé dans l'étude diachronique. Le résultat de la correction atmosphérique de l'image Landsat5-TM du 11septembre 2011 est une image réflectance aux confins de l'atmosphère, figure 6.6, donc pour le même point visé on est passé d'une image en compte numérique "DN" à une image en réflectance exo-atmosphère.



## 6.5 Classifications non-supervisées

Compte tenu de la documentation disponible et des connaissances du terrain. Nous avons opté pour la classification non-supervisée. Des résultats probants ont été obtenus grâce à cette technique. Les travaux de (Steven et al, 1995) ; (Latifovic et al, 2004) ; (Sarr, 2009) pour ne citer que ceux-là peuvent en témoigner.

L'algorithme *K-means* dans le sous menu *Unsupervised* du menu *classification* été utilisé pour la classification. C'est un processus itératif d'auto-organisation. Classificateur non supervisé basé sur un concept similaire à la routine bien connue ISODATA de (Ball et Hall, 1965) et les routines de grappes technologiques comme les procédures H-means.

Suit à cette classification on peut distinguer sur une image plus de 20 classes différentes figure 6.7. Ce grand nombre de classes est difficile à interpréter pour un utilisateur, car s'il permet en théorie la reconnaissance de thèmes variés, il aboutit en pratique à la confection de documents complexes difficilement exploitables sur le terrain, sans pour autant garantir l'intérêt thématique de toutes les classes identifiées.

Il se pose donc, dans ces classifications non supervisées, le problème du choix du nombre de classes "gérables" et de la sélection des classes les plus "utiles".

### 6.5.1 Détermination du nombre de classes

Quelle que soit la combinaison de canaux utilisée, dans notre cas d'étude on a utilisé la combinaison 135, on constate que certaines unités thématiques très proches sont distribuées dans des classes nettement différentes du point de vue radiométrique. Puisque la classification non supervisée crée ainsi, dans les unités naturelles, des classes indépendantes de l'intérêt recherché, il importe, pour que l'interprétation soit efficace, de supprimer les subdivisions inutiles et de valoriser les différences intéressantes. Il s'est avéré préférable, pour y parvenir, d'opter pour un procédé de classification automatique partiellement directif. Après avoir constaté que dans notre exemple, l'algorithme produit plus de 20 classes, et que l'essentiel de l'espace est affecté dans les 10 à 12 premières. Cette partition a été ramenée ensuite, par regroupement manuel, aux 7 classes les plus intéressantes sur le plan thématique. Pour cela, toutes les subdivisions des ensembles sol-végétation, que la connaissance du terrain a permis de juger inutiles, ont été supprimées. Ce mode de classification, qui comporte nécessairement une part d'arbitraire et demande une connaissance minimum préalable du terrain, offre l'avantage de réduire d'emblée les discordances entre classes thématiques et classes radiométriques.

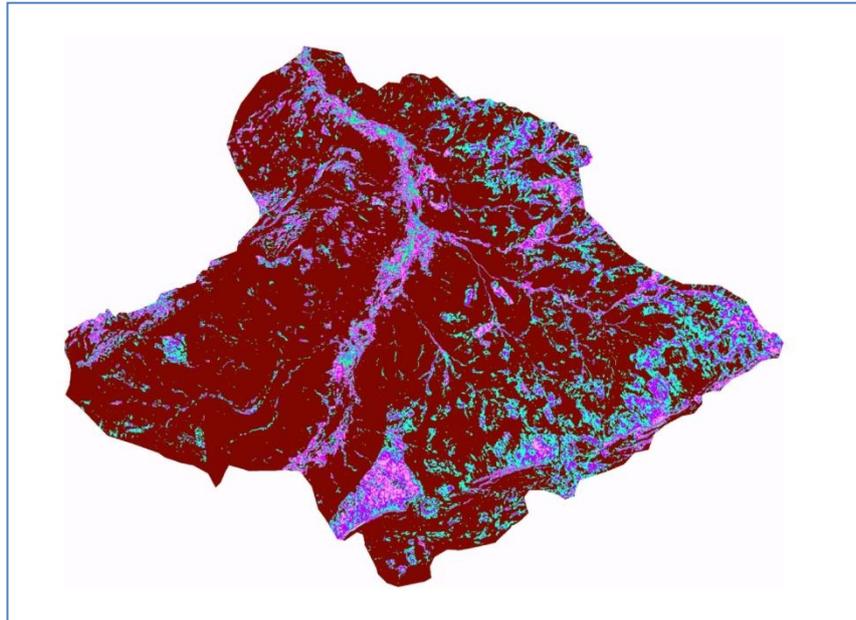


Figure 6.7 : Image du SBV Oued-Touil Aval après classification

Après réduction du nombre de classe à 6 classes utiles le résultat de cette classification est la carte pédologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval figure 6.8.

## 6.6 Sol et aptitude

On a vu dans le chapitre III que la géologie et la géomorphologie montre la prédominance des affleurements des surfaces encroûtées des différents glacis du Quaternaire ancien et moyen, en outre, à travers cette carte pédologique on a constaté que les sols profonds occupent des superficies plus ou moins réduites à l'exception du lit majeur du Oued-Touil qui peut atteindre parfois une largeur de 3 kilomètres de même d'ailleurs que les solshalomorphes.

En démarrant de la méthode utilisée pour classer les sols de ce bassin versant et vu le grand étendu de ce bassin, la représentation des types de sols au niveau de cette carte pédologique s'est limitée au grandes classes des sols mais n'empêche pas d'évoquer les différentes sous classes, groupe , sous-groupe et familles en se basant sur les travaux de Pouget (cartographie des sols de la plaine de Sersou, 1971 et l'étude faite au niveau de Messaad-Aïn-El-Ibel : Géomorphologie, pédologie, groupements végétaux, aptitudes du milieu a la mise en valeur), ces région qui présentent quasiment les même sols que la région d'Oued-Touil. En conséquence, on a constaté que la quasi-totalité des sols se répartit dans la classe des sols calcimagnésiques et la classe des sols peu évolués.

### **6.6.1 Classe des sols minéraux bruts**

- Sous-classe : non climatiques avec trois groupes :

#### **6.6.1.1 Sols minéraux bruts d'érosion.**

- Lithosols sur calcaire dur, marno-calcaire, grès, etc ... Ils se localisent sur les djebels et affleurements rocheux.
- Régosols sur marnes plus ou moins gypseuses, argiles versicolores alternant avec les grès du Crétacé inférieur continental. Ils correspondent à des zones déprimées du relief (combes) ou **6** des fronts de cuestas.

On note en surface, 5 à 20 cm de colluvions plus ou moins caillouteuses reposant sur la marne ou l'argile fragmentée en polyèdres de plus en plus grossiers vers la profondeur. Les lithosols et régosols sont cartographiés en juxtaposition avec des sols plus évolués.

#### **6.6.1.2 Sols minéraux bruts d'apport alluvial modaux.**

Ils occupent le fond caillouteux du lit des oueds et les méandres sablo-caillouteux recouverts par chaque crue importante (groupement ripicole à *Neriumoleander*.)

#### **6.6.1.3 Sols minéraux bruts d'apport éolien modaux.**

Champs de micro-dunes et nebkhas de sable mobile en bordure des grands oueds. Le sable est généralement grossier, très faiblement calcaire avec des traces de matières organiques. Le groupement à *Aristida pungens* et *Malcolmia aegyptiaca* caractérise parfaitement ce type de sol, constamment repris par l'érosion éolienne.

### **6.6.2 Classe des sols peu évolués**

Sous-classe : non climatiques.

Nous distinguons deux groupes :

#### **6.6.2.1 Sols peu évolués d'érosion**

**Localisation** - Rochemère, Ils se situent sur les djebels et affleurements de grès et occupent une grande superficie.

**Végétation.** Ils portent une végétation steppique avec des groupements différents selon la pluviométrie.

#### **Aptitudes**

Toutes ces zones sont évidemment à vocation pastorale avec une dominance d'espèces psammophiles vivaces et annuelles. Dans l'aride inférieur, de telles zones constituent les

meilleurs parcours si la couverture sableuse est suffisamment importante par rapport aux affleurements des grès.

### **6.6.2.2 Sols peu évolués d'apport alluvial modaux**

**Localisation - Roche-mère** : Ils se situent et se répartissent dans toute la zone particulièrement dans les thalwegs (chenaux d'oueds alluvionnés), les épandages de débordement et sur la terrasse récente des oueds principaux.

**Végétation - Occupation du sol.**

Pratiquement, ils représentent la majeure partie des sols cultivés actuellement pour les céréales (cultures régulière ou épisodique). Les rendements sont fonction de la pluviométrie, de la texture du sol et des conditions locales d'appoint en eau de ruissellement.

Les principaux groupements végétaux sont des groupements cultigènes et jachères à *Ziziphus lotus*, *Artemisia herba-alba*, etc ...

#### ***Aptitudes***

Ce sont les sols les plus intéressants pour les cultures avec appoint d'eaux de ruissellement (céréales, fourrages, cactus, atriplex et pistachiers selon la pluviométrie et la valeur de la moyenne des températures minimums du mois le plus froid "m" (janvier) de chaque zone. Très souvent ils peuvent être irrigués si la profondeur est suffisante et surtout si les ressources en eau existent.

### **6.6.2.3 Sols peu évolués d'apport alluvial vertiques**

**Localisation - Roche-mère** : Ils caractérisent très bien les sols des dayas et cuvettes de décantation non ou peu salées.

**Végétation- Occupation du sol**

Les conditions particulières de texture et de bilan d'eau (submersion temporaire) déterminent une végétation de type sub-azonal adaptée à ce milieu particulier.

#### ***Aptitudes***

Pour les mêmes raisons, l'aptitude des sols dépend des conditions locales (importance de l'appoint d'eau de ruissellement, durée de submersion etc...).

Les cultures de céréales sont possibles en bordure de la daya ou dans toute la daya selon les cas. Il serait intéressant d'y essayer l'implantation d'atriplex et l'installation de cactus dans les buttes sableuses de jujubiers.

#### 6.6.2.4 Sols peu évolués d'apport alluvial halomorphes

**Localisation - Roche-mère:** dans les chenaux d'oueds alluvionnés (salure provenant des sources et émergences au niveau des failles dans les grès du Crétacé inférieur continental).

##### **Végétation - Occupation du sol**

- Alluvions faiblement salées avec cultures de céréales (orge) et groupement cultigènes et jachères à *Artemisia campestris* et *Salsola vermiculata* var *villosa*.

- Cuvettes de décantation : *Teucrium campanulatum*, *Salsola vermiculata* var *villosa* et *Salsola tetrandra*.

- Grès et argiles salées : *Thymelea microphylla* et *Helianthemum lippii* var, *sessiflorum*, sous groupement à *Salsola vermiculata* var *villosa* etc ...

##### **Aptitudes**

Elles sont fonction de la famille de sol considérée : culture avec orge en vert et atriplex pour les alluvions, et parcours pour les sols sur grès et argiles versicolores salées.

#### 6.6.2.5 Sols peu évolués d'apport alluvial noircis

**Localisation - Roche-mère :** Ils occupent les terrasses anciennes (Soltano - Rharbien) des oueds principaux correspondant aux zones de mauvais drainage en amont de seuils, actuellement non fonctionnels.

Il s'agit d'alluvions calcaires de texture variable.

##### **Végétation - Occupation du sol**

Localement, il y a des cultures de céréales plus ou moins épisodiques et des groupements steppiques avec *Artemisia herba-alba*, *Lygeum spartum*, *Stipa parviflora* etc ..

##### **Aptitudes**

La topographie plus ou moins plane et la profondeur du **sol** permettent l'irrigation de telles zones localement.

#### 6.6.3 Classe des sols calcimagnésiques

Deux sous-classes sont représentées :

➤ **Sols carbonates** avec trois groupes :

- Sols bruns calcaires

- Rendzines

- Sols xériques à accumulation calcaire

➤ **Sols saturés** avec le groupe des

### 6.6.3.1 Sols xériques à accumulation calcaire

Ils occupent une superficie très importante, aussi bien sur la carte que pour l'ensemble des zones steppiques.

Nous avons distingué trois sous-groupes :

- **Sols** xériques à dalle calcaire
- **Sols** xériques à croûte calcaire
- **Sols** xériques à encroûtement calcaire (ou calcaro-gypseux).

#### *Localisation - Roche-mère*

Les **sols** à dalle calcaire se localisent sur la Haute surface moulouyenne et les glacis polygéniques du Quaternaire ancien.

Les **sols** à croûte et à encroûtement calcaire se trouvent sur les glacis d'érosion couverts du Quaternaire moyen et les **sols** à encroûtement calcaro-gypseux sur les cônes de déjection du Quaternaire ancien.

#### *- Végétation - Occupation du sol*

En raison de leur grande extension les groupements végétaux intéressés par ces sols sont très nombreux et variés : steppe d'alfa, d'armoise blanche, de sparte, etc ...

#### *Aptitudes*

La présence de l'horizon d'accumulation calcaire à très faible profondeur ne permet pas d'envisager d'autres aptitudes que l'utilisation actuelle en parcours(ou zones à reboiser si la pluviométrie est suffisante et s'il s'agit d'une croûte calcaire et non d'une dalle). La valeur des parcours dépend de nombreux facteurs que nous discuterons dans le prochain chapitre VII.

### 6.6.4 Classe des sols halomorphes

*Localisation* : Ils occupent le lit d'Oued-Touil.

On distingue les deux sous-classes :

- **Sols** à structure non dégradée
  - Groupe des sols salins
    - Sous-groupe à efflorescences et croûte saline
    - Sous-groupe à encroûtement gypseux de nappe
- **Sols** à structure dégradée
  - Sous-groupesalés à alcalis.
    - Groupe des sols salés à alcalis

La salure et l'alcalinisation excessive ne permettent aucune utilisation du sol (parcours).

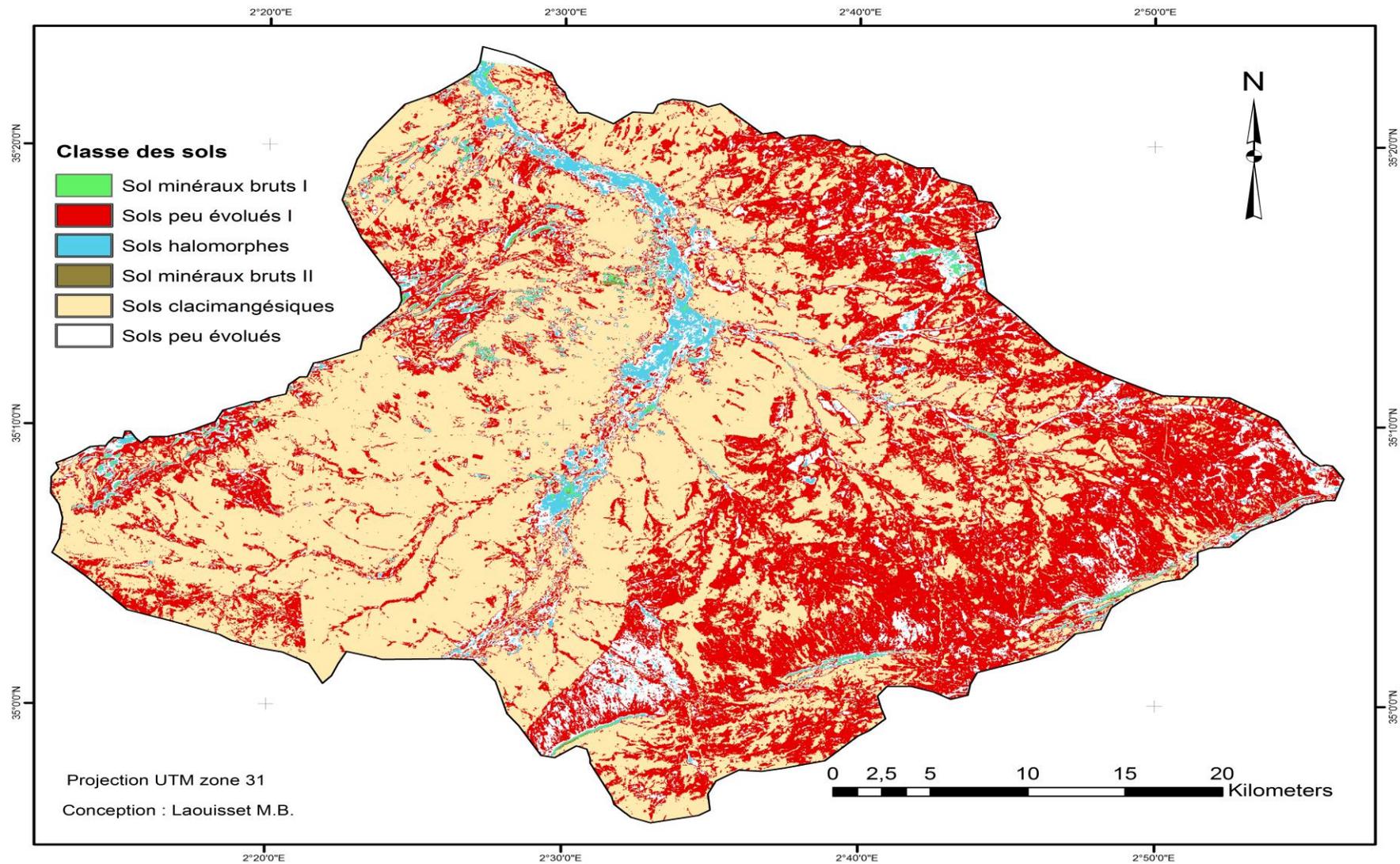


Figure 6.8 : Carte pédologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Tableau 6.3 : Légende de la carte pédologique du Sous bassin versant Oued-Touil Aval						
Classe	Sous-Classe	Goupe	Sous-Goupe	Famille	Observations	Représentation
Sols clacimangésiques	Sols carbonatés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sols bruns calcaires</li> <li>▪ Sols xériques à (ou sur) accumulation calcaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Xérique</li> <li>▪ A dalle calcaire I</li> <li>▪ A croûte calcaire II</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calcaires durs</li> <li>▪ Marno-calcaires</li> <li>▪ Marnes ± gypseuses</li> <li>▪ Alluvions colluvions calcaires (localement rubéfiés) de texture grossière à moyenne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Localement (MO &gt;%)</li> <li>▪ Localement sur calcaire lacustre ou croûte calcaire de nappe (type tuff)</li> </ul>	
Sols peu évolués I	Non-climatiques	D'érosion	Litiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grès calcaire du miocène</li> <li>• Calcaire ± dolomitique</li> <li>• Conglomérat</li> </ul>		
Sols peu évolués II	Non-climatiques	D'apport alluvial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modaux</li> <li>• Vertique</li> <li>• Halomorphes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alluvions calcaires de texture moyenne à fine</li> <li>• Alluvions calcaires de texture à fine (Daya)</li> <li>• Alluvions calcaires de texture variable (Oued-Touil)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Souvent faciès bruns calcaire sur ancien sol hydromorphe noircie ou cailloutis encroustés</li> </ul>	
Sol halomorphes	Sols à structure non dégradée	Sols salins	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modau</li> <li>• Hydromorphes à action de nappe</li> </ul>	Alluvions de texture grossière à moyenne (Oued-Touil)		
	Sols à structure dégradée	Sols salins à alcalis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moyennement ou peu salés en surface salés à très salés en profondeur</li> <li>• Hydromorphe à action de nappe</li> </ul>	<p>Alluvions calcaires de texture fine à très fine</p> <p>Alluvions calcaires de texture fine à très fine</p>		
Sols minéraux bruts	Non climatique	D'érosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Litiques</li> <li>• Régosols</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcaire dolomitique</li> <li>• Grès calcaire du miocène</li> <li>• conglomérat</li> <li>• Marnes grises ± gypseuses du crétacé et miocène</li> <li>• Limon rouge vilafanchien à nodules et poupées calcaires</li> </ul>		
		D'apport alluvial	Modaux	Alluvions sablo-caillouteuses (lits d'oued)		

# Chapitre VII

## **Application de l'Approche MEDALUS pour l'Evaluation de la Sensibilité à la Désertification du Bassin Versant d'Oued-Touil-Aval**

## **7.1 Introduction :**

L'étude de sensibilité à la désertification n'a pas été étudiée dans la région d'Oued-Touil jusqu'à maintenant où l'activité économique dominante demeure l'agro-élevage. Le ministère de l'Agriculture et du Développement rural (MADR, 2011) estime à 50 millions d'hectares les surfaces menacées par la dégradation due à la désertification et l'érosion hydrique, soit plus de 20% de la superficie totale du pays, 14 millions d'hectares de zones de montagne au Nord sont touchés par l'érosion hydrique, 32 millions d'hectares en zones steppiques sont directement affectés et/ou menacés par la désertification. Donc la désertification constitue un grave problème environnemental, agricole et social qui affecte et menace d'immenses espaces de notre pays. Les conséquences les plus remarquables sont : appauvrissement généralisé des sols (Merzouk et al. 1994), baisse de la fertilité et stérilisation des sols, prolifération des espèces nuisibles au détriment des espèces utiles, dynamiques dunaires importantes par, l'envahissement des infrastructures socio-économiques, tempêtes de sables fréquentes (FAO, 1983) et exode rural de la population (Pereztrejo, 1994).

Compte tenu de la gravité de la désertification et de ses impacts, il est nécessaire que des mesures de gestion appropriées soient prises. Pour ce faire, une bonne connaissance des variations spatiales de la désertification est nécessaire lors de l'aménagement des zones steppiques et de la planification des efforts de conservation. En raison du coût élevé de conservation et les objectifs de production concurrentes telles que l'augmentation de la population, le développement des infrastructures et la dégradation des terres, il est nécessaire de cibler les solutions et les ressources dans les zones à haut risque, plutôt que de les répartir équitablement entre le paysage (Shiferaw, 2011). Différents scénarios de gestion et de planification de l'utilisation des terres peuvent alors être mises en œuvre pour faire face aux divers problèmes de dégradation des terres. Ces tentatives doivent prendre en considération les conditions biophysiques et socio-économiques des sites (in Toumi, 2013).

Au cours de la conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (UNCED, 1992) la communauté internationale a reconnu pour la première fois la dimension mondiale du problème de désertification. Depuis 1997, la définition de la désertification retenue au niveau international est « La dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par la suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines » (UNCCD, 1997).

L'installation de la désertification au niveau du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval revient en particulier au défrichement du couvert végétal et le surpâturage sans oublier les facteurs intrinsèques : la géologie, le climat, l'exposition des sols par rapport au soleil, la pente, et la nature des sols (pédologie).

Les méthodes de contrôle de ce phénomène naturelle s'avèrent nécessaires, afin d'assurer une gestion durable des ressources en sols par l'installation des systèmes de conservation de l'eau et du sol (CES) et de sécuriser les productions agricoles en particulier les cultures fourragères tel que l'orge, encore protégé ces sols par la création de nouvelle mise en repos.

Dans des pays comme l'Algérie, où la dégradation des sols est sévère, il est impératif d'appliquer des modèles d'estimation de la désertification de base qui nécessitent moins de données et donc qui correspondent le mieux avec les ressources disponibles. Ces modèles intégrés dans un environnement SIG pourraient facilement être utilisés pour élaborer des cartes de sensibilité à la désertification et par conséquent on peut adapter des systèmes de conservation des sols (CES). En effet, Les modèles d'estimation de la désertification intégrés dans un SIG sont un moyen d'évaluer la répartition spatiale des différentes zones touchées par la désertification, d'identifier les domaines de préoccupation et de simuler la gestion possible. Le SIG peut ensuite être utilisé pour isoler et interroger les bases de données constituées pour obtenir des informations vitales sur le rôle des variables individuelles.

La télédétection et les SIG sont des outils puissants pouvant servir à la collecte et à la combinaison des données (Colwell, 1974 ; Puech, 1993 ; Girard et M-C Girard, 1998 et 1999 ; Lymburner, et al., 2000 ; Dauriac et al., 2001 ; CCT, 2002 ; CEOS, 2002. Coing, 2002). Ils se présentent de nos jours comme des outils essentiels dans les systèmes interactifs d'aide à la décision (Roy, 1993 ; Vinck, 1989).

En outre la télédétection a pour rôle de fournir des informations sur les paysages sous la forme de données images en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations (Robin, 2001). L'analyse des images de télédétection a pour but d'interpréter la nature et la fonction des objets positionnés. Le processus d'interprétation qui se fait visuellement ou automatiquement en utilisant le système d'information géographique (SIG) consiste à transformer les données de l'image satellitaire en éléments d'information spatialement localisés (Bonn et Rochon, 1996). En plus, l'évolution extrêmement rapide des systèmes d'information géographique (SIG) au cours de la dernière décennie a encore accentué le recours à l'image pour l'acquisition ou la mise à jour de l'information concernant l'occupation du sol (*in* Toumi, 2013).

## **7.2 Modélisation spatiale**

Conceptualiser le monde réel et ses changements spatio-temporaires et leurs interactions dans l'espace, constitue le processus de modélisation spatiale. En utilisant un SIG pour représenter le modèle conceptuel et effectuer des calculs mathématiques simples sur les attributs stockés et afficher les résultats, constituent l'espace de modélisation spatiale. Dans une opération de modélisation spatiale, les objets géographiques dans le monde réel sont délimités et extraits en

utilisant les données de base telles que des photographies aériennes, des images satellites, des cartes et d'autres sources. Les objets sont stockés dans des bases de données SIG où ils sont affectés des valeurs d'attributs qui représentent la valeur de l'objet conçu. Les valeurs d'attributs peuvent être qualitatives ou quantitatives. Les valeurs d'attributs qualitatifs sont utilisées pour regrouper les fonctionnalités des thèmes spécifiques ou des classes d'entités. Alors que les valeurs quantitatives sont utilisées dans les opérations de calcul (*in* Toumi, 2013).

MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) (C. Kosmas et al. 1999) est un projet soutenu par l'Union Européenne qui vise à évaluer, modéliser et comprendre les phénomènes de désertification qui affectent la zone méditerranéenne, notamment au niveau de la rive nord. Plusieurs études régionales sur l'évaluation de la sensibilité à la désertification ont été réalisées en se basant sur l'approche MEDALUS surtout au nord de la Méditerranée (Portugal, Grèce, Espagne et Italie), au Maroc (Bouabid et al. 2010), en Tunisie et en Iran (Contador et al. 2010, Hédia et al. 2006, Ladisa et al. 2002, Zehtabian et al. 2005).

### **7.3 Méthode d'évaluation de la désertification utilisée**

L'avènement du système d'information géographique (SIG) et la télédétection ont permis à l'équation de l'approche MEDALUS d'être utilisée d'une manière répartie dans l'espace parce que chaque cellule dans une image raster représente une unité sur le terrain. L'approche utilisée a consisté dans un premier temps, à détecter les facteurs responsables de la désertification et à les spatialiser en utilisant les images satellitaires. Ces images sont choisies car leur définition de 30 m de résolution au sol est adaptée à l'échelle de travail. Les données de télédétection multi-temporelles et les SIG sont utilisées pour évaluer et cartographier chaque facteur individuellement. La modélisation prédictive dans un environnement SIG offre une opportunité pour l'évaluation des risques de la désertification. Les données sur la désertification par rapport à certains indicateurs sont collectées, calibrées et sont entrées dans une base de données SIG, après quoi elles seront spatialement modélisées pour représenter le risque de la désertification dans n'importe quel élément du paysage choisi.

Des couches individuelles ont été créées pour chaque paramètre de l'approche MEDALUS et sont ensuite combinées par une procédure de modélisation dans la grille ArcGIS 9.3. Chaque grille de facteur avait une taille de cellule de 30 m.

### **7.4 Méthodologie adoptée pour l'évaluation du risque de la désertification dans le sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval**

Parmi les objectifs de cette étude est l'évaluation spatiale et quantitative de la sensibilité à la désertification du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval. Basé sur l'approche de MEDALUS, un

modèle régional de calcul géo-spatiale des niveaux de sensibilité a été développé en utilisant les outils SIG et télédétection. Il est donc impérativement primordial d'évaluer spatialement les effets de la désertification pour faire face au phénomène et pouvoir proposer les meilleures stratégies de lutte, de conservation et d'aménagement de cette espace.

Quatre indicateurs principaux de désertification comprenant le sol, le climat, la végétation et la qualité des aménagements ont été déterminés en se basant sur les différents indices proposés par l'approche MEDALUS.

L'approche passe par une analyse des principaux facteurs de la désertification: le sol, le climat, la végétation et la qualité des aménagements. Les cartes obtenues sont intégrées et croisées dans un SIG à l'aide du «*modelbuilder*» sous environnement ArcGIS pour établir une telle carte de vulnérabilité à la désertification. Pour le fonctionnement du *modelBuilder*, voir le chapitre II qui donne plus de détail du fonctionnement de cet outil.

Cette première ébauche cartographique est un outil devant aider les décideurs pour prendre en charge les zones de mise en en repos, l'installation des systèmes de conservation des sols et de l'eau, la mise en valeur par des cultures et la désignation des sites pouvant abriter des infrastructures socio-économiques.

Quatre classes de vulnérabilité multifactorielle à la désertification ont été distinguées :

Zones peu sensibles à la désertification

Zones potentiellement sensibles à la désertification

Zones fragiles à la désertification

Zones critiques à la désertification

#### **7.4.1 Elaboration de la carte de l'Indice de Sensibilité à la désertification (ISD) :**

L'élaboration de la carte de l'indice de sensibilité à la désertification (ISD), selon l'approche MEDALUS, est le résultat du croisement de quatre (04) cartes qui sont : la carte de l'indice de la qualité du climat (IQC), la carte de l'indice de la qualité de sol (IQS), la carte de l'indice de la qualité de la végétation (IQV) et la carte de l'indice de la qualité de système d'aménagement des terres (IQSA) selon l'équation suivante :

$$\text{ISD} = (\text{IQC} \times \text{IQS} \times \text{IQV} \times \text{IQSA})^{1/4} \quad (7.1)$$

Le calcul de chaque indice a été opéré par la moyenne géométrique des différentes sous couches nécessaires des différentes cartes (auxquels sont affectées des scores traduisant leur degré de sensibilité vis-à-vis de la désertification tableau 7.1).

La combinaison des quatre cartes selon l'équation (9.1) permet d'extraite la carte finale d'indice de sensibilité à la désertification selon le modèle suivant (figure 7.1). En réalité on a utilisé 9

cartes voir tableau 7.1. L'outil qui nous a permis de croiser ces cartes, c'est le *modelbuilder* sous environnement ArcGIS figure 7.2.

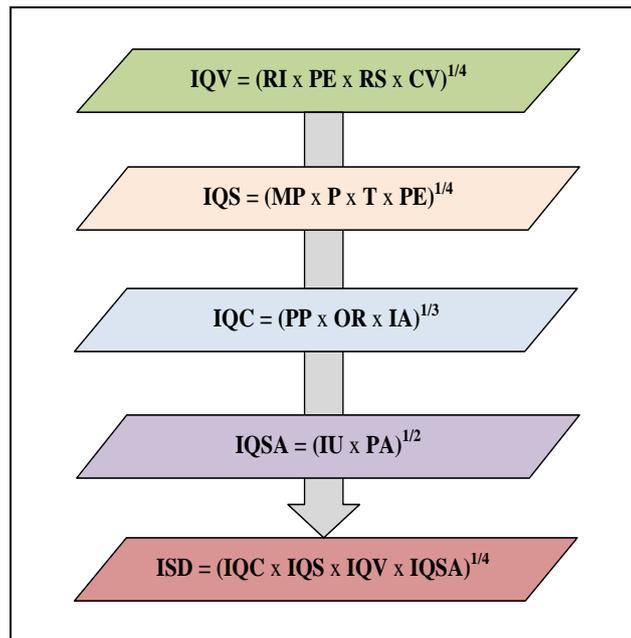


Figure 7.1 : Etapes de calcul de l'ISD selon l'approche MEDALUS

D'une façon générale, les données utilisées sont sous forme d'image satellitaire et de carte topographique ou thématique. Concernant les cartes on doit respecter les étapes suivantes :

1. Scanner la carte avec une résolution de 300 dp.
2. Géo-référencement de la carte (parfois, ça été difficile de géoréférencer des cartes par manque de grille de carte et/ou de projection)
3. Digitalisation de la carte (transformation de la carte sous format numérique)
4. Utilisation du *modelBuilder* :
5. Décomposer la carte selon la nature de chaque zone homogène
6. Affecter un score traduisant le degré de sensibilité vis-à-vis de la désertification (poids pondérant) à chaque zone
7. Assembler ces zones de nouveau sous forme d'une seule carte
8. La même procédure est appliquée pour les différentes cartes.
9. Croisement des cartes.

Le tableau 7.1 illustre les indices attribués aux différentes classes définies à partir des différentes cartes utilisées pour l'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification du sous bassin versant Oued-Touil-Aval. Les normes des indices relatifs au calcul des différents indicateurs de sensibilité à la désertification ont été calibrées et adaptés aux conditions particulières du bassin versant étudié conformément aux données de ce tableau.

#### **7.4.2 Carte de l'Indice de la qualité de la végétation :**

L'indice de qualité de la végétation est la moyenne géométrique des 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 de la couverture végétale (CV) selon la formule suivante :

On a constaté que dans notre cas d'étude que les trois indices **RI**, **PE** et **RS** peuvent être représentés ou remplacés par l'indice de la couverture végétale **CV**, comme on a vu dans le chapitre III paragraphe 3.4, le sous bassin versant Oued-Touil-Aval est caractérisé uniquement par des faciès steppiques :

- *Stipa tenacissima* (l'Alfa).
- *Lygeum spartum* (Sparte).
- *Aristida pungens* (Drinn).

#### **Les parcours à chamaephytes :**

- *Artemisia herba alba* (Armoise blanche).
- *Artemisia campestris* (Armoise champêtre).
- *Arthrophytum scoparium* (Remth).
- *Thymelaea microphylla* (Methnane).

#### **Les parcours à espèces crassuléscentes :**

- *Atriplex halimus*.
- *Salsola vermiculata*.
- *Suaeda fructuocosa*.

#### **Les parcours dégradés et post culturales :**

- *Noaea micronata*.
- *Piganum harmala*.
- *Asatragalus armatus*.

Ces faciès qui présente pratiquement les mêmes caractéristiques point de vue résistance à la sécheresse et le comportement vis-à-vis de l'érosion et aux incendies, donc il y a absence des forêts, des matorrals ou de l'arboriculture fruitière.

Cependant pour élaborer la carte de la couverture de végétation pour l'ensemble du bassin versant on a fait recours à la télédétection en utilisant les images satellites LANDSAT\_8 OLI acquise le 11 Mars 2014, cette image a été utilisée aussi dans le Chapitre V : Cartographie diachroniques des changements dynamiques du sous bassin versant Oued-Touil-Aval.

Alors la méthodologie appliquée pour la détermination de la carte de la couverture de végétation est la même méthodologie qui a été appliquée dans le chapitre V.

Tableau 7.1 : Normes affectées aux différents indices utilisés

<b>Indice de la qualité des sols (IQS)</b>								
Matériaux Parentaux (Roche mère)			Humidité moyenne annuelle disponible du sol «RU» (mm)			Pente		
Classe	Description	Indice	Classe	Description	Indice	Classe	Description	Indice
1	Dure	1	1	Elevée 354-461	1	1	< 5°	1
2	Compact	1.5	2	Moyenne 216-354	1.33	2	5° – 10°	1.33
3	Tendre	2	3	Faible 99-216	1.66	3	10° - 15°	1.66
			4	Très faible 36-99	2	4	> 15°	2
<b>Indice de la qualité du climat (IQC)</b>								
Isohyète			Sous étage bioclimatique			Orientation		
Classe	Description	Indice	Classe	Description	Indice	Classe	Description	Indice
1	> 300mm	1	1	Aride supérieur	1.66	1	NE-NW	1
2	300 – 250mm	2	2	Aride moyen	2	2	SE-SW	2
<b>l'Indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA)</b>								
l'intensité d'utilisation des terres			les politiques d'aménagement					
Classe	Description	Indice	Classe	Description	Indice			
1	faible	1	1	Aménagé	1			
2	Modérée	1.5	2	Non aménagé	2			
3	Elevée	2						
<b>Indice de la qualité de la végétation (IQV)</b>								
			Couverture Végétale (CV)					
			Classe	Description	Indice			
			1	Elevée	1			
			2	Moyenne	1.33			
			3	Faible	1.66			

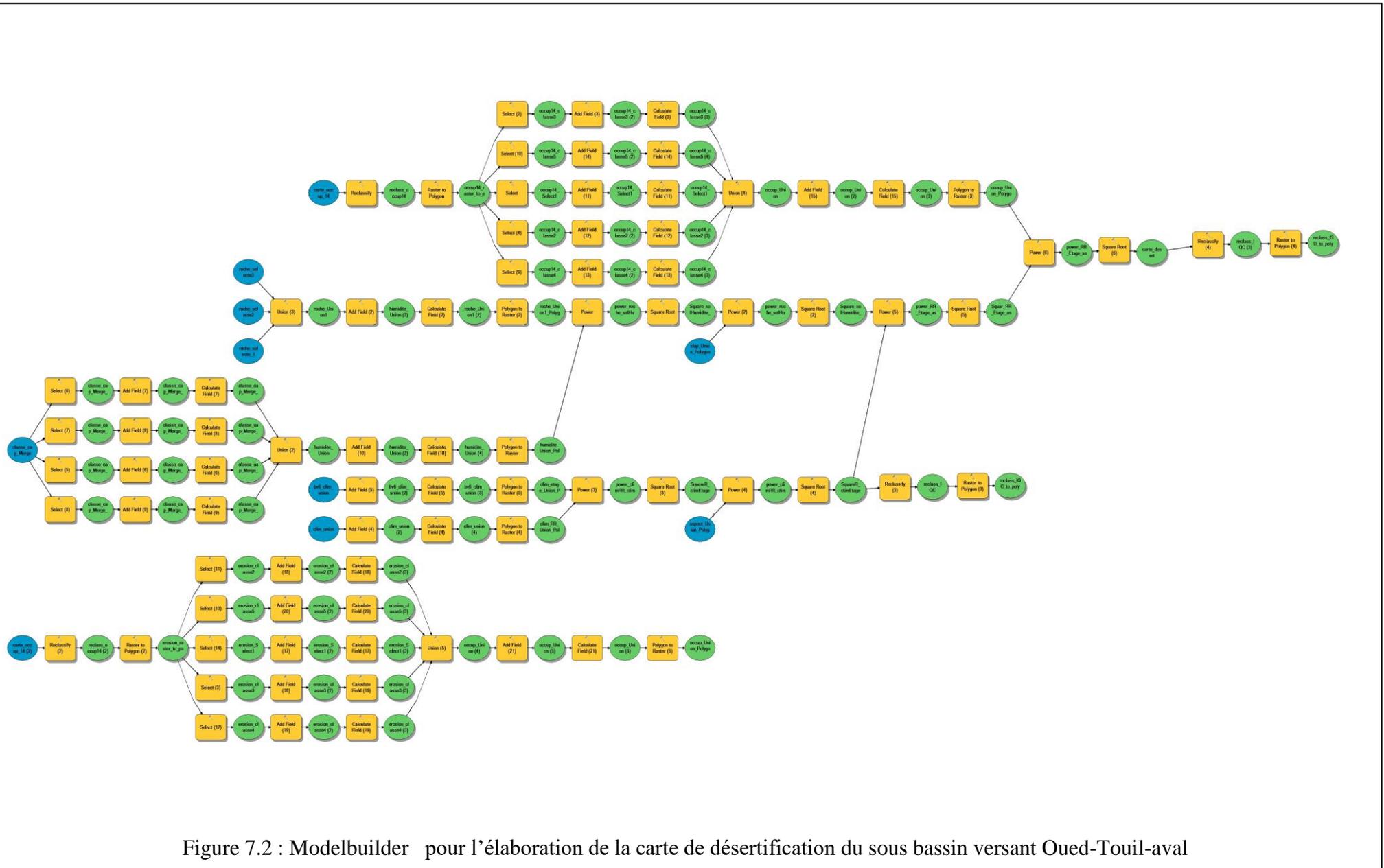


Figure 7.2 : Modelbuilder pour l'élaboration de la carte de désertification du sous bassin versant Oued-Touil-aval

### 7.4.3 Carte de l'Indice de la qualité des sols

La carte de l'indice de qualité des sols (IQS) figure 7.11, est obtenue par croisement des données du matériau parental (MP) c'est-à-dire la roche mère, et ceci sous forme d'une carte de classe lithologiques figure 7.4, ainsi de la profondeur du sol (P), de la texture du sol (T) et de la pente du terrain (Pe) figure 7.5. Donc, quatre couches d'information sont nécessaires pour élaborer la carte de l'IQS. L'indice de qualité des sols est calculé en se basant sur l'équation suivante :

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

La couche relative à la roche mère figure 7.3 a été extraite suite à la digitalisation de la carte géologique au 1/500.000 de l'Algérie (voire chapitre III paragraphe 3.3.2) figure 3.16.

En raison de l'indisponibilité de cartes des sols à une échelle plus grande, la carte des textures et la carte des profondeurs des sols ont été remplacées par la carte des classes de la disponibilité de l'humidité annuelle du sol figure 7.5, par évidence l'humidité du sol est fonction non plus de la profondeur et de la texture mais elle est fonction aussi de la structure du sol de la charge caillouteuse et de la salinité, autrement dit l'humidité du sol est la résultante des caractéristiques du sol. Cette carte a été tirée de la carte de l'humidité annuelle du sol de l'étude Australienne figure 7.6. En réalité la carte de l'humidité annuelle du sol du sous bassin versant Oued-Touil-Aval est un mosaïquage de quatre cartes de l'humidité du sol annuelle des sols des communes du sous bassin. Cette carte nous a pris beaucoup de temps pour sa réalisation.

### 7.4.4 Traitement des Modèles Numériques de Terrain

La carte des pentes et la carte des expositions ci-dessous du sous bassin versant aval d'Oued-Touil-Aval a été extraite du modèle numérique de terrain STRM (Shuttle Radar Topography Mission).

#### a) activités réalisées

Téléchargement du MNT: on a téléchargé les données SRTM du site de l'USGS/NASA. On a utilisé deux scènes d'images MNT (ASTGTM\_N35E002\_dem.tif et ASTGTM\_N36E002\_dem.tif) pour couvrir le toute la zone d'étude.

#### b) Mosaïquage des scènes d'images MNT:

La carte du MNT du sous bassin versant Oued-Touil-Aval, figure 7.8, a été élaborée suit a un mosaïquage des deux scènes d'images MNT ci-dessus, en choisissant comme masque d'analyse les contours de la zone d'étude.

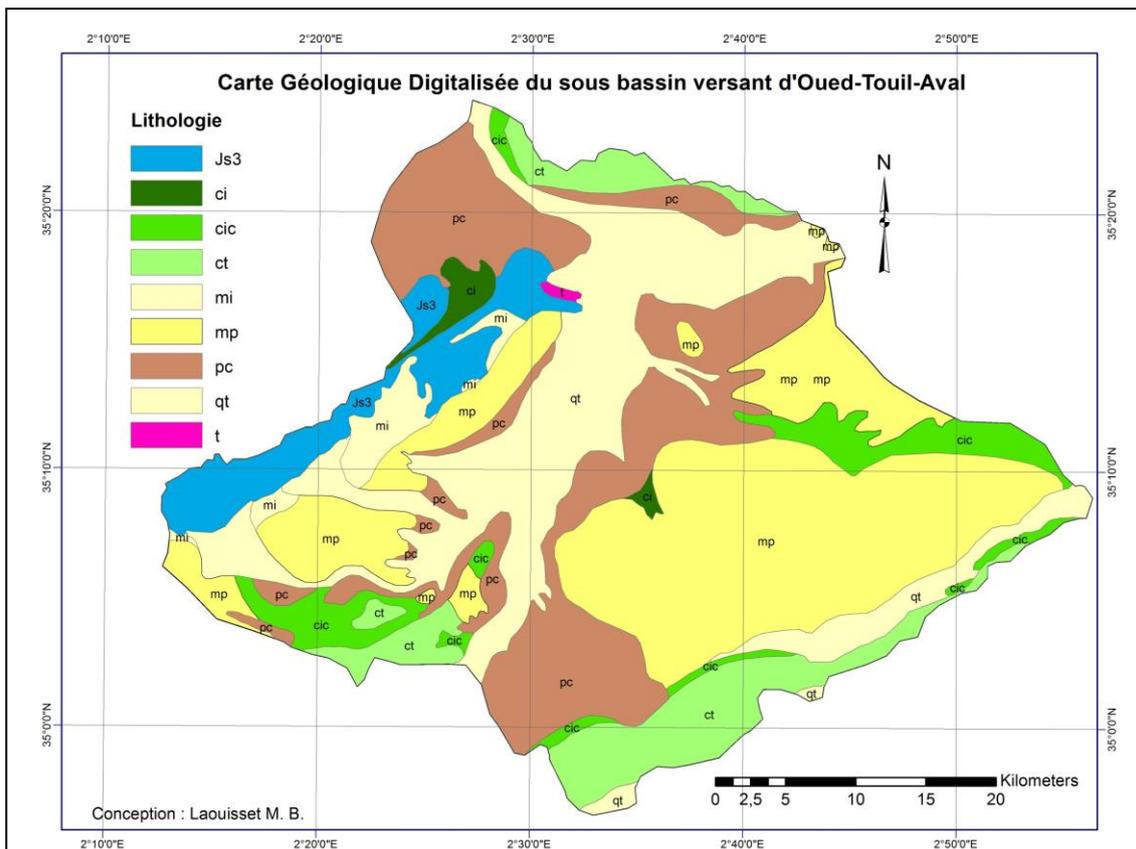


Figure 7.3 : Carte géologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

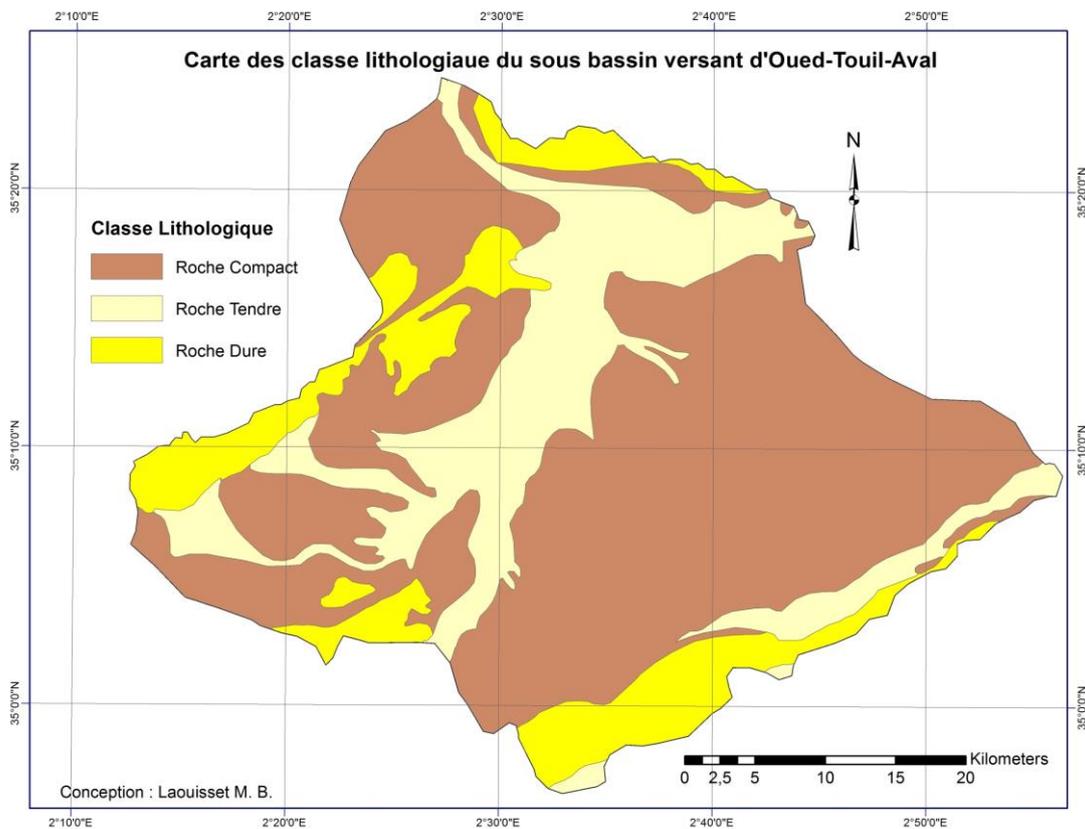
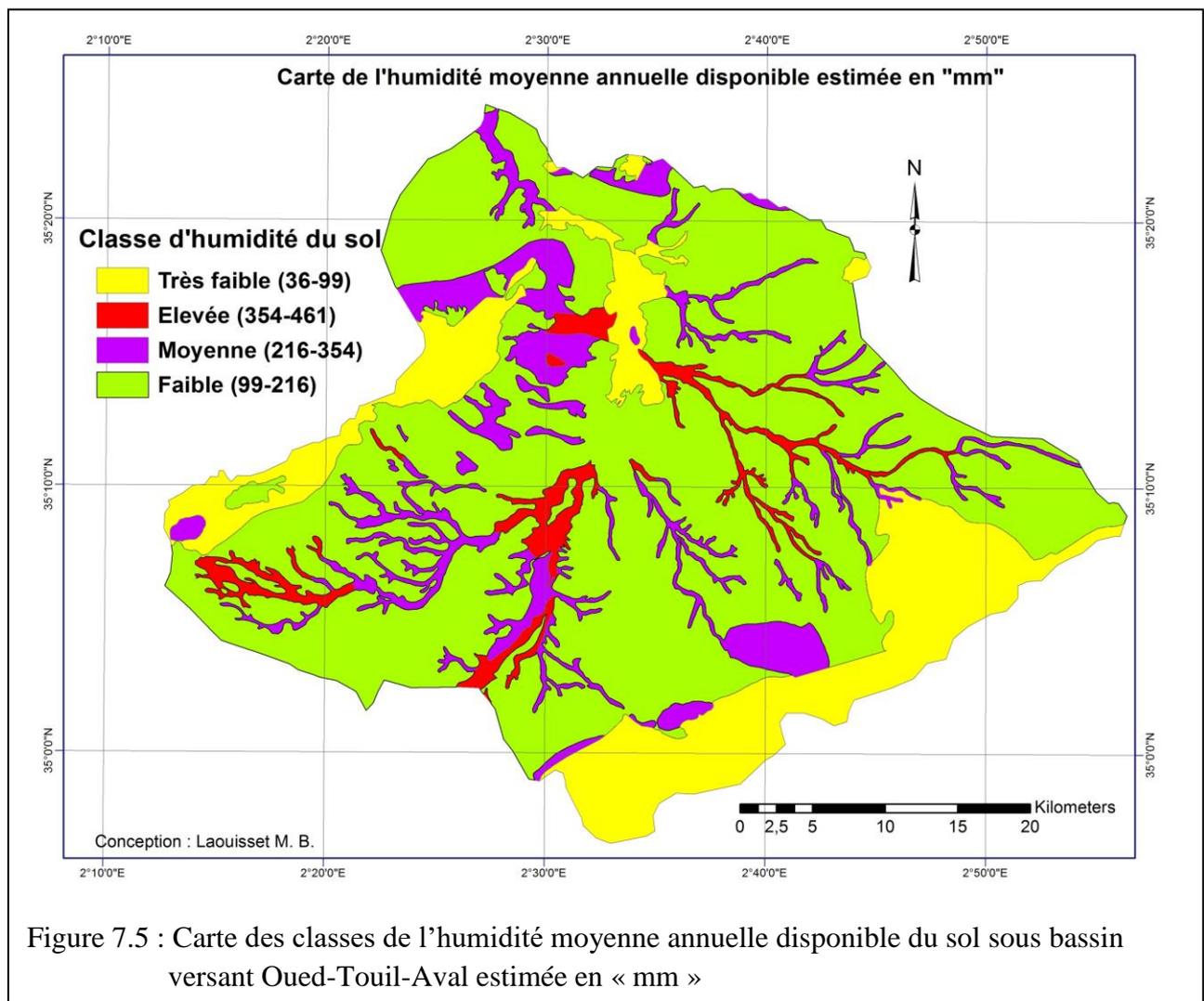
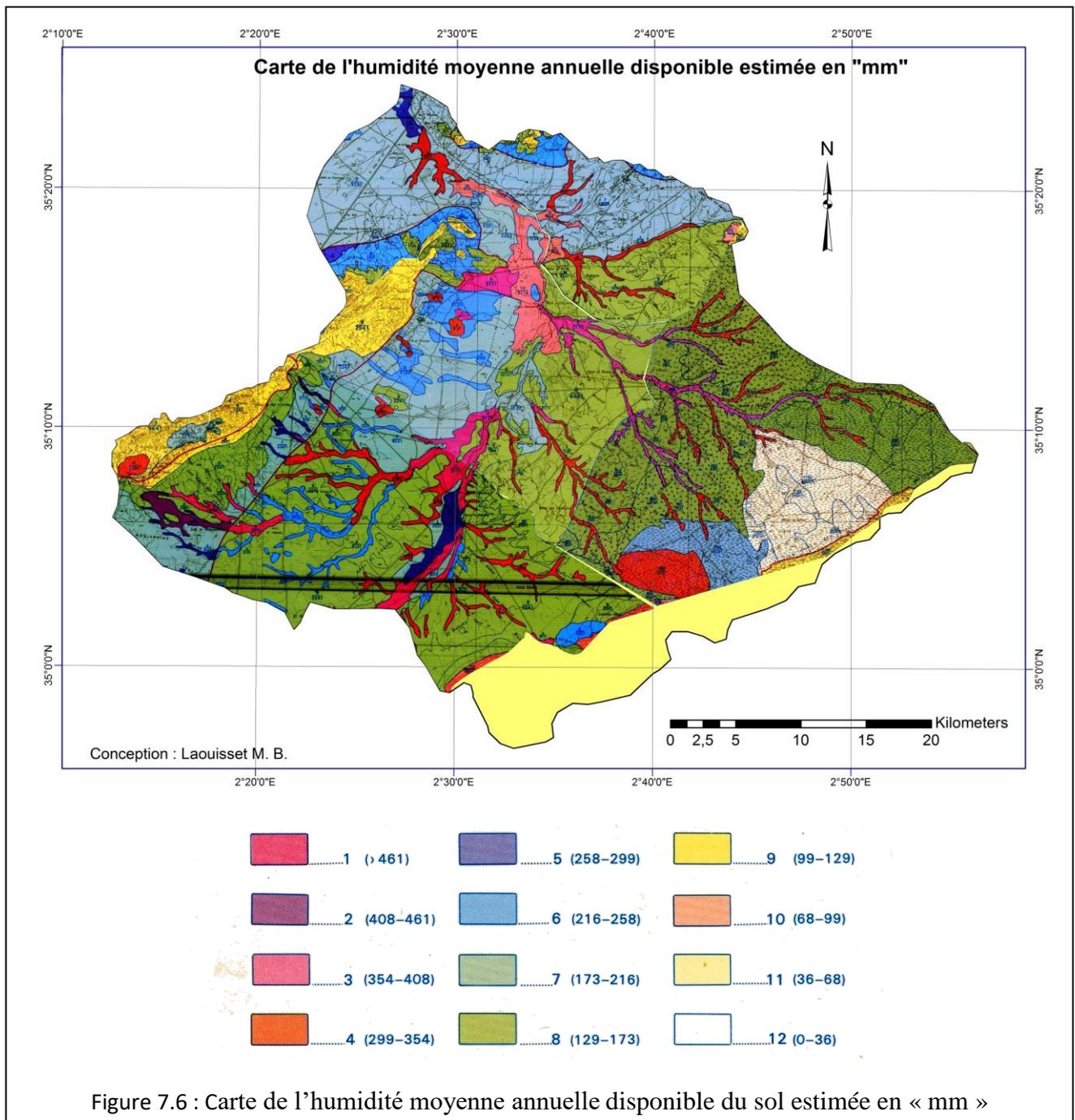


Figure 7.4 : carte des classes lithologique du sous bassin versant Oued-Touil-Aval



### c) Corrections du MNT

Avant l'extraction des cartes dérivées du MNT, des prétraitements ont été effectués et visent à réaliser des corrections sur la donnée brute afin d'améliorer sa qualité. En effet, plusieurs « défauts » peuvent perturber les calculs de produits dérivés à partir des MNT. L'obstacle le plus souvent rencontré est la présence des formes topographique concave (dépression) et/ou convexe (bosses) qui sont généralement des aberrations de mesures ou des biais de calcul générés lors de la création du MNT ou liés à l'imprécision du MNT. Ces défauts peuvent être d'origine naturelle ou provenir aussi de l'effet de sursol quand il s'agit d'un Modèle Numérique de Surface (MNS). Les dépressions ou «trous» peuvent gêner les calculs numériques effectués sur le MNT qui génèrent le réseau hydrographique en empêchant l'écoulement virtuel des eaux. Les bosses ne sont pas gênantes car l'eau peut les contourner, mais peuvent provoquer des anomalies dans la détection du réseau hydrographique. Concrètement, ces prétraitements visent à corriger les « bosses » et les « dépressions ».



#### d) Elaboration des cartes des pentes et la carte des expositions

La carte des pentes figure 7.9 est élaborée suite à l'utilisation l'outil «slop» dans ArcGIS. Concernant la conception de la carte des expositions, figure 7.10, on a utilisé l'outil «aspect».

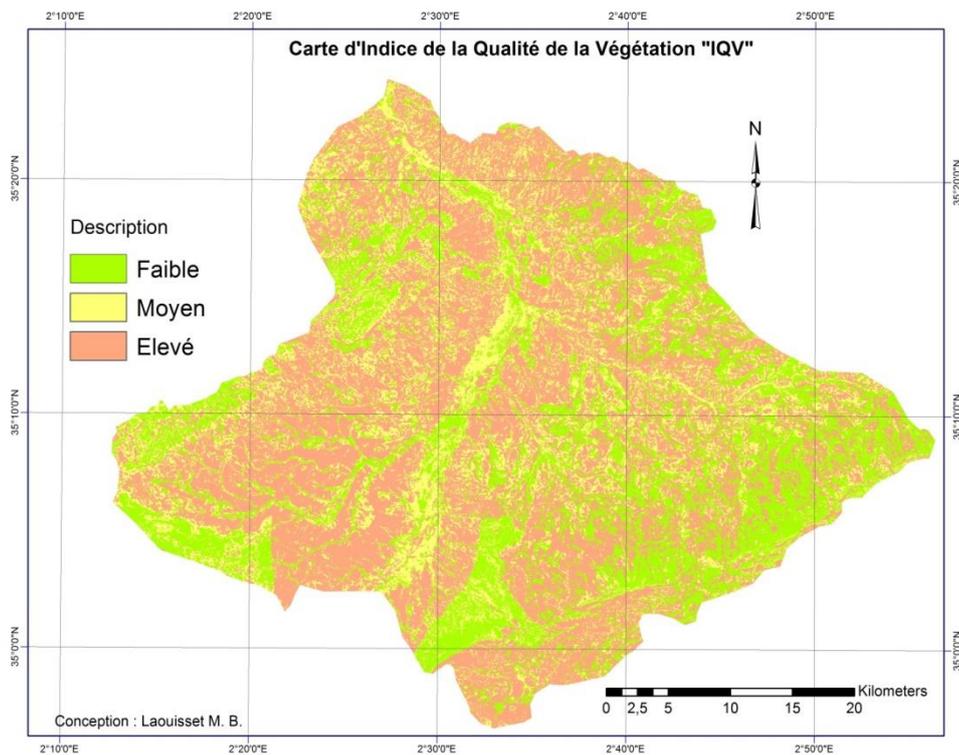


Figure 7.7 : Carte de l'Indice de la qualité des sols IQV

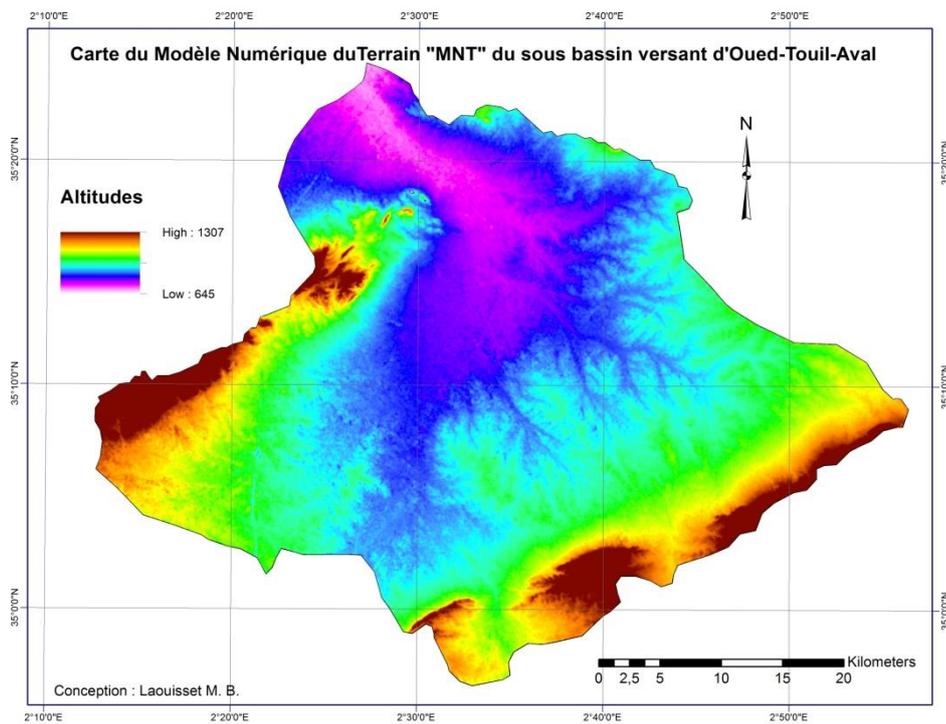


Figure 7.8 : carte du MNT du sous bassin versant Oued-Touil-aval

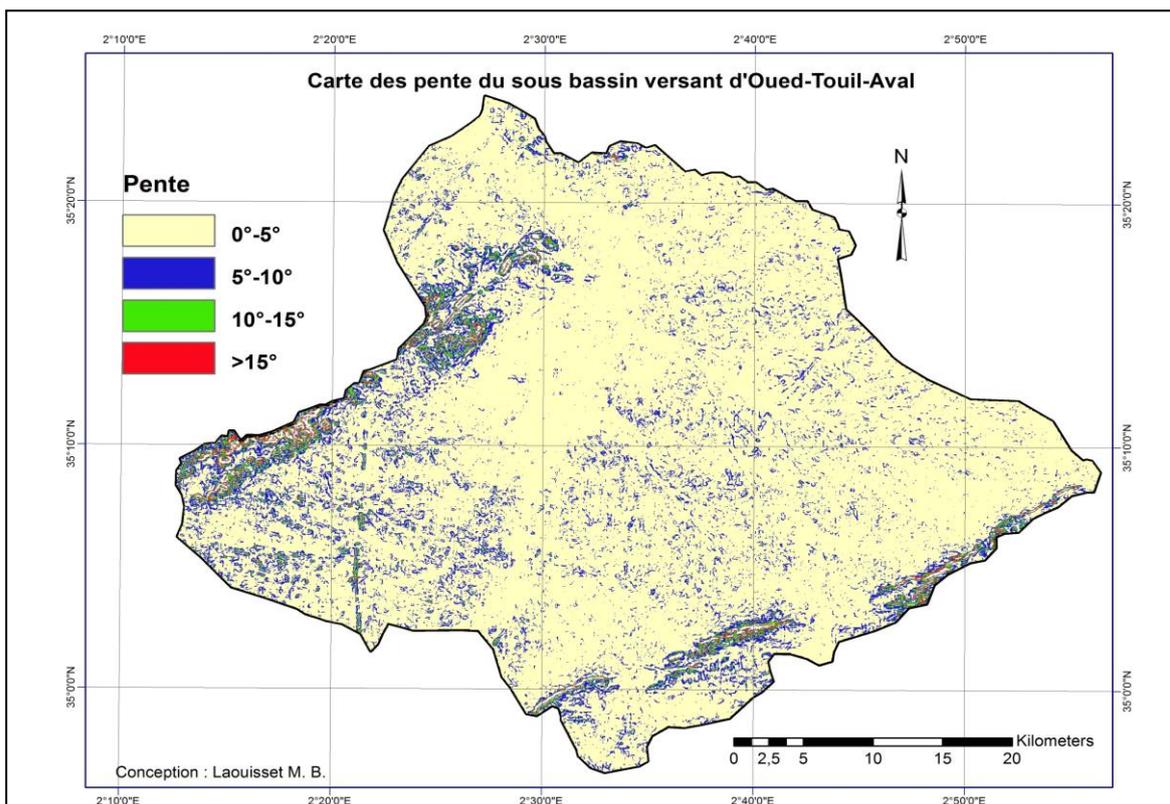
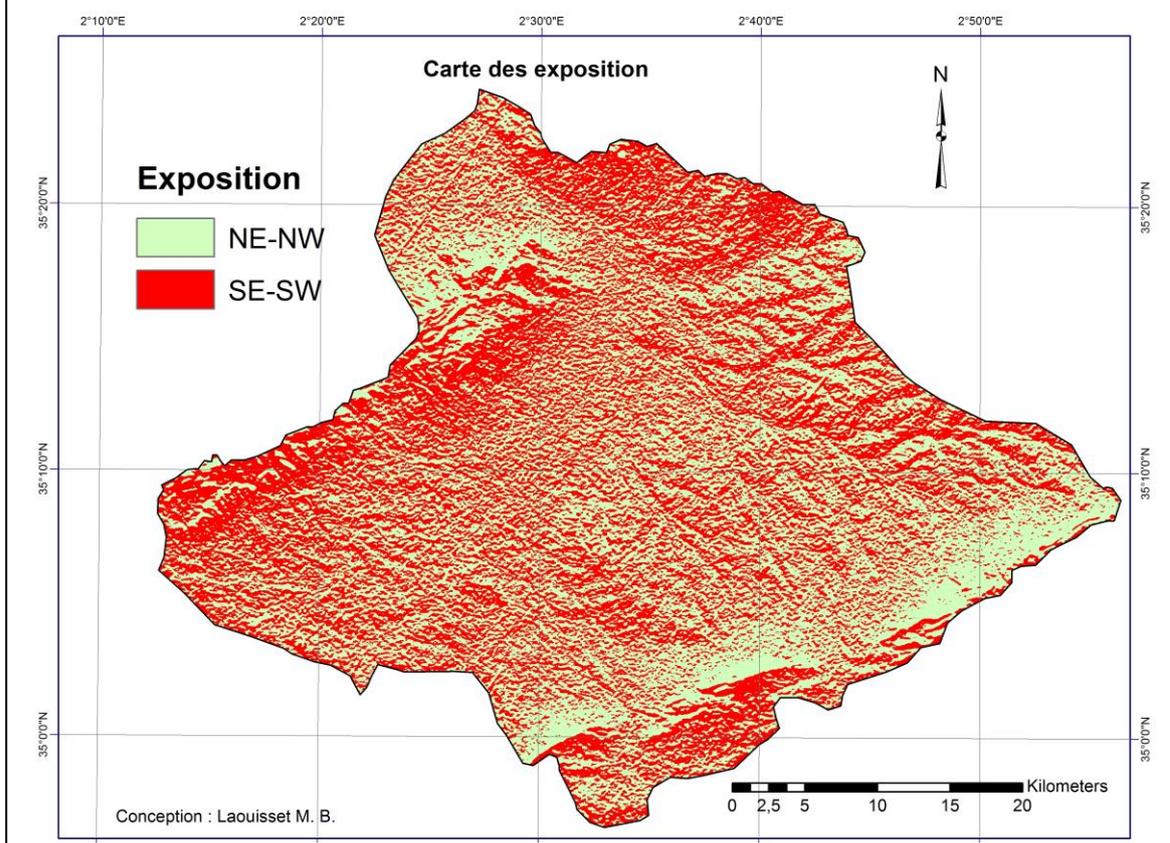


Figure 7.9 : Carte des pentes du sous bassin versant Oued-Touil-aval



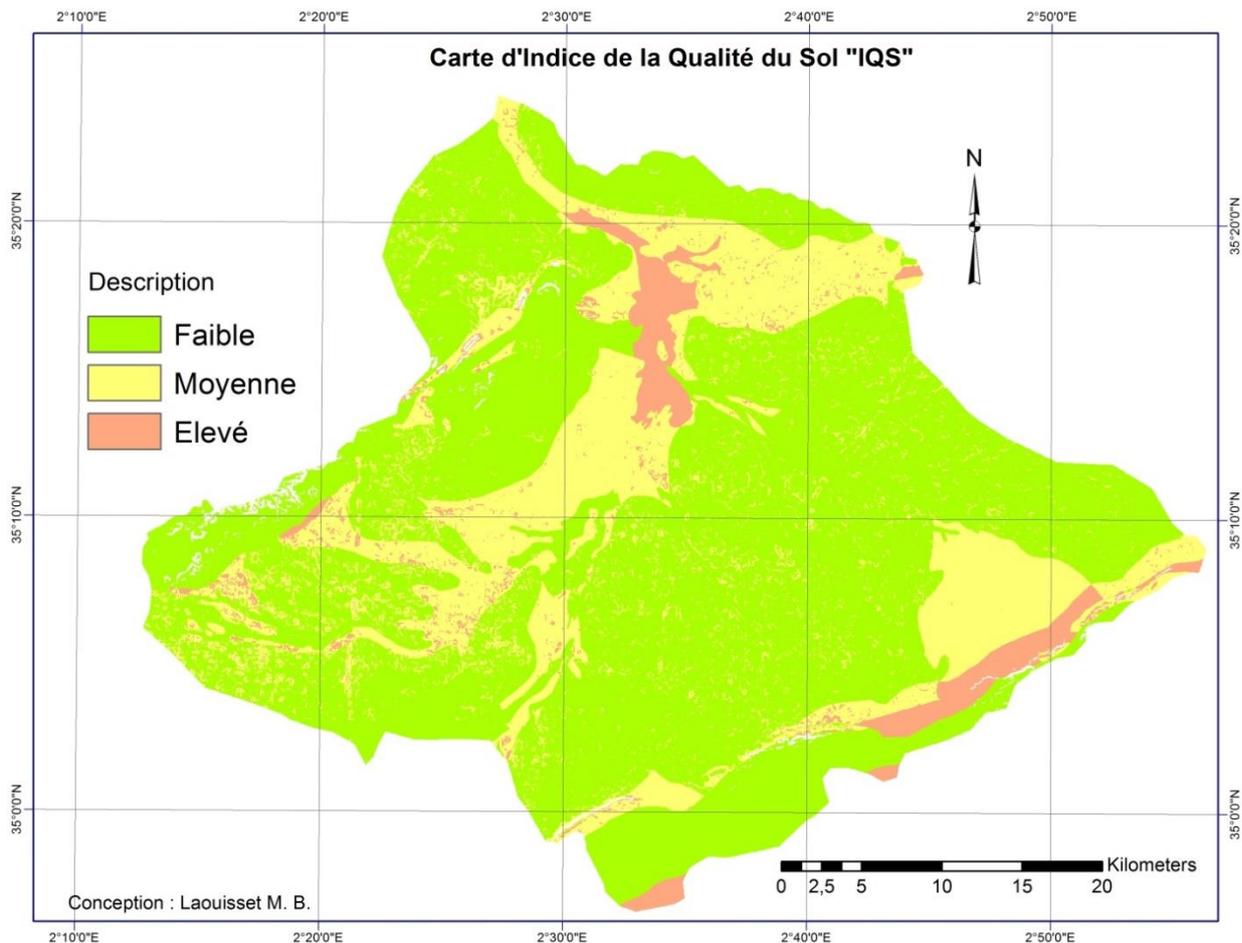


Figure 7.11 : Carte d'indice de la qualité du sol du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

#### 7.4.5 Carte de l'Indice de la qualité du climat :

La carte de l'indice de la qualité du climat « IQC » figure 7.14, selon l'approche MEDALUS, est obtenue en croisant les trois couches d'information à savoir la carte, ci-dessus figure 7.10, de l'exposition du sol par rapport au soleil (OR), la carte des isohyètes (PP) figure 7.12 et la carte des étages bioclimatiques (IA) figure 7.13, moyennant l'équation suivante :

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

La carte des isohyètes a été extraite de la carte des ressources hydrique de l'étude australienne faite dans cette région (voir chapitre III, paragraphe 3.5.10, figure 3.22).

La carte des étages bioclimatiques a été extraite de la carte des étages bioclimatiques des régions steppiques (voir chapitre III paragraphe 3.2.9, figure 3.13)

La couche d'information relative à la carte des expositions ci-dessus, figure 7.10, a été tirée du modèle numérique de terrain.

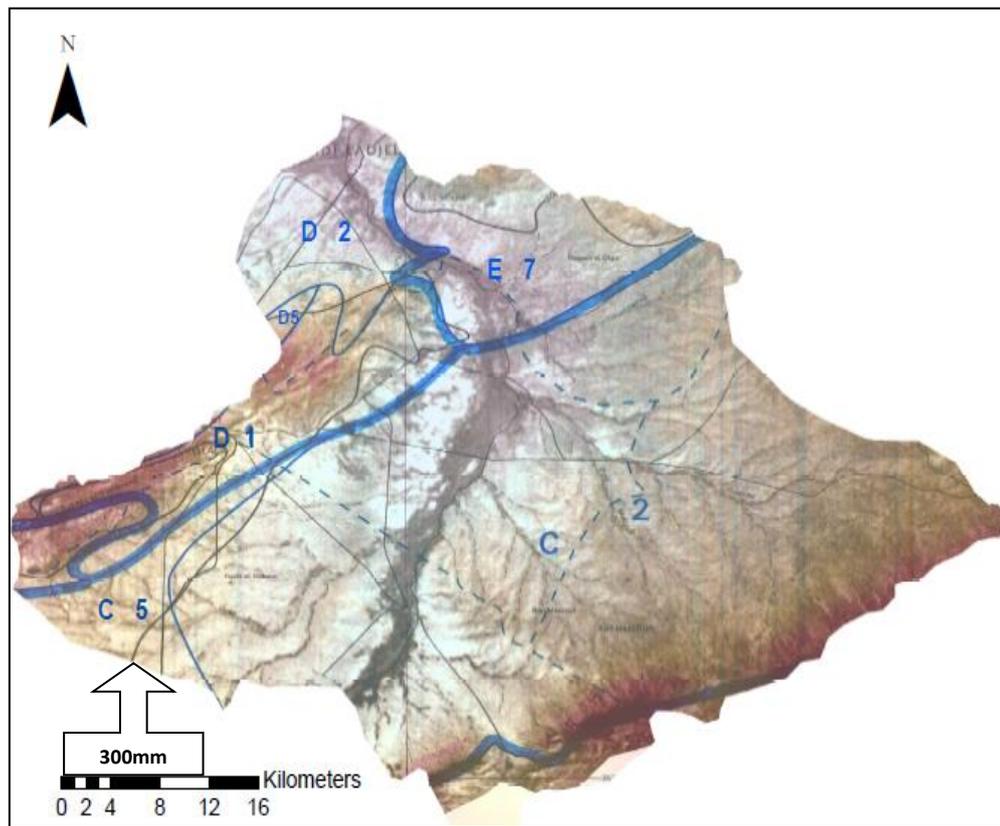
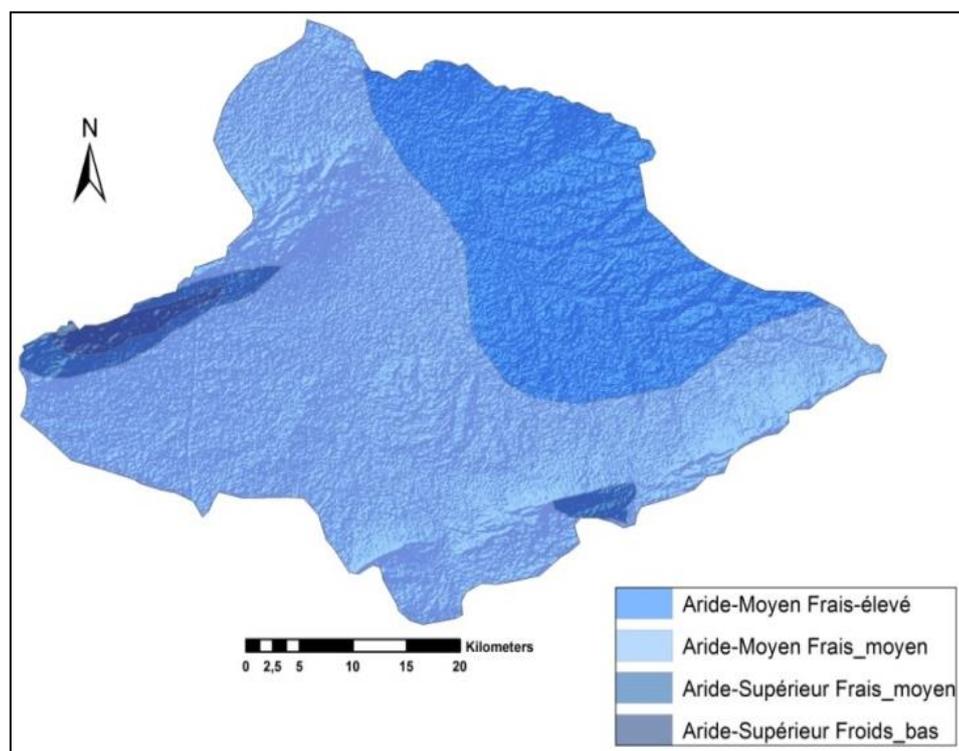


Figure 7.12 : Carte des isohyètes du sous bassin versant Oued-Touil Aval



Conception : Laouisset M.B.

Figure 7.13 : Carte des étages bioclimatiques du sous bassin versant Oued-Touil Aval

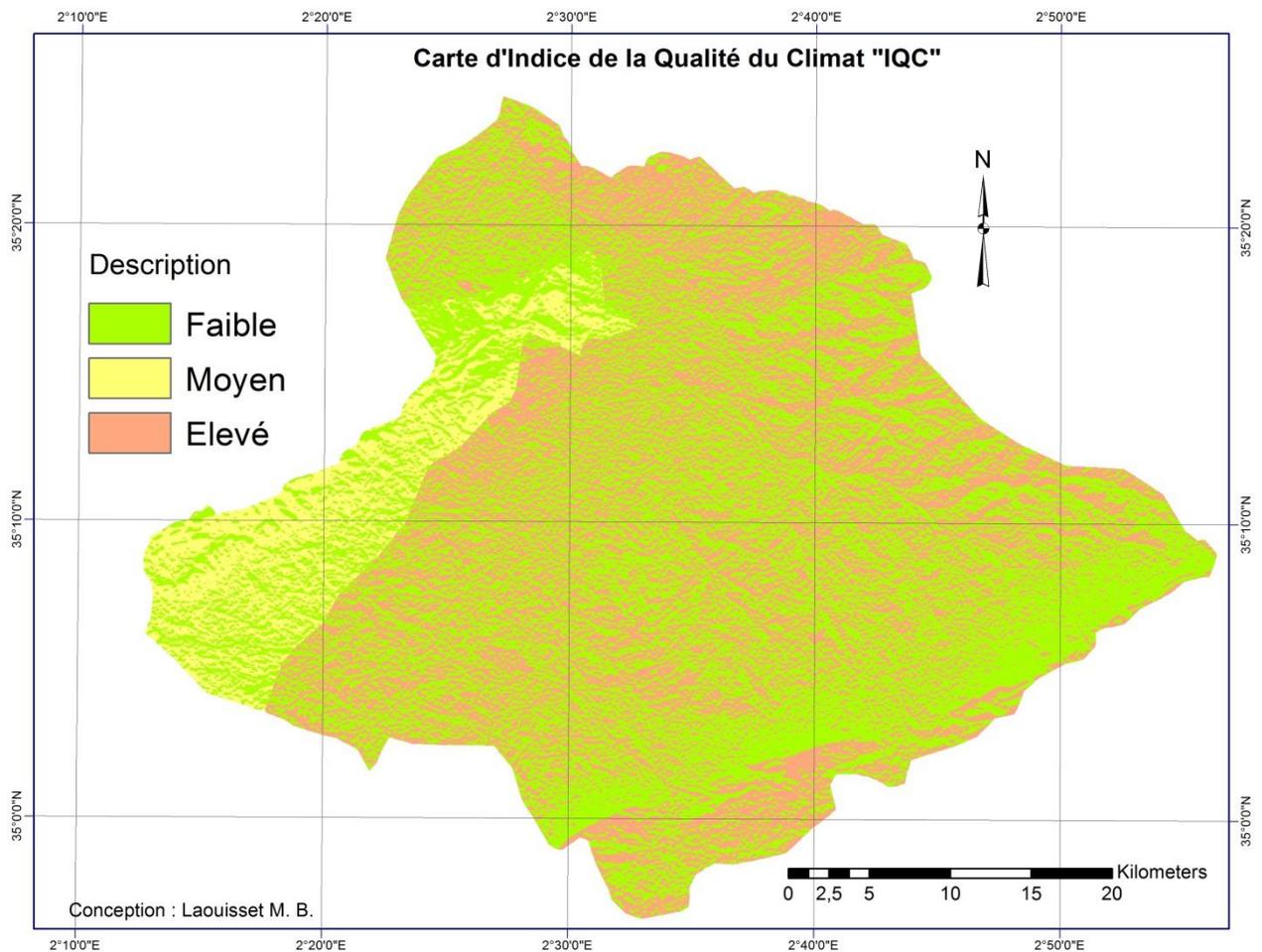


Figure 7.14 : La carte de l'indice de la qualité du climat du sous bassin versant Oued-Touil Aval

#### 7.4.6 Carte de l'Indice de la qualité du système d'aménagement :

Les paramètres utilisés pour définir la qualité du système d'aménagement des terres dans la zone d'étude, concernent l'intensité d'utilisation des terres (IU) figure 7.15 et les politiques d'aménagement (PA), figure 7.15, engagés pour lutter contre le phénomène de la désertification. La carte de l'Indice de la qualité du système d'aménagement « IQSA » figure 7.15 représente la moyenne géométrique des valeurs pondérées attribuées à ces paramètres selon la formule suivante :

$$IQSA = (IU \times PA)^{1/2}$$

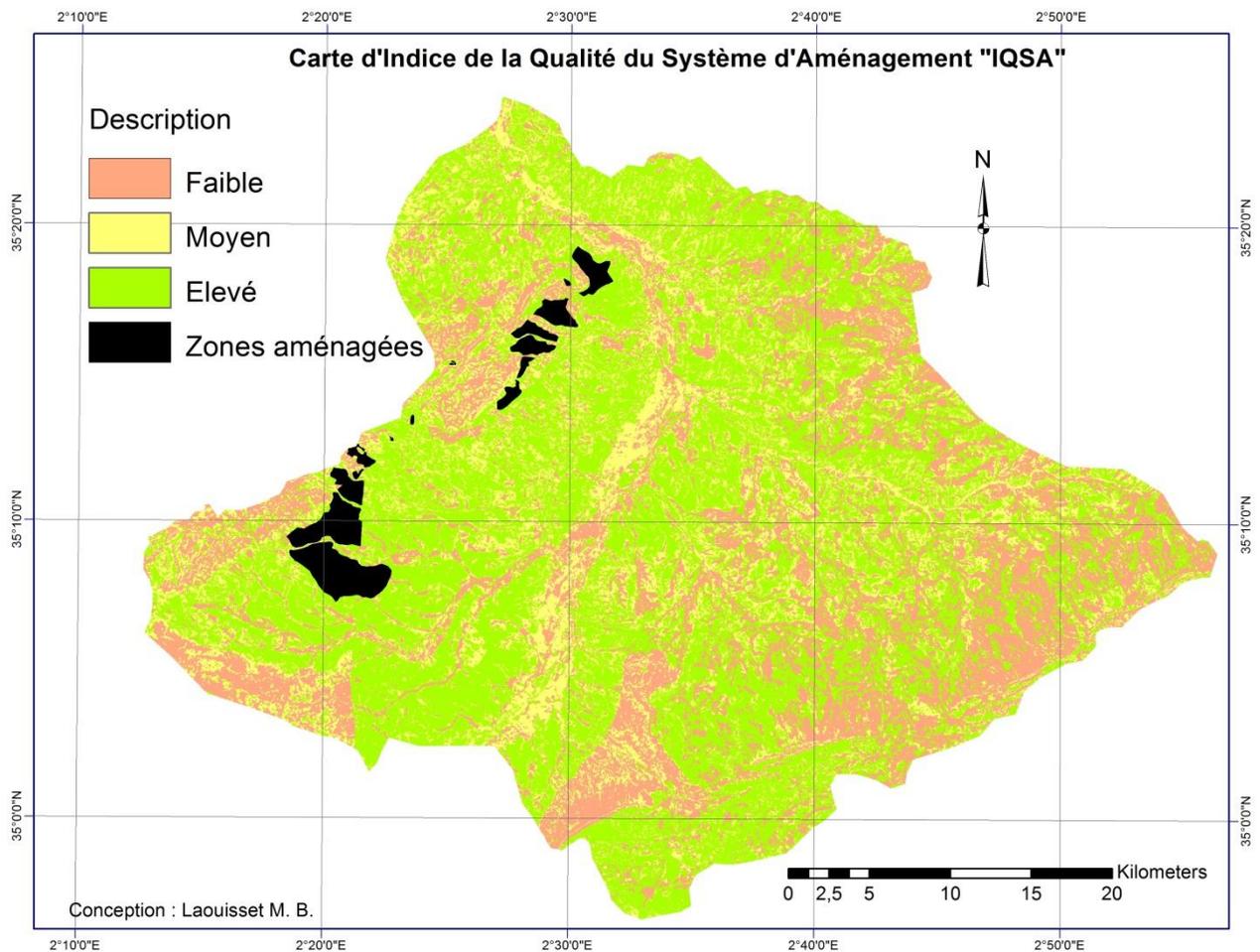


Figure 7.15 : Carte de l'Indice de la qualité du système d'aménagement

## 7.5 Résultats et Discussions :

L'application de l'approche MEDALUS pour l'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification dans le sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval (Figure 7.16) a permis d'élaborer quatre cartes d'indice de qualité à savoir : la carte d'indice de la qualité du climat (IQC), la carte d'indice de la qualité du sol (IQS), la carte d'indice de la qualité de la végétation (IQV) et la carte d'indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA). Les normes de la classification de la carte de sensibilité à la désertification obtenue par croisement de ces quatre cartes « indice » en utilisant le *modelbuilder* sous environnement Arc-GIS, ont permis de distinguer quatre classes de sensibilité à la désertification : zones critiques, zones fragiles, zones potentiellement sensibles et les zones peu sensibles (Tableau 7.2)

Vu la superficie relativement petite du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval, qui est de 174075 ha, on a constaté à travers la carte de l'indice de sensibilité à la désertification figure 7.16 que l'indice de la qualité de la végétation emporte sur les autres indices.

Tableau 7.2: Classes et indice de sensibilité à la désertification (ISD)

Classe	Description	ISD
1	Zones critiques 2	1.55-1.85
	Zones critiques 1	1.47-1.55
2	Zones fragiles 2	1.38-1.47
	Zones fragiles 1	1.26-1.38
3	Zones potentiellement sensibles	1-1.25
4	Zones peu sensibles	1

Le tableau 7.3 donne l'importance en termes de superficie des quatre classes de sensibilité à la désertification dans le sous bassin versant d'Oued--Touil-Aval. Ces valeurs montrent que plus de la moitié du sous bassin, soit 51%, est classée fragile à critique. Ces zones représentent surtout les parcours steppique. Autrement dit, plus de de la moitié de cette région est dégradée et sa confirme les résultats du chapitre V : Cartographie diachronique des changements dynamiques du sous bassin versant Oued-Touil-Aval.

Le reste, c'est-à-dire les zones de montagne et les mises en repos sont plutôt classées potentiellement sensibles à peu sensibles.

Tableau 7.3 : Superficies et normes des quatre classes de sensibilité à la désertification

Classe	Description	ISD	Superficie (ha)	%
1	Zones critiques 2	1.55-1.85	25499	15
	Zones critiques 1	1.47-1.55		
2	Zones fragiles 2	1.38-1.47	63251	36
	Zones fragiles 1	1.26-1.38		
3	Zones potentiellement sensibles	1-1.25	38863	22
4	Zones peu sensibles	1	46444	27

En outre l'application de l'approche MEDALUS pour l'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification dans le sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval (Figure 7.16) a permis de distinguer 4 grandes zones de sensibilité à la désertification à savoir :

➤ Les zones fragile à critiques ; elles occupent 51 % de la zone d'étude, soit 88750 ha. Ces zones se localisent surtout au niveau des glacis terrasses encroutés (voir chapitre III, paragraphe 3.3.2) qui sont caractérisé par une pente douce. La dominance de ces zones peut être expliquée par la qualité faible du sol et la dégradation de la couverture végétale qui est due essentiellement

au facteur anthropozoïque. Ces zones nécessitent une attention particulière pour leurs aménagements et leurs mises en valeur.

➤ Les zones potentiellement sensibles à la désertification qui présentent 22% de la zone d'étude, soit 38863 ha, se localisent surtout au niveau du lit majeur d'Oued-Touil et les glacis de raccordement, ces zones sont exploitées par les agro-éleveurs, elles sont menacées par les crues occasionnelles d'Oued-Touil. Ces zones doivent être protégées contre ces crues par les différents systèmes de conservation de l'eau et du sol «CES».

➤ Les zones peu sensibles qui occupent 27%, soit 46444 ha, se localisent au niveau des glacis encrouvés des piedmonts qui présentent une pente plus ou moins abrupte, difficile accédée par les animaux, et les crêtes des monts qui entourent cette région en particulier le mont de la chaîne de Ben-Hammed. Une partie de ces zones (la partie ouest du sous bassin, figure 7.15) est protégée par les banquettes contre l'érosion hydrique. D'une façon générale, lors de notre prospection du sous bassin, on a observé entre les banquettes, il y a absence des cultures soit spontanées ou autres cultures, donc ces zones nécessitent un reboisement juste derrière les banquettes, surtout par une arboriculture rustique tel que l'olivier, pistachier ou autres cultures qui s'adaptent mieux dans ces conditions d'aridité.

## 7.6 Conclusion

Les résultats de ce chapitre montrent que l'évaluation de la sensibilité à la désertification du sous bassin versant Oued-Touil-Aval et sa cartographie en appliquant l'approche MEDALUS, calibrée et adaptée aux conditions locales du milieu, a donné un résultat satisfaisant. Néanmoins, la méthode utilisée nécessite la mobilisation d'une grande masse de données (09 couches raster). Ainsi, la distribution géographique des zones de risque correspond d'une manière appropriée à la géomorphologie montrant divers degrés de sensibilité au phénomène de la désertification et liés essentiellement à la topographie et à la qualité du sol.

L'utilisation des outils SIG en particulier le *modelBuilder* et de la télédétection ont permis de faciliter l'élaboration des cartes d'indices de la méthode MEDALUS et ceci par une multitude de fonctions d'analyses spatiales et des méthodes de classification. Le croisement de ces cartes a permis l'élaboration d'une carte de sensibilité à la désertification où en chaque point de la zone il est possible de savoir son niveau de sensibilité.

Cette carte peut être utilisée comme outil d'aide à la décision pour l'aménagement de cette région et la planification des projets de lutte contre la désertification.

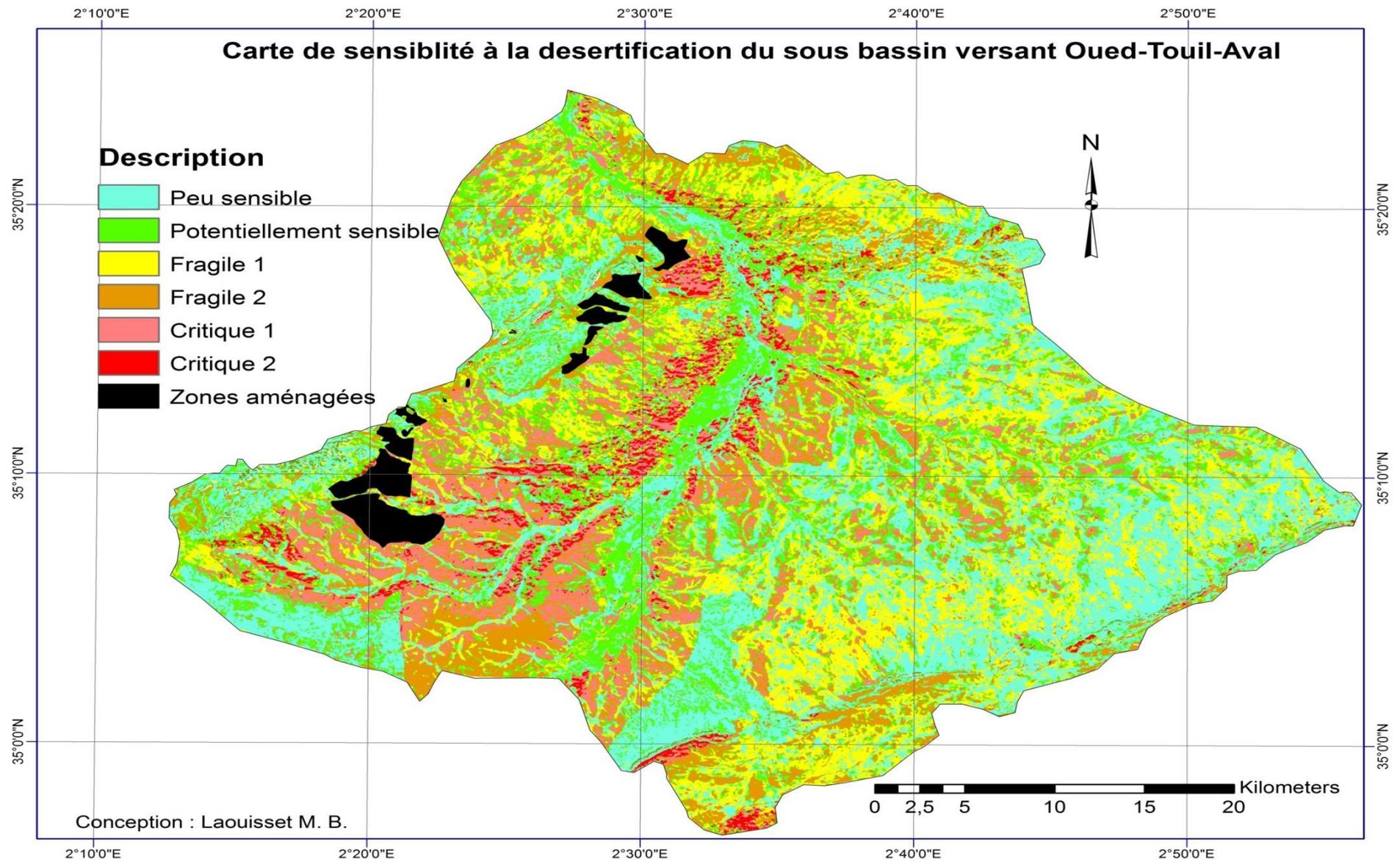


Figure 7.16 : Carte de sensibilité à la désertification du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

# **Chapitre VIII**

## **Schémas d'aménagement du sous bassin versant Oued-Touil-Aval**

## 8.1 Introduction

L'objectif principale de cette thèse est l'élaboration d'un schéma d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral du sous bassin versant Oued-Touil-Aval. Ce schéma d'aménagement est basé essentiellement sur l'élaboration de la carte d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral de ce sous bassin figure 8.4. Parmi les résultats de ce travail est la conception d'une base de données géomatique détaillée de cette région qui va servir comme outils d'aide à la décision aux différents service et/ou organisme chargé de la gestion de cette espace steppique. Cette base de données est susceptible d'être actualisé aisément selon les situations et les requêtes. Alors que cette carte d'aménagement est basé sur l'utilisation de l'information spatiale des couvertures géologique, hydrogéologique, morphologiques, pédologiques, état de la couverture du sol, réseaux hydrographiques, etc...Pour chaque couverture, nous avons distingué la base topologique (limites spatiales des thèmes reconnues) de la base dite sémantique qui décrit les caractéristiques de chaque couche (base de données descriptives). Ces couches thématiques, qui sont issues de plusieurs sources, sont transformées en format numérique ce qui nous a conduit à la constitution d'une base de données. L'outil qui nous avons utilisé pour la gestion des données (la base de données) est un système d'information géographique «SIG». Dans le chapitre II, nous avons entamé en détaille le fonctionnement d'un SIG. Cependant, il existe plusieurs SIG, parmi lesquels, le logiciel ArcGIS que nous avons choisis. L'avantage de ce logiciel permet de travail dans les deux modes «raster» et «vecteur» et de proposer, à travers une logique de requêtes de croisement et de pondération de contraintes, les meilleurs plans pour un aménagement raisonné. Le modèle qui nous a permis de croiser ces couches d'information sous environnement ArcGIS est le *modelBuilder*.

## 8.2 Elaboration de la carte d'aménagements hydro-agro-sylvo-pastoral du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

Suite de ce qu'on vu au chapitre II concernant le fonctionnement du *modelbuilder*, sous environnement ArcGIS, ce dernier permet le croisement des différentes couches d'informations. La saisie et le stockage des cartes thématiques sont effectués en représentation vecteur. De même, les opérations de superposition et d'affichage des cartes utilisent la même représentation. Cette représentation est moins exigeante en espace mémoire. Néanmoins l'actualisation est aisée en mode matriciel.

La base de données cartographiques (information graphique) qui a été intégrées dans la base de données du *modelbuilder* est composée de :

1. Carte lithologique;
2. Carte pédologique ;

3. Carte d'occupation du sol,
4. carte des isohyètes
5. Carte des étages bioclimatiques
6. Carte de l'humidité moyenne annuelle disponible du sol
7. Carte de zones aménagées (CES);
8. Carte des classes des pentes ;
9. Carte des expositions
- 10. Carte synthèse de sensibilité à la désertification**

En conséquence, la carte d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral de ce sous bassin est basée principalement sur la carte de sensibilité à la désertification du sous bassin versant Oued-Touil-Aval et qui a fait l'objet du chapitre VII. La carte de sensibilité à la désertification elle-même est le résultat de croisement des 9 cartes qui sont arrangées ci-dessus de 1 à 9. Pour compléter l'analyse du schéma d'aménagement, il est absolument nécessaire d'utiliser les cartes suivantes :

1. Carte du réseau hydrographique, figure 8.1
2. Carte des ressources en eau souterraine, figure 8.2
3. Carte des villes et des routes, figure 8.3

### **8.2.1 Carte d'aménagements hydro-agro-sylvo-pastoral**

La carte d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval figure 8.4 est le résultat de l'union, c'est à dire la superposition, de la carte de sensibilité à la désertification (voir chapitre VII, figure 7.16), les trois classes de la carte de l'humidité moyenne annuelle disponible du sol (voir chapitre VII, figure 7.5, classe moyenne, la classe élevée et la classe faible), la carte des systèmes de conservation de l'eau et du sol "CES" (voir chapitre VII, figure 7.15), et enfin la carte du réseau hydrographique figure 8.2.

Suite à une analyse objective de cette carte d'aménagement et ma connaissance du terrain on peut intervenir pour affecter chaque zone à une opération d'aménagement propre à cette zone. Comme on peut même intervenir au niveau du pixel.

En conséquence, les zones orientées à une mise en valeur agricole, surtout par les cultures fourragères, sont représentées par ceux qui sont caractérisées par des sols aptes à l'irrigation. On distingue deux zones: les zones qui présentent une bonne aptitude à l'irrigation, les autres zones leur aptitude à l'irrigation est moyenne. Toute l'économie de cette région est basée sur ces sols. Concernant les zones qui sont caractérisées par un relief accidenté (généralement sont les reliefs qui présentent une pente qui dépasse les 5°) sont destinées normalement à un reboisement par une sylviculture qui s'adapte mieux aux conditions pédoclimatique de ces reliefs.

Les zones qui sont aménagées par des systèmes de conservation CES (généralement sont des banquettes construit en parallèle au courbes de niveau) leurs rôle c'est de conservé les sols de l'érosion hydrique, on a observé que les bandes, de largeur de 5 à 6 mètres où le sol est plus ou profond et qui sont juste derrière les banquettes, sont dépourvues de toute plantation, généralement ces bandes sont labourées par les paysans. Dans le cadre du programme de lutte contre la désertification de chaque Wilaya (LCD), il faut entretenir ces systèmes et généraliser l'installation de ces systèmes au niveau de tous les reliefs qui présente une pente qui dépasse les 5°. Les zones qui attirent une attention particulière de cette région steppique, sont les zones des parcours, qui sont le siège du phénomène de la désertification avec toutes ces formes. L'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification nous a menés à constater quatre aspects bien distincts point de vue de la couverture et l'utilisation du sol:

- 1. les zones peu sensibles**
- 2. les zones potentiellement sensibles**
- 3. les zones fragiles**
- 4. les zones critiques**

Ainsi pour chaque zone nécessite une intervention spéciale. Les zones qui présentent une bonne couverture végétale (généralement de l'alpha) sont les zones peu sensibles à la désertification, elles doivent être mises en repos et peuvent être ouvertes aux éleveurs.

Les zones potentiellement sensibles à la désertification doivent être mises en repos pour 3 ou 4 ans, le temps d'assurer une bonne remonté biologique, après elles peuvent être ouverts aux éleveurs chaque mois d'avril de l'année.

Pour les zones fragiles, il y a lieu d'intervenir pour lutter contre la désertification, et ceci dans le cadre du programme LCD de la Wilaya concerné, là on a constaté qu'il existe deux états de couverture du sol, pour chaque état de couverture il a lieu d'intervenir à moyen et court terme.

Les zones critiques nécessitent une attention particulière à cause de l'état de dégradation avancé du sol, donc pour protéger ces zones des dégâts causés par la désertification, il faut intervenir d'une façon urgente. Pour le deuxième type de ces zones critiques (zones complètement désertifiées) où le sol se trouve dans un état de dégradation très avancé, sans possibilité de remontée biologique (état d'irréversibilité), il n'est pas possible de remédier cet état de dégradation.

Remarque pour les deux dernières zones (zones fragiles et critiques), leurs superficie atteint ou dépasse les 50% de la superficie total du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval. En conséquence on peut confirmer que cette région est à moitié désertifiée et chaque année la désertification gagne de l'espace.

### 8.2.2 Carte du réseau hydrographique

Un des aspects le plus important dans la mobilisation, la gestion et l'exploitation des ressources en eau est le réseau hydrographique des bassins versants. L'intensité et la densité des écoulements, dans un bassin versant, distribués dans l'espace et dans le temps peuvent avoir deux impacts:

- Alimentation en eau par infiltration des nappes souterraines,
- Un impact négatif s'ils se manifestent sous forme d'inondations et des écoulements intenses, problèmes qui touchent plusieurs régions du territoire Algérien chaque année, en particulier les régions arides

L'altimétrie (l'élévation du terrain) est l'information de base pour toute description et caractérisation d'un réseau hydrographique, particulièrement celui d'un bassin versant en plus des données liées à la géologie, au climat et à la couverture thématique du sol (couvert végétal, forestier, urbain, etc..).

En outre l'élaboration de la carte du réseau hydrographique et la carte des pentes figure 8.2 jouent un rôle prépondérant dans le choix des zones et des endroits pour installer les techniques de lutte surtout contre l'érosion hydrique.

L'outil utilisé pour la conception d'un réseau hydrographique figure 8.2 est le modèle hydrologique du logiciel ArcGIS.

### 8.2.3 Carte des ressources en eau souterraine

La carte des ressources en eau souterraine du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval figure 8.3 a été extraite de la carte des ressources en eau souterraine de la région concernée par l'étude australienne (chapitre III, figure 3.22). D'après le tableau 8.1 ci-dessous, cette région renferme un potentiel hydrique très important pour son exploitation.

Zone de captage	Débit critique estimé l/sec.	Zone de Recharge	Recharge l/sec.
1	50-100	A	480
2	20-60	B	250
3	20-40	C	890
4	10-30	D	890
5	0-20	E	90

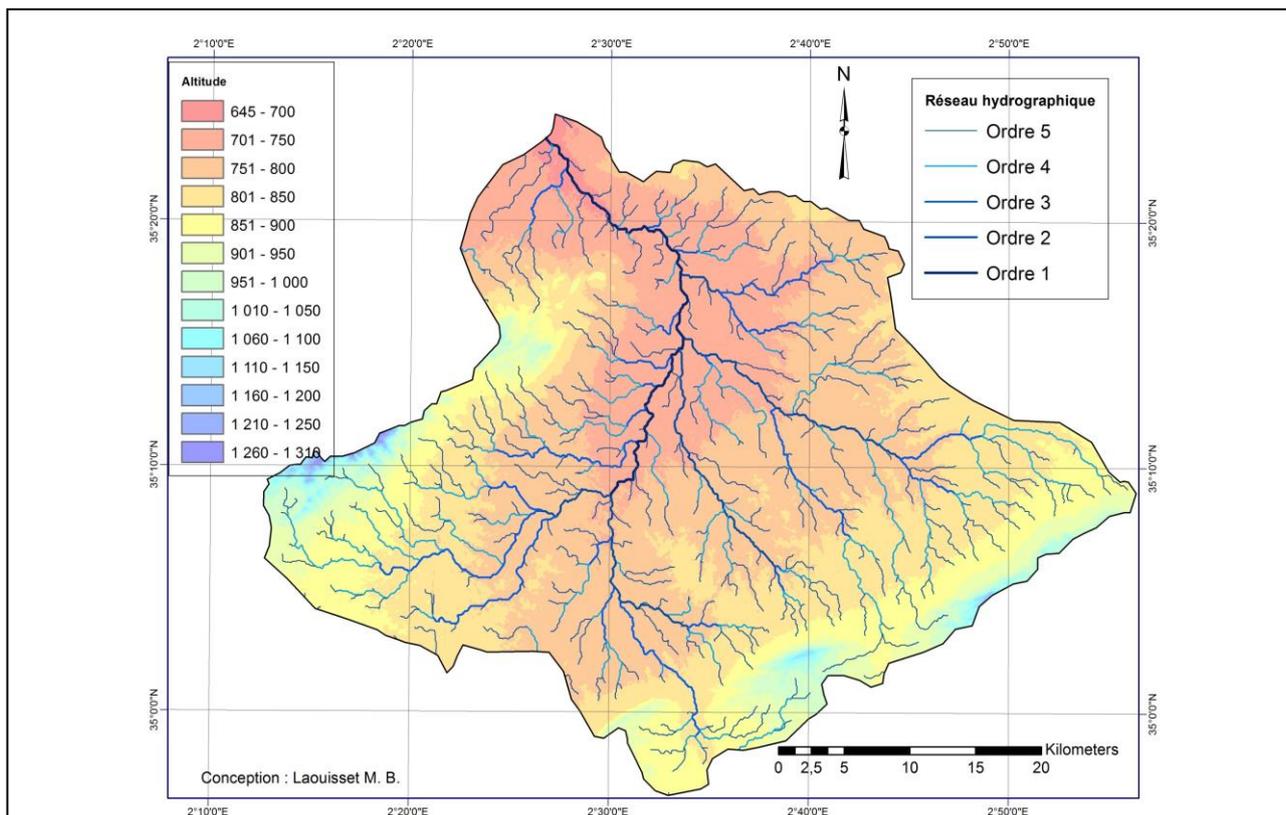


Figure 8.1 : Carte des altitudes et du réseau hydrographique d'Oued-Touil-Aval

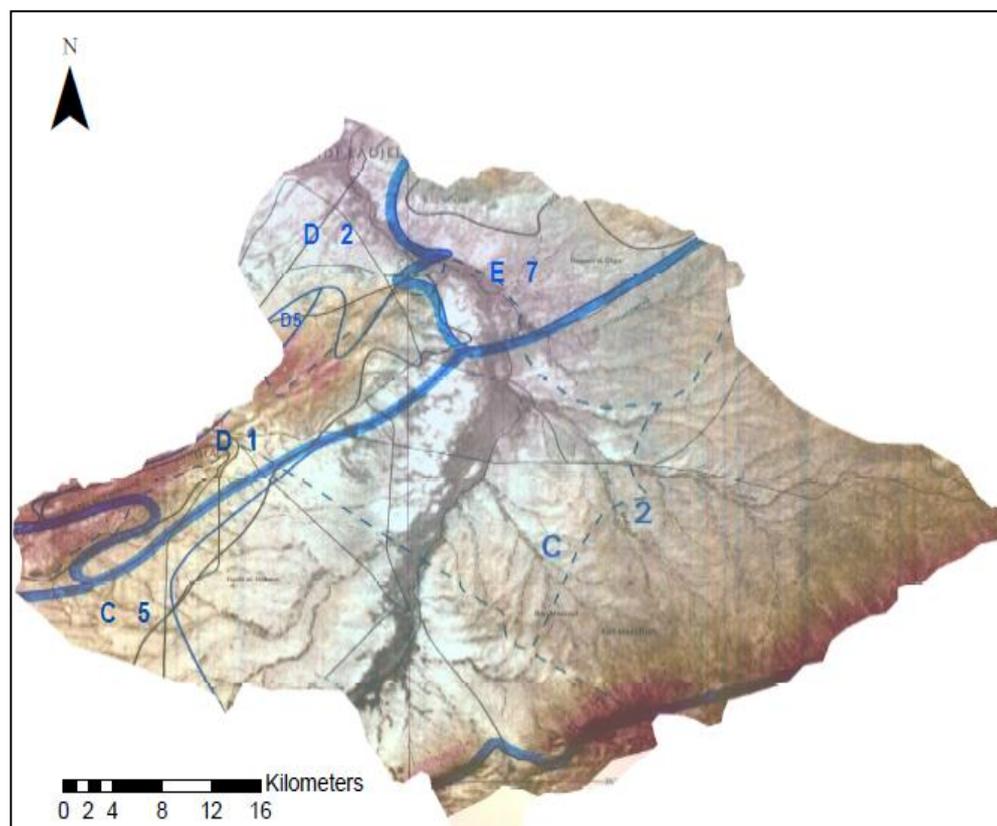


Figure 8.2 : Carte du potentiel d'exploitation de l'eau souterraine du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

### 8.2.4 Carte des villes et du réseau routier

Le réseau routier comme un ensemble des routes interconnectées et entrecroisées entre elles permettant le passage des personnes et des marchandises constitue un secteur important dans une économie. Il participe et contribue efficacement au processus de création des richesses dans un pays. Les routes comme secteur porteur de croissance dans une économie agit efficacement par et d'autre sur le secteur agricole, sur le secteur de l'industrie manufacturière et sur le secteur des échanges en permettant l'acheminement de l'input agricole vers les zones agricoles, l'évacuation de l'output des zones productrices vers l'industrie manufacturière considérée comme le centre de transformation de celui-ci en produit fini ou semi fini (octroi de la valeur ajoutée) ainsi qu'en favorisant le démarrage du processus des échanges (naissance du commerce). Dans le cadre de désenclavement des agglomérations steppiques cette région est bien servie d'un réseau routier, figure 8.3, de différente type de chemin en particulier les deux routes nationales la RN 40 et RN 01, qui sont juste au périphériques de ce sous bassin et sont interconnectées aux chemins de wilayat CW 137 et CW 77, ainsi que les trois chemins communaux RC01, RC03 et RC04. Cependant, la carte des villes et des routes est extrait de la plat forme "Google-earth" sous forme de fichier \*.KMZ, pour transformer ces fichiers en fichier vecteur \*.Shp, on a utilisé l'outil de conversion sous ArcGIS.

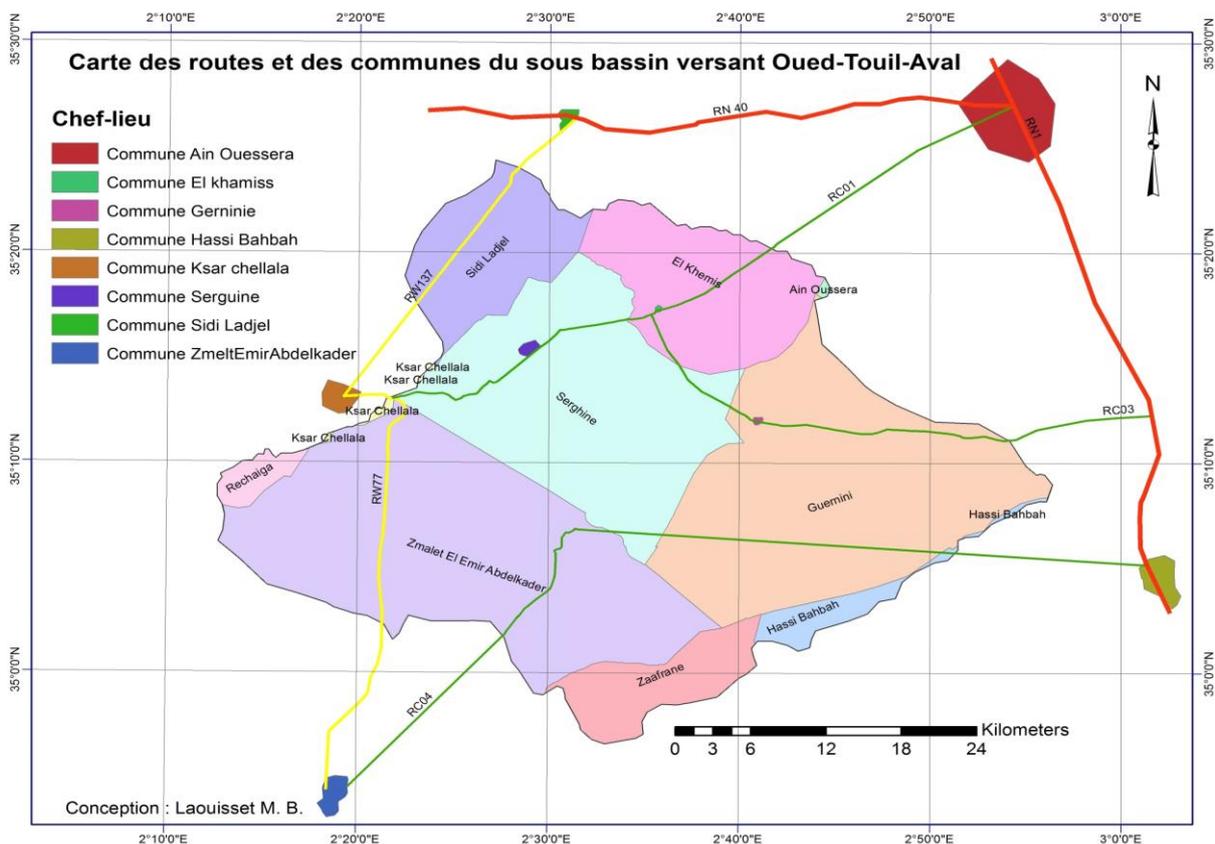


Figure 8.3 : Carte des routes et des communes du sous bassin versant Oued-Touil-Aval

### **8.2.5 Exploitation de l'énergie éolienne et solaire**

Le choix optimal d'un système éolien ou solaire destiné à couvrir en totalité ou partiellement des besoins énergétiques bien définis (fourniture d'électricité, pompage de l'eau, éclairage ou chauffage etc...) doit s'appuyer à la fois sur la connaissance de ces énergies au niveau du site d'implantation de ces systèmes. En conséquence on a réalisé dans le chapitre IV une étude axée sur la déterminer des potentialités des énergies renouvelables dans la région d'Oued-Touil / Ksar-Chellala.

### **8.2.6 Lutte contre l'érosion hydrique**

Afin de prendre en charge toutes les problématiques du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval, un autre volet qu'il ne faut le négligé c'est la lutte contre l'érosion hydrique et éolienne. Donc il y a urgence d'intervenir pour limiter les dégâts causés par ces phénomènes qui présentent la composante principale de la désertification. Ces dégâts se résument surtout à la déperdition du capital productif déjà limité en milieu steppique.

Cependant il existe une panoplie de techniques qui offrent un choix de qualité en termes d'adoption en fonction de chacun des cas.

Donc le choix de la technique dépend essentiellement de :

- la vocation des terres
- les matériaux existants sur place
- le but de l'aménagement
- la gravité des manifestations de l'érosion

Toutefois, les traitements mécaniques ne sont efficaces que s'ils sont consolidés biologiquement par des plantations ou des reboisements, un habillage biologique garant de la stabilité des ouvrages et la promotion de la biodiversité.

Le tableau 8.2 ci-après présente brièvement les principales techniques utilisées :

**Tableau 8.2 Les Principales techniques de lutte anti-érosive : les travaux de CES**

	Technique	Conditions du terrain	Description de la technique	Objectif de réalisation	Degré de pente
Correction torrentielle et mécanique	Construction de seuils	Ravins et ravines sans divagations	Barrage construit en Pierres sèches	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Réduire la vitesse d'écoulement dans les ravins</li> <li>* Déposer les sédiments</li> </ul>	Variable
	Ecreteur de crue	Dans les têtes des ravins	Petite retenue confectionnée en terre avec enrochement	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Collecter les eaux de ruissellement</li> <li>* Réduire la vélocité de l'eau = dissipation</li> </ul>	Pente faible à moyenne: de 0 à 12 %
Fixation des versants et réduction des ruissellements	Murettes	Versants avec sols squelettiques et rocailloux	Petits murs en pierres sèches, construits le long des courbes de niveau	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Réduire la vitesse de ruissellement</li> <li>* Filtrer les eaux de ruissellement</li> </ul>	Pente moyenne à forte : de 12 à 50 %
	Terrasses	Versants destinés à la culture	Plates, formes horizontales, soutenues Par des murs en pierres sèches.	Augmenter le sol cultivé	La pente limite est de 40%
	Les banquettes	Versants avec des sols relativement profonds	C'est une petite terrasse et un fossé, elle comprend un talus de déblais et un fond (sol)	Infiltration et canalisation des eaux vers des exutoires aménagés.	La pente limite est de 50%
	Les gradins	Versants avec des sols relativement profonds destinés au reboisement.	Petites banquettes réalisées manuellement	Précèdent les travaux de reboisement Dont la fin est de retenir les eaux de ruissellement	Pente supérieure à 50%
	Les fossés de Protections ( canal de diversion)	Piémonts des versants et Collines	Fossés creusés le long des courbes de niveau	Réception des eaux de ruissellement de l'impluvium amont non traité et la protection des aménagements à l'aval	Pas de pente limite.
Aménagement des terrains agricoles	Les bourrelets	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Terrains agricoles</li> <li>* Parcours</li> <li>* Terrain argileux</li> <li>* Erosion en nappe</li> </ul>	Bourrelet en terre, perpendiculaire à la ligne de la plus grande pente	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Obstacle à la naissance des ravines</li> <li>* Dissipation des eaux de ruissellement</li> <li>* Favoriser la pédogenèse</li> <li>* Améliorer la production de la phytomasse.</li> </ul>	Pente limite est de 10%
	Tabias	Les bas des versants sur sols relativement plats et profonds	Petite retenue constituée d'une banquette principale avec, aux extrémités deux banquettes latérales	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Culture du bassin, alimenté par les eaux de ruissellement</li> <li>* Collecte des eaux de ruissellement</li> </ul>	De 0 à 3%
	Culture en bandes	Sols agricoles avec premiers Signes d'érosion	Deux bandes successives ne portent pas la même culture ou ne sont pas travaillées en même temps	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Assurer que le versant n'est jamais nu</li> <li>* Favoriser l'infiltration des eaux</li> <li>* Assolement</li> </ul>	Pente limite est de 12%
	Les banquettes amorties.	Sols agricoles et perméables	Le bourrelet présente un profil émoussé qui peut être travaillé	Rétention et réparation des eaux de ruissellement	Pente limite est de 12%

(Source HCDS)

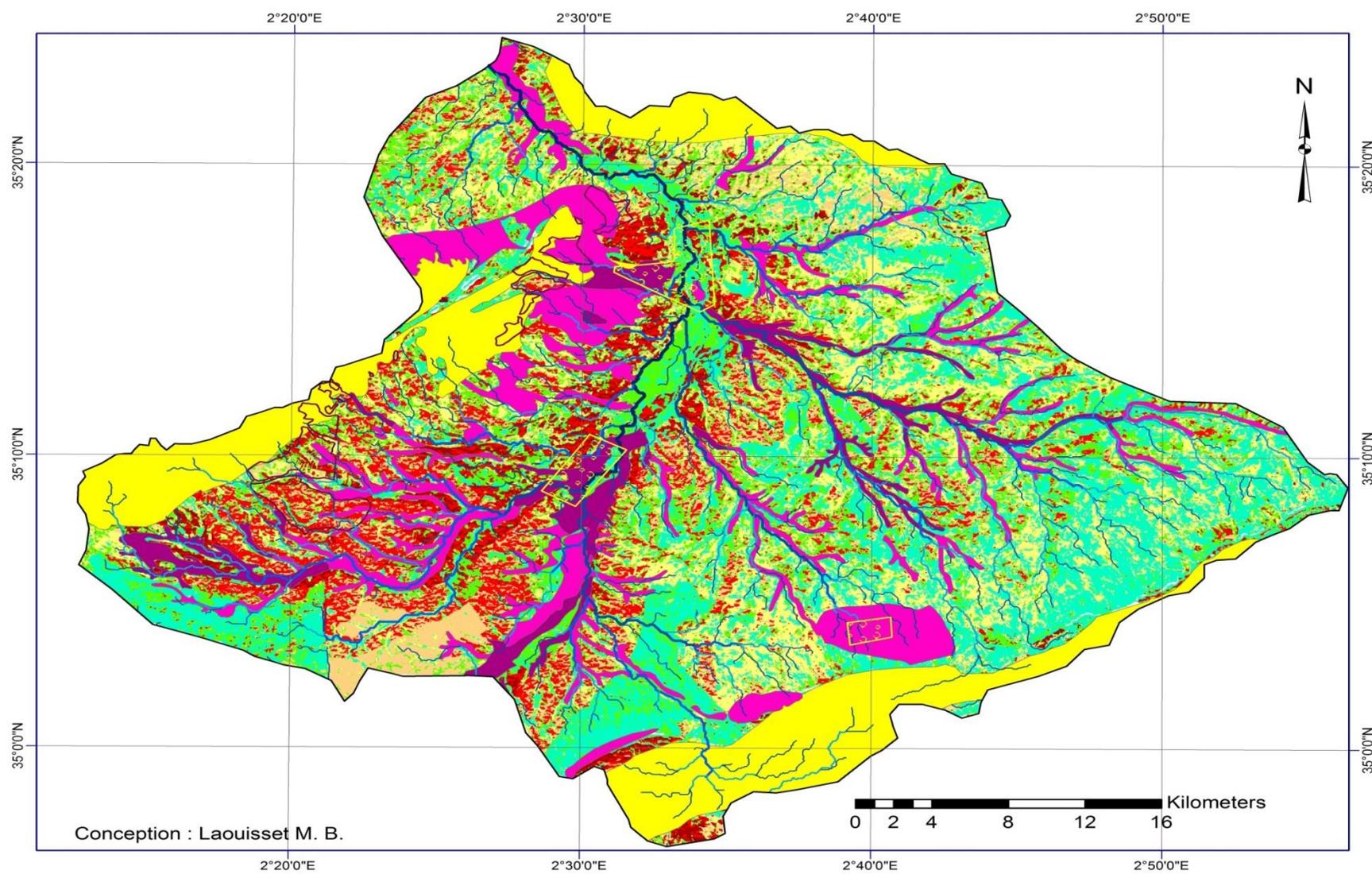
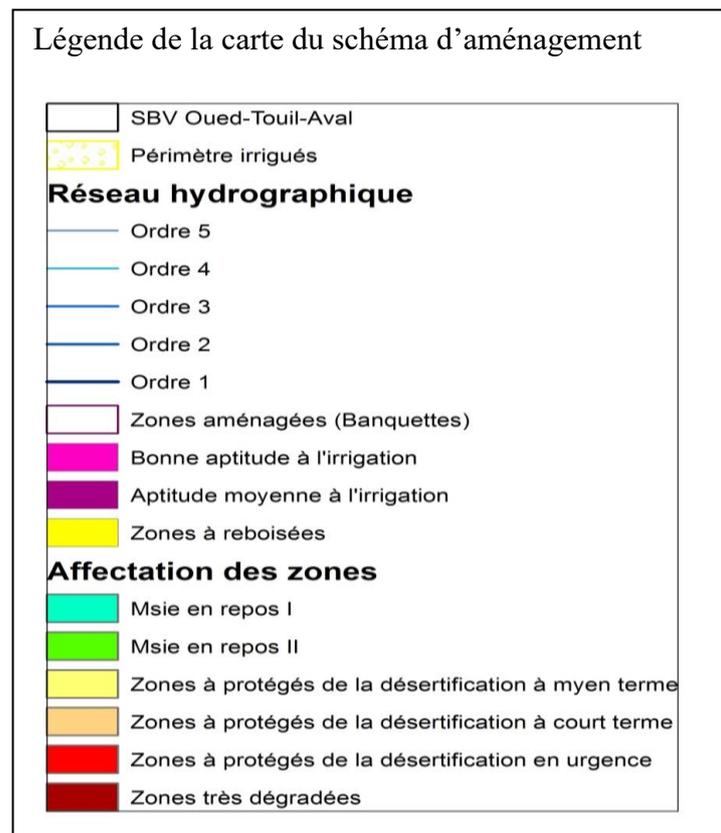


Figure 8.4 : Carte du schéma d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastorale du sous bassin versant Oued-Touil-Aval



### 8.3 Conclusion

En démarrant de ce qu'on a développé dans les chapitres précédents, l'aménagement et le développement des steppes algériennes diffèrent complètement de ceux des autres systèmes agro-écologiques, vu les spécificités de ces régions où la manifestation du phénomène de la désertification est très marquante. Elles demeurent toujours à l'abri de multitude contraintes et restent complexes et difficilement maîtrisables actuellement. Ceci est dû aux différentes visions cloisonnées qui sont en relation avec de nombreux paramètres interdépendants. Cependant, il est impératif d'appréhender ces paramètres dans une approche intégré.

Cependant l'avènement de la technologie de pointe tel que la télédétection et les SIGs favorise une gestion plus efficace et intégrée des ressources naturelles et peut avoir un intérêt particulier pour les gestionnaires des territoires steppique, dans la mesure où les éléments de surface peuvent être discriminés et de réduire la durée de la prospection sur le terrain dans un milieu diversifié et d'accès difficile.

En effet, elle leur fournit une vue d'ensemble actualisée et récente au moyen des images satellites. Elle a la capacité de produire rapidement, régulièrement et de façon non destructive, une masse considérable d'informations (mesurables et « cartographiable ») sur de vaste superficies. Ces « masses » d'informations et de données sont si nombreuses et d'origine si

variées qu'il est difficilement concevable de les exploiter et de les gérer; d'où on fait recours au S.I.G pour l'analyse et l'aide à la décision.

En outre, cette étude montre que la télédétection est une source de mise à jour régulière des S.I.G notamment en matière de cartographie des sols et de l'occupation du sol. Elle permet d'actualiser les S.I.G en confrontant les données collectées de manière traditionnelle (relevés, enquêtes, statistiques...) avec les données issues de l'imagerie satellitale. Ceci étant, les méthodes traditionnelles qui ne sont pas précises.

La manipulation, la gestion et le croisement de l'information thématique par le biais des systèmes d'Informations Géographiques sont très avantageux, surtout pour l'élaboration des cartes d'aménagement tel que le cas de cette étude.

Donc cette étude nous a permis l'obtention d'un ensemble de cartes interprétatives et des indices qui, à leur tour, nous ont aidé à effectuer un constat sur l'état de sensibilité à la désertification dans la région du sous bassin versant d'Oued-Touil- Aval / Ksar-Chellala et de voir de près le degré de dégradation de cette espace steppique. Ainsi, les inquiétudes soulevées par la dégradation du milieu physique de cette région, ont donné lieu à plusieurs analyses des causes et des effets de cette situation. En conséquence on peut projeter un schéma d'aménagement intégré de cette espace.

Par voie de conséquence cette région est identifiée actuellement comme un territoire dégradé à très dégradé, ceci revient dans la majeure partie aux actions anthropozoïques. Si des mesures urgentes ne soient pas prises en compte, cette dégradation, accentuée par le phénomène de désertification, peut compromettre la durabilité de ressources naturelles (eau et sols).

# **Chapitre IX**

**Sol et les possibilités de leur mise en valeur  
culturelle par irrigation dans les limites des  
périmètres irrigués du sous bassin versant  
Oued-Touil-Aval**

## 9.1 Introduction :

La région d'Oued-Touil Ksar-Chellala a bénéficiée de plusieurs études, ainsi dans le cadre du développement des régions steppiques en générale, et de cette région en particulier, plusieurs missions étrangères ont réalisés des études pour le développement intègre, hydro agricole et pastorale de cette région.

La première tentative c'était en 1960 c'est à dire à l'époque du colonialisme ; par décision du 15/07/60, il a été créé une zone pilote (Serguine et Ouerq / Oued-Touil) et ceci dans le cadre d'un projet intitulé : Zone de mise en valeur de Ksar-Chellala. L'organisme qui avait pris en charge ce projet c'était la société centrale de l'équipement du territoire (SCET), ce projet consiste à réaliser des travaux de petite hydraulique, plantation d'arbre, et régénération des parcours. Les études et les expérimentations ont portés sur (la phyto-écologie, le climat, la mise en valeur de la vallée d'Oued-Touil et en fin l'élevage ovin). Cette étude a couvert une superficie de 74000ha répartie en (Djebel 5000ha, vallée 9000ha, plateaux 60000ha).

Au début de l'indépendance, la deuxième étude, avait commencée suite à l'accord Algéro-Soviétique sur la coopération économique et technique du 27/11/63 et qui prévoit l'étude des possibilités de production des plantes fourragères. Donc suite à cet accord et conformément un contrat 9388 du 13/08/64 le pédologue Gousskov a effectué les études pédologiques à l'échelle 1/100000 dont les résultats ont permis dans l'étude préliminaire dite « Etude des possibilités de la production des cultures fourragères dans le département de Médéa, sur une superficie approximative de 10000ha », de circonscrire les futurs périmètres à mettre en valeur par irrigation.

La dernière étude est l'étude Australienne qui a été réalisée suite à l'ordonnance 67/90 du 17/06/1967. Le Ministre de l'agriculture du Gouvernement de l'Australie du sud a été retenu comme partenaire, la durée d'étude était de 39 mois. Ce projet a été retardé jusqu'à l'année 80, pour commencer cette étude. Le projet d'étude est intitulé : Projet de développement intégré de la steppe de la région de Ksar Chellala, se projet était financé conjointement par l'Algérie et la banque mondiale il concerne 824000 ha de la steppe.

Ces objectifs étaient (l'irrigation de 5000 à 10000 ha, le développement et la restauration des terres de parcours steppiques, la diversification des activités économiques pour la population pastorale, l'application à long terme des résultats à d'autres zones steppiques).

Cependant, dans le but de la mise en valeur culturale des sols de la région d'Oued-Touil par l'irrigation, on a sélectionnées trois périmètres (P1, P2 et P3) figure 9.1, qui se trouvent à l'intérieur du sous bassin versant Oued-Toul-Aval. Suite à l'étude Russe susmentionnée qui a été

faite dans cette région, l'eau et les sols de ces périmètres ont fait l'objet des analyses physico-chimiques et études détaillées.

Vu les particularités de la formation des sols, les plaines des Hauts Plateaux ont des superficies relativement limitées dans le sens de leur aptitude à l'irrigation. Les superficies aptes sont principalement présentées par les vallées des oueds et partiellement, par les piedmonts. Ce n'est pas par hasard que la plus part des périmètres à irriguer (notamment, les périmètres P1 et P2) sont situées dans les limites de la vallée du Oued-Touil qui est l'un des plus grand oued de l'Algérie, pendant les périodes de crue son lit peut dépasser le 2 Km de largeur. Cinq Wilaya (Laghouat, Tiaret, Djelfa, Médéa, Tissemsilt) peuvent profiter de ces potentialités hydriques. La topographie des hauts Plateaux, dont l'altitude se situe entre les cotes 700 et 800 m, offre une pénéplaine en pentes douces, monteuse faiblement décrite par un réseau d'oueds dendrito-aréolaire.

Les conditions bioclimatiques, de l'Algérie sont très contrastantes. Grâce aux particularités du relief, le territoire de l'Algérie est caractérisé par une zonalité latitudinal bien marquée, traversée de terrains montagneux. Les contreforts de l'Atlas Tellien et les chaînes montagneuses de l'Atlas Saharien, comme on a vu dans le chapitre I figure 1.1b, constituent les limites naturelles des Hauts Plateaux où sont réponsus les paysages des régions dont les étages bioclimatiques varies du semi-aride inférieur au saharien et par conséquent, l'agriculture stable ne peut se développer que sur la base de l'irrigation.

## **9.2 Possibilités de mise en valeur des sols pas irrigation**

### **9.2.1 Aptitude culturale des différents sols**

D'après l'étude Russe et dans les limites de la région étudiée les sols bruns calcaires hydromorphes non salés, qui se forment tant sur les dépôts déluvio-proluviaux des piedmonts et des plaines des plateaux (à l'exception des sols avec une croûte calcaire gisant à la profondeur de 30-80 cm et de 80-120 cm), que sur les alluvions des vallées des oueds, sont les sols les plus fertiles. On peut cultiver ces sols d'une façon normale par l'arboricoles, des cultures maraichères, industrielle, fourragères et de blé, bien sûr en assurant une irrigation rationnelle.

Cependant, dans leur grande majorité, les sols dans les limites de cette région par suite de leurs propriétés morphologiques et chimiques et faute de méthodes efficaces de leur bonification, ne sont aptes que pour la production d'un assolement limité des cultures agricoles.

Ainsi, les sols bruns calcaires à croûte calcaire de 20-80 cm et de 80-120 cm de profondeur, formés sur des colluvions des piedmonts et des plaines des Plateaux peuvent être utilisés pour la production de toute gamme des cultures maraichères, fourragères et de blé. Cependant, le

rendement de la production de la luzerne sur ces sols sera en fonction de la profondeur des passées de la croûte calcaire.

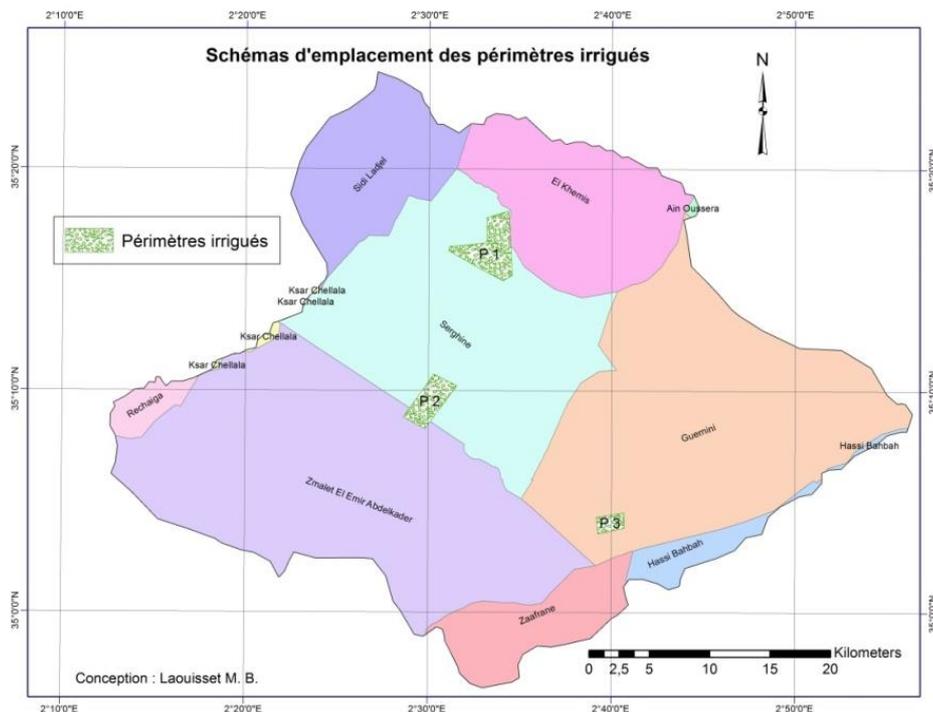


Figure 9.1: schémas d'emplacement des périmètres irrigués

Les sols hydromorphes minéraux à gley non salés dans le premier mètre du profil peuvent être utilisés avec succès pour la production de toutes les cultures maraîchères, fourragères et de blé.

Mais avant d'être rendus utilisables, tous ces sols nécessiteront un régime de lessivage au cours du cycle végétatif par suite de la minéralisation élevée des eaux d'irrigation, l'installation d'un réseau de drainage, l'apport des engrais et utilisation des siderites (carbonat de fer), l'installation des brise-vent, la désalcalinisation des SOLS fortement alcalins et l'épierrage de surface.

Les sols salins (sols halomorphes) friables en surface de texture grossière salés dans le premier mètre du profil ainsi que les sols salins à croûte saline de surface chlorurés et chloruré sulfatés après le dessalage et l'exécution des opérations indiquées ci-dessous, peuvent être utilisés avec succès pour la production de la plupart des cultures maraîchères, fourragères et de blé.

Les sols salins d'origine colluviale avec un encroûtement gypseux proche de la surface après l'exécution du dessalage et du complexe des mesures recommandées ci-dessous, seront aptes pour la production des cultures de blé et fourragères.

Les sols d'érosion régosoliques à croûte calcaire de 0 à 50 cm de profondeur, ainsi que les sols salins à croûte saline de surface de texture argilo-limoneuse, aux nappes phréatiques minéralisées proches de la surface, ne sont pas aptes pour la production des cultures par irrigation.

### 9.2.2 Etat de la qualité des eaux d'irrigation des périmètres P1, P2 et P3 en vue d'un usage agricole

L'évaluation de la qualité des eaux utilisées pour l'irrigation des sols étudiés, dans l'échelle proposée par (Durand ,1958) pour les sols irrigables de l'Algérie (tableau 9.1), montre que les eaux d'irrigation du périmètre P1 présentent une salinité forte à très forte salinité. Pour les eaux d'irrigation du périmètre P2 présentent une forte salinité. Pour les eaux d'irrigation du périmètre P3 présentent une salinité moyenne à forte salinité. L'utilisation des eaux d'irrigation qui présentent une minéralisation élevée demande des mesures de précaution lors de l'irrigation par ces eaux. Elles ne peuvent pas être utilisées sur les sols insuffisamment drainés. Même à condition du drainage parfait, il s'avèrera indispensable les mesures contre la salinisation (il faut assurer un régime de lessivage). En même temps il faudra choisir les cultures qui tolèrent les sels (voir tableau 9.5). Les eaux à minéralisation de 2250-5000  $\mu\text{S}/\text{Cm}$  se rapportent à la classe C4. Elles sont fortement salées et, par conséquent, non utilisables pour l'irrigation dans les conditions ordinaires. Ces eaux sont aptes pour l'irrigation des sols de perméabilité élevée qui sont bien assurés au drainage, sous condition de la création du régime de lessivage lors de l'arrosage des cultures au cours du cycle végétatif. En même temps il faudra de choisir les cultures qui tolèrent les fortes minéralisations.

Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{Cm}$ )	Concentration (g/l)	Evaluation américaine	Evaluation russe	Evaluation de DURAND pour l'Algérie
CE < 250	< 2	Faible salé	Faible qualité	Non saline
250 < CE < 750	0.2-0.5	Moyennement salée		Salinité moyenne
750 < CE < 2250	0.5-1.5	Fortement salée	Risque de salinisation	Forte salinité
2250 < CE < 5000	1.5-3	T. fortement salée		Très forte salinité
5000 < CE < 20000	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Salinité excessive

Lorsque la concentration des ions  $\text{Na}^+$  à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations  $\text{Ca}^{2+}$  (échange de base) dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad (9.1)$$

Tous les ions sont exprimés en méq/l. Après on reporte tous les points d'eau sur le diagramme de Riverside (Richards, 1954) (figure 9.2), D'après le diagramme de Riverside (figures 9.2) on a pu dégager la présence des classes suivantes : La classe C2S1 caractérise une eau bonne pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels. Les classes C3S1, désignent les eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité dont la salinité doit être contrôlée. Les classes C4S1 tel que le cas des forages 203,204,205 et 229 du P1 indiquent des eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

On peut conclure que, d'après les résultats des analyses physico-chimique de l'eau d'irrigation de l'étude Russe, l'irrigation des périmètres N° 1,2 et 3 se fait par des eaux souterraines à minéralisation de 1130 à 3490µS/Cm pour les forages du périmètre P1, de 1240 à 2210µS/Cm pour les forages du périmètre P2 et de 760 à 1990µS/Cm pour les forages du périmètre P3 (tableau 9.2, tableau 9.3 et tableau 9.4).

Tableau 9.2 : Composition chimique des eaux d'irrigation des forages du périmètre P2

Forage N°	pH	CEi	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
300	7,9	1820	327,0	288,3	343,2	73,8	103,8	193,2
301	7,7	1740	259,2	340,1	204,5	190,8	33,6	167,7
302	8,3	1360	350,8	298,2	88,3	82,8	44,7	187,9
303	8,3	1680	372,1	258,8	281,0	69,6	103,7	175,5
304	7,0	1520	350,8	305,3	149,3	88,8	48,6	207,5
305	7,9	1460	259,7	302,1	168,5	100,4	7,9	131,6
308	8,1	1460	91,5	249,2	204,5	104,4	61,0	149,3
309	8,0	1240	416,6	288,3	22,1	73,8	78,6	121,0
42	8,3	1600	352,9	273,7	243,8	46,2	106,5	174,1
310	8,4	1860	372,1	273,7	332,2	101,6	72,8	222,2

Tableau 9.3: Composition chimique des eaux d'irrigation des forages du périmètre P1

Forage N°	pH	CEi	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
201	7,5	1440	366	262,7	157,9	84	60,1	173,7
202	7,2	2260	213,5	269,8	602,9	72,6	72,2	32,4
203	7,5	2870	152,5	269,8	965,8	33	188,5	300,6
204	7,1	3490	167,8	852	491	165	112,2	483
205	7,7	2180	244	333,7	475,2	59,4	72,2	331
227	7,1	1130	274,5	191,7	95	46,2	52,2	155,9
229	7,8	2970	366	355	772,3	102	147,9	341,1

Tableau 9.4 : Composition chimique des eaux d'irrigation des forages du périmètre P3

Forage N°	pH	CEi	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
250	8,7	1160,0	244,0	158,7	240,5	86,1	82,7	53,4
251	7,4	1620,0	213,5	241,4	348,5	105,6	84,3	134,6
252	8,8	760,0	76,2	120,7	171,8	43,0	30,4	82,3
254	8,6	1190,0	289,7	203,8	171,8	93,0	74,1	78,6
263	8,1	892,0	305,0	103,7	120,6	71,6	39,2	83,5
252	8,3	1990,0	396,5	198,8	489,6	94,2	124,0	170,0

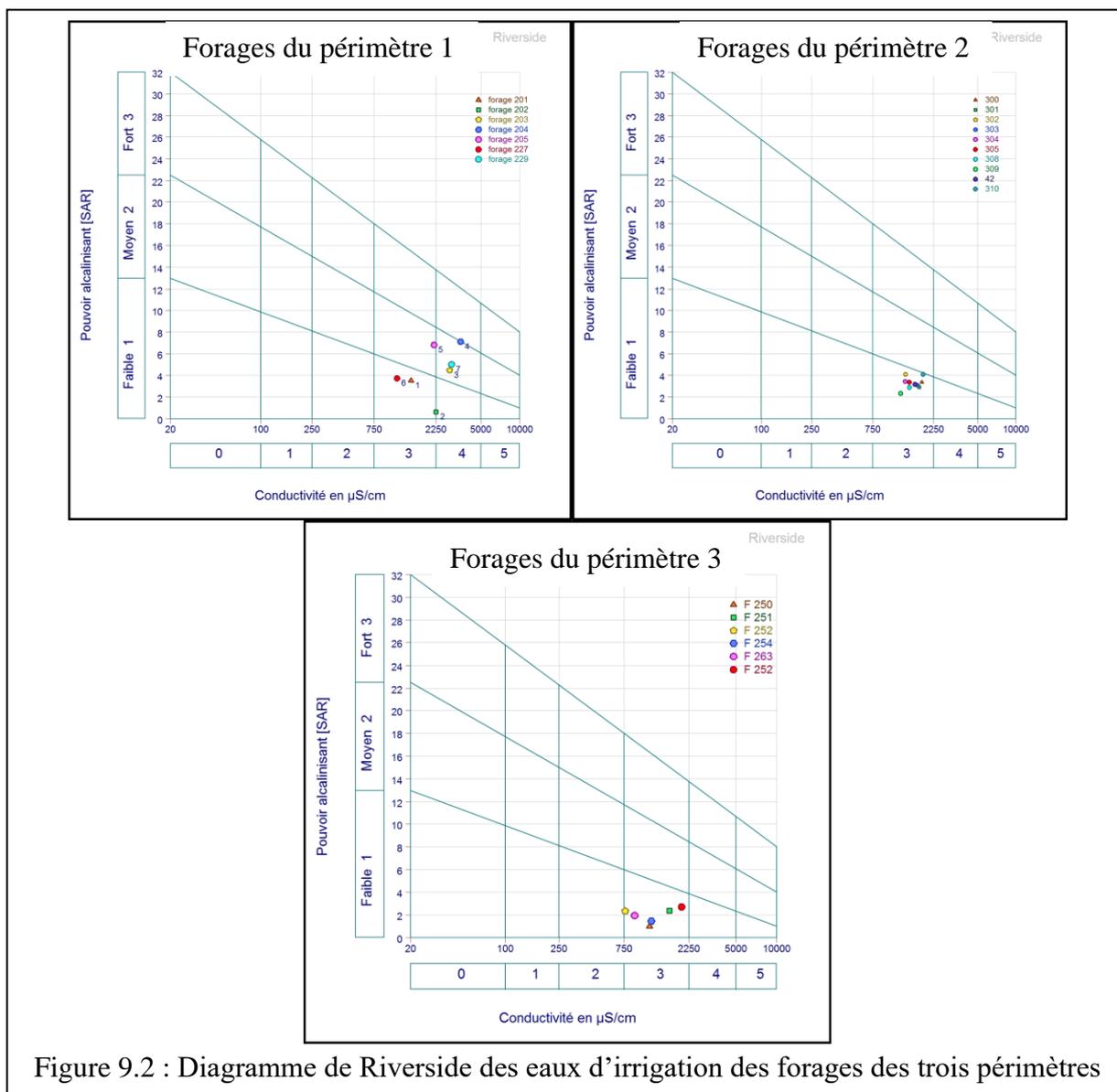


Figure 9.2 : Diagramme de Riverside des eaux d'irrigation des forages des trois périmètres

D'après le Bulletin FAO N°29, la sensibilité des cultures au stress salin se traduit par une réduction du rendement. Le seuil de tolérance à la concentration de sel dans la zone racinaire est propre à chaque culture. Le plus souvent le seuil de tolérance des cultures est exprimé par la conductivité électrique «CE» de l'extrait de pâte saturée du sol.

La figure 9.3, ci-après, présente la variabilité de niveau de production des différentes cultures à l'augmentation de la conductivité électrique de la pâte saturée. Nous remarquons que les cultures maraîchères et arboricoles sont généralement les plus sensibles à la concentration de sel dans la zone radiculaire, tandis que les céréales et les cultures fourragères supportent une concentration plus élevée sans perte significative de rendement.

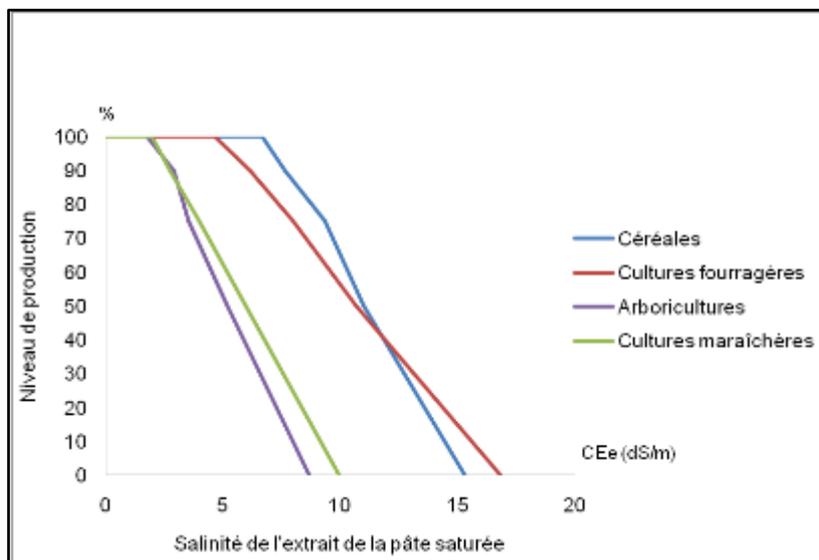


Figure 9.3 : Tolérance des cultures à la salinité du sol  $CE_e$

Le tableau 9.5 montre aussi la relation entre la valeur du  $CE_e$  et le niveau de production: en règle générale, un doublement de la valeur du  $CE_e$  entraînera une baisse de production de l'ordre de 50%.

D'après ce tableau, seul les cultures céréalières, les cultures fourragères, les cultures industrielles tel que la betterave sucrière et quelque culture maraîchère telle que le Pastèque, la courge et le melon peuvent être cultivées dans les périmètres P1, P2 et P3.

Faute du régime de lessivage et du drainage, chaque arrosage provoquera une augmentation de salinité du sol (salinisation secondaire).

Tableau 9.5 : Tolérance des cultures à la salinité du sol CEe (FAO, Bulletin n° 29)						
Niveau de production %		100	90	75	50	0
Cultures		Salinité de l'extrait de la pâte saturée CEe (dS/m)				
Céréales	Blé	6	7	10	13	20
	Sorgho	7	8	9	10	13
	Maïs	7	8	9	10	13
Cultures industrielles	Betterave sucrière	7	9	11	15	24
Cultures fourragères	Bersim	2	3	6	10	19
	Luzerne	2	4	6	9	16
	Vesce avoine	4	6	8	12	20
	Orge	6	8	10	13	20
	Sorgho	7	8	9	10	13
	Maïs	7	8	9	10	13
Cultures maraîchères	Haricot	1	1,5	2,3	3,6	6,3
	Carotte	1	1,7	2,8	4,6	8,1
	Petit pois	1	1,5	2,3	3,6	6,3
	Oignon vert	1,2	1,8	2,8	4,3	7,4
	Ail	1,2	1,8	2,8	4,3	7,4
	Salade	1,3	2,1	3,2	5,1	9
	Piment	1,5	2,2	3,3	5,1	8,6
	Pomme de terre	1,5	2,2	3,3	5,1	8,6
	Fève	1,5	2,2	3,3	5,1	8,6
	Chou	1,8	2,8	4,4	7	12
	Tomate	2,5	3,5	5	7,6	13
	Artichaut	2,8	3,9	5,5	8,2	14
	Pastèque /courge	4,7	5,8	7,4	10	15
	Melon	4,7	5,8	7,4	10	15
	Arboricultures	Vigne de table	1,5	2,5	4,1	6,7
Agrumes		1,8	2,4	3,4	4,9	8
Pommier		1,8	2,4	3,4	4,9	8
Poirier		1,8	2,4	3,4	4,9	8
Prunier		1,8	2,4	3,4	4,9	8
Olivier		1,8	2,4	3,4	4,9	8
Palmier dattier		4	6,8	11	18	32

Ainsi, sur les périmètres P2 et P3, qui seront irrigués par les eaux à minéralisation de 0,8-0,9 g/l

(classe C3-S1), lorsque la norme d'arrosage sera de 1000 m<sup>3</sup>/ha, la salinité moyenne d'une couche de 1 m d'épaisseur s'accroîtra respectivement de 0,008-0,009%, et lorsque la norme d'arrosage sera de 10000 m<sup>3</sup>/ha (les besoins d'irrigation de la luzerne) la salinité moyenne d'une couche de 1 m d'épaisseur s'accroîtra respectivement de 0,08 à 0,09%. Donc, sans le régime de lessivage en cas de salure primaire de 0,10% au bout de la première année d'exploitation du sol la teneur en sel s'accroîtra de 0,18 à 0,19% et au bout de la deuxième année respectivement de 0,26 à 0,28%. Après la première année de culture la salinisation de ces sols s'accroîtra de 0,24-0,29%. Donc, au début de la mise en exploitation des périmètres toutes les cultures fourragères seront sous l'influence néfaste des sels, s'accumulant dans une couche active des sols à partir des eaux d'irrigation. Donc, il sera indispensable dès les premières années de l'exploitation des périmètres P2 et P3, de prévoir la création d'un régime de lessivage par l'augmentation des normes d'arrosage des cultures agricoles de 10-20%, ce qui permettra d'éviter la salinisation secondaire ultérieure des sols et de tenir une CE de l'eau et du sols au niveau de 4000µS/Cm environ(Richards, 1954).

Pour l'irrigation du périmètre P1, les eaux utilisées présentent une minéralisation de 1,1 à 1,8 g/l (classe C4S1).En cas où la norme d'arrosage sera de 1000 m<sup>3</sup>/ha, la salinité moyenne d'une couche de 1 m d'épaisseur s'accroîtra respectivement de 0,011-0,016%, et si la norme d'arrosage sera de 10000 m<sup>3</sup>/ha, la salinité moyenne de même couche des sols s'accroîtra respectivement de 0,11-0,18%. Donc, si la salinité primaire étant de 0,10%, au bout de la première année de l'irrigation, sans le régime de lessivage, la teneur en sels dans la couche de 1 m d'épaisseur augmentera respectivement de 0,21-0,28%, au bout de la deuxième année la teneur en sels s'accroîtra respectivement de 0,32-0,46%. Pratiquement, déjà au bout de la deuxième année de cultures, il est impératif d'appliquer les opérations de lessivage.

Donc, l'utilisation des eaux d'irrigation à minéralisation de 1,5 g/l (CE ≈ 2250 µS/Cm) préconise l'application, au cours du cycle végétatif, d'un régime de lessivage à condition d'installer un réseau de drainage adéquat. Par conséquent, d'après (Richards, 1954)et pour maintenir une CE de 4000µS/Cm de l'eau d'irrigation et du sol, la norme d'arrosage doit être majoré de 56%.En cas d'assolement de cultures maraîchères et en absence de lessivage du sol, on constate une accumulation intense des sels dans les crêtes des sillons. En conséquence, après la deuxième année de cultures, il faut appliquer une dose de lessivage de 2000 m<sup>3</sup>/ha.

En conclusion, lors de l'irrigation des terres de tous les périmètres, il est nécessaire de prévoir la création d'un régime de lessivage par augmentation de la norme d'arrosage de 10-56% en fonction du degré de la minéralisation des eaux d'irrigation.

### 9.3 Lessivages des sols salins

Dans les limites des périmètres d'irrigation P1 et P2, on rencontre les sols salins friables en surface de texture grossière. Pour le développement normal des cultures agricoles il est nécessaire que la couche supérieure des sols de 1m d'épaisseur, au moins, ne soit pas salée. Les sols salins friables en surface (de degré de salinisation différent) ne répondent pas à cette condition, donc ils doivent être lessivés avant d'être mis à en exploitation.

Nous avons une relation entre la conductivité de l'eau d'irrigation  $CE_i$ , la conductivité d'extrait saturé moyenne sur la zone racinaire  $CE_e$ , et la fraction lessivante FL. Cette relation n'étant pas inversible, (Rhoades, 1971) a proposé une formule approchée :

$$FL = \frac{CE_i}{5.CE_e - CE_i} \quad (9.2)$$

Le volume d'apport  $V_i$  (besoins d'irrigation total) est égal à l'évapotranspiration maximale «ETM» additionnée au volume de lessivage « $V_1$ » et des pertes liées à la percolation « $V_p$ ». L'eau de percolation est la partie de l'eau d'irrigation qui s'infiltre directement, sans se mélanger avec la solution du sol.

$$V_i = ETM + V_1 + V_p \quad (9.3)$$

Si on néglige les pertes par percolation on a :  $V_i = ETM + V_1$ . On appellera la fraction lessivante (FL) le rapport :

$$FL = \frac{V_1}{ETM + V_1} \Rightarrow V_1 = \frac{FL \times ETM}{1 - FL} \quad (9.4)$$

La teneur admissible en sels dans la couche active des sols, fonction du caractère de salinisation, ne doit pas dépasser:

- salinisation chlorurée 0,2%
- salinisation sulfatée-chlorurée 0,3%
- salinisation sulfatée-sodique 0,4%
- salinisation sulfaté-sodique-calcique 1,0%

A la suite des lessivages, la minéralisation des couches supérieures ne doit pas dépasser 3g/l.

La salinisation secondaire dans la couche racinaire doit être éliminée par augmentation des normes de lessivage et par augmentation des normes d'irrigation. Le cas échéant, il est impératif de faire recours au dessalage.

La connaissance de la période d'application des lessivages des sols salins joue un rôle primordial. Dans la pratique mondiale, les lessivages sont généralement menés pendant la période froide de l'année. L'automne est le meilleur temps d'entamer les lessivages. Lors de la réalisation des lessivages pendant la période froide de l'année, les eaux en surface et les horizons supérieurs ont les températures plus basses que les couches inférieures. En profondeur la température du sol et respectivement des eaux de lessivage, augmente. En conséquence, les eaux

de lessivage ont la capacité de dissoudre les nouvelles accumulations du sel. En plus de ça, pendant l'automne les eaux souterraines gisent le plus profond et l'humidité des sels est basse, ce qui contribue à la désalcanisation plus intense des sels.

En printemps et au début de l'été les horizons supérieurs deviennent les plus chauds, la température du sol diminue en profondeur. Dans ce cas, les eaux de lessivage saturées par des sels dans les horizons supérieurs, se précipitent en profondeur dans les solutions sursaturées sous forme de cristaux de mirabilite (sulfate naturel de sodium déca-hydraté, de formule chimique  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}^2$ ). En conséquence, la vitesse d'infiltration diminuera brusquement à la suite de la fermeture des pores des roches.

Des lessivages estivales sont moins efficaces par suite des pertes importantes des eaux de lessivage par évaporation et vu le danger de la salinisation secondaire des sols.

La préparation des terres pour le lessivage se fait de manière suivante :

Avant tout, la surface des sols salins est dégagée des broussailles des halophytes. L'opération suivante consiste à un nivellement de la surface de telle façon que les variations des cotes des buttes et des petites dépressions ne dépassent pas  $\pm 5$  cm. Ensuite, on défonce le sol à la profondeur de 30 cm, avec une charrue défonceuse pour l'ameublissement des horizons profonds. La surface des terrains est soumise ensuite à un nivellement approprié. Par la suite la parcelle en question est divisée en petites parcelles de lessivage chacune de 0,3 à 1 ha en fonction de la topographie. Le lessivage doit commencer à partir des parcelles situées au milieu des drains. La norme de lessivage pour ces parcelles doit être supérieure de 20-30% à la norme de lessivage pour les parcelles voisines, car le niveau des eaux en profondeur au milieu des drains est plus supérieur et leur circulation est plus lente.

La dose de lessivage est appliquée sur les parcelles en plusieurs fractions, chacune ne doit pas dépasser les  $2000 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Chaque dose est apportée après le drainage de la dose précédente. Lors de l'opération de lessivage on contrôle la conductivité électrique. En parallèlement, il ne faut pas oublier d'appliquer un lessivage propre aux drains. En fin, pour réduire les délais du lessivage et pour augmenter son efficacité, il est nécessaire de construire les drains temporaires ouverts de 1 m de profondeur. Après l'achèvement de l'opération de lessivage, il sera rationnel d'appliquer l'assolement suivant : blé, fève, betterave luzerne et ensuite de procéder à la rotation normale.

#### **9.4 Nécessité de l'installation d'un réseau de drainage**

L'utilisation des eaux minéralisées pour l'irrigation des périmètres P1 et P2 préconise non seulement de la création d'un régime de lessivage mais de l'installation d'un réseau de drainage. L'exception pour le périmètre P3 qui ne demande pas l'installation du drainage vue les conditions

hydrogéologiques spécifiques.

Donc, il s'avère indispensable d'installer un tel réseau de drainage dont la profondeur des drains doit être de l'ordre de 3-3,5 m au moins et la distance entre les drains doit être de 100 à 400 m. Les distances entre les drains prises en compte pour chaque périmètre d'irrigation faisaient l'objet de l'examen dans les avant-projets correspondants.

Les particularités des conditions naturelles du périmètre d'irrigation P3 ne nécessitent pas de l'installation du réseau de drainage pour les raisons suivantes:

Les sables limoneux, limons sableux et sables, dont la puissance dans les limites du périmètre P3 varie de 0,5 à 1,8 m, ont la vitesse de perméabilité de l'ordre de 1,5-2,0m/j. La croûte calcaire venant plus profond repose sur les limons calcaires et grès. Dans la partie nord-ouest du périmètre à la profondeur de 10-15 m, et dans la partie sud-est à la profondeur excédant 40 m apparaît une couche puissante des argiles.

### **9.5 Choix du système d'irrigation et pilotage de l'irrigation**

Le choix du système d'irrigation dépend de nombreux facteurs, notamment, des caractéristiques physico-hydrodynamiques des sols, la nécessité d'un régime de lessivage pendant la période végétative, programme de cultures, disponibilité de l'eau d'irrigation et enfin le niveau de connaissance des agriculteurs.

La méthode d'irrigation par aspersion est la plus rationnelle; elle permet de diminuer le volume des travaux de nivellement, d'assurer des doses d'irrigation précises et une répartition régulière de l'eau d'irrigation, d'irriguer uniformément les parcelles cultivées sans pertes par infiltration qui se produisent en cas de drainage fermé et de diminuer considérablement le nombre de main-d'œuvre etc. Par conséquent il est avantageux d'opter pour ce système d'irrigation pour les périmètres P2 et P3, du fait que les sols de ces périmètres sont très perméables et les eaux souterraines moyennement minéralisées ne demandent pas de grands volumes d'eau au-dessus de la dose nette d'irrigation.

Malgré l'utilisation du système d'irrigation par aspersion, il s'avère indispensable l'installation d'un réseau de drainage. En revanche il faut appliquer une intensité optimale d'irrigation pour les sols de ces périmètres de 6 mm/heure.

Pour éviter la brûlure des feuilles lors de l'arrosage par aspersion pendant la période estivale, il sera nécessaire pour les cultures maraichères d'utiliser la méthode d'irrigation par ruissellement. Les champs d'assolement maraîcher doivent être implantés sur les sols de texture limono-argileuse et argilo-limoneuse où il est impossible de pratiquer l'arrosage par aspersion, c'est le cas du périmètre P1 où il est recommandé la méthode d'irrigation par ruissellement, sans oublier

d'ajouter une dose de 59% en vue de créer un régime de lessivage, par suite des faibles vitesses d'absorption et de filtration.

### **9.6. La bonification des sols fortement alcalins**

Lors de l'irrigation des sols alcalins dans les conditions des Hauts Plateaux on peut avoir de bonnes récoltes des cultures maraîchères et fourragères même sans la réalisation des opérations de bonification. Cependant, il ne faut pas négliger l'influence néfaste de l'alcalinité élevée sur la physiologie des plantes agricoles, qui se manifeste par la présence des ions  $\text{CO}_3$  dans les eaux d'irrigation.

Lors de la mise en valeur des périmètres étudiés il est nécessaire de réaliser le complexe des mesures destinées à la neutralisation de l'alcalinité des sols. Pour ce faire, on utilise généralement la combinaison des méthodes biologiques, chimiques et hydrotechniques. Avec l'apport du gypse on obtient de bons résultats, aussi on utilise du soufre, des déchets de l'acide sulfurique, des déchets de l'acide chlorhydrique en combinaison avec des grandes doses des engrais organiques ou avec l'apport du carbonate de fer, soit de cultiver la luzerne et d'assurer un drainage parfait.

Faute d'avoir des quantités insuffisantes des engrais organiques, il est recommandé de combiner la luzerne avec l'utilisation du carbonate de fer et amendements chimiques. L'utilisation de l'engrais diminuera considérablement l'alcalinisation des sols et augmente les rendements des cultures.

### **9.7 L'apport des engrais et les particularités des techniques culturales des fourrages**

Les sols de texture grossière sont très pauvres en éléments nutritifs essentiels, et notamment en humus, en azote, en phosphore, mais ils sont plus ou moins riches en potassium «K». La mise en valeur des terres des Hauts Plateaux par irrigation n'est possible qu'à condition de l'apport des engrais minéraux et des engrais verts tels que : le dactylon, *Lolium perenne*, *Chloris gayana*, *Sorghum vulgare Sudanense*, *Melilotus alba* ainsi que la combinaison de *Lolium perenne*, de trèfle et de *Melilotus alba*.

Au cours de 1965-1967 une équipe des spécialistes soviétiques, à la tête Kreidik a effectué des études expérimentales, en vue de mettre au point des méthodes agro-techniques, pour la production des cultures fourragères essentielles, dans la station expérimentale d'Ain-Skouna, dont les conditions naturelles sont typiques des régions des Hauts Plateaux. Les résultats de ces études doivent être largement vulgarisés, car ils permettent de procéder scientifiquement à la résolution des problèmes de l'irrigation des cultures agricoles dans les conditions spécifiques pédologiques et de bonification de la région étudiée.

Sur les terres irriguées des Hauts Plateaux il est conseiller de cultiver la luzerne, donnant non seulement des récoltes élevées, mais aussi améliore la fertilité du sol. La luzerne est un meilleur prédécesseur de la plupart des cultures. Sur un hectare occupé par la luzerne et pendant une année on peut avoir une accumulation 130 à 150 kg d'azote dans le sol. En conséquence, pendant la deuxième et la troisième année les frais liés à l'entretien et à la récolte de la luzerne sont minimales. Au bout de 5 à 6 ans, on peut réaliser 5 à 6 fauches, tout dépend des variétés, par saison qui donnent une production de 90 à 120 q/ha de foin sec.

La luzerne est exigeante au labour profond qui d'ailleurs contribue à la prolifération des mauvaises herbes et à l'amélioration des propriétés physico-hydrodynamique des sols. Les premiers arrosages doivent être précédés des opérations avant-semis. Les opérations avant-semis comprennent le binage par cultivateurs ou par charrues à disques. La meilleure période du semis de la luzerne dans les conditions des Hauts Plateaux coïncide avec la fin du février et le début du mars. La dose de semence est de 15 à 16 kg/ha; on sème les grains à la profondeur de 2 à 5 cm.

Le semis d'automne de la luzerne commence la fin d'août et la première quinzaine du septembre. Dans ce cas on doit semer la luzerne avec l'orge ou de l'avoine, lors de la première année donne des récoltes plus importantes que celle du semis du printemps.

Lors du labour, les engrais minéraux doit appliquer dans la zone racinaire. Au cours de la première année du semis de la luzerne demande un apport de 80 à 100 kg du phosphore, 48 à 50 kg du potasse et 30 à 40 kg de l'azote par hectare. Pendant les années à suivre la quantité du phosphore diminue jusqu'à 50 à 60 kg et celle de la potasse jusqu'à 30 kg par hectare. Les engrais sont enfouis par la charrue à disques ou par les herses de 2 à 3 reprises.

Sur les champs occupés par l'assolement de luzerne pendant les premières années, il est nécessaire d'effectuer le hersage d'automne avec l'apport des engrais et des herbicides, ce qui favorise la meilleure aération des racines, la non-prolifération des adventices et l'intensification du tallage. Le hersage ou le binage à disque se fait à 2 ou 3 reprises, ce qui augmente la récolte de 15 à 20%. Si les champs de luzerne devenus très clairs on sème encore.

Pour obtenir un fourrage vert précoce, la vesce-avoine présente une combinaison fourragère la plus connue et la plus répandue.

Les semilles combinées des cultures annuelles de fève et des cultures agricoles sont très bons prédécesseurs pour la plupart des cultures agricoles. Les semis de la vesce-avoine sont succédés par les cultures d'hiver comme le maïs, le sorgho (*Sorghum vulgare Pers*) et le sorgho du Soudan (*Sorghum sudanense Pers*).

Dans les conditions des Hauts Plateaux l'arrosage d'humectation est indispensable. Après le séchage de la couche supérieure de la terre on procède au labour à la profondeur de 27 à 30 cm

avec le hersage en couple.

La meilleure période des semis de la vesce-avoine est la deuxième quinzaine d'octobre et le début du novembre. Il est recommandé de semer à l'hectare de 80 à 90 kg de vesce et de 50-60 kg d'avoine. Les semailles des deux cultures séparées l'une de l'autre par semoirs avec interlignes, sont les plus économiques. Les meilleurs résultats ont été obtenus par l'enterrement des semences de la vesce à la profondeur de 3-4 cm, et de l'avoine de 5-6 cm.

Concernant le semis d'hiver de la vesce-avoine, il faut appliquer des quantités d'engrais à raison de 20 à 25 kg/ha d'azote, de même pour le phosphore et la potasse.

En vue d'assurer l'application des doses d'engrais et la non-prolifération des mauvaises herbes, et en vue d'éviter l'évaporation des eaux, avant la levée de l'avoine il est recommandé d'effectuer le hersage en un passage des semis avec herses légères.

Le maïs et le sorgho en irrigué, donnant de très bonnes récoltes sur les sols des Hauts Plateaux.

La récolte du maïs peut donner 40 à 50 q/ha des grains et 300-500q/ha de la masse verte. Le premier arrosage végétatif (humectation) est obligatoire. Après le séchage le champ est hersé à 5 reprises. Au fur et à mesure du séchage des sols on procède au labour par charrues à disques à la profondeur de 10-12 cm. Les normes optimales des engrais minéraux retenues pour ces cultures sont égales à: 100-200 kg/ha de l'azote, 80-100 kg/ha du phosphore, 20-30 kg/ha du potasse.

60% de la norme annuelle du phosphore et toute la norme de la potasse doivent être apportés lors du labour principal. Avant semis ou lors du semis il est recommandé d'apporter le mélange comprenant 20-30 kg/ha d'azote, 15-20 kg/ha du phosphore et 20-30 kg/ha de la potasse.

Le deuxième apport est nécessaire sur la phase de l'apparition de 3-4- feuilles, à raison de 40-45 kg/ha de l'azote, 15-20 kg/ha du phosphore. Pendant la formation des sultans du maïs et des pellicules du sorgho, ces cultures sont alimentées de nouveau par l'azote à raison de 40-45 kg/ha.

Mode de semis: L'écartement entre les lignes de plants étant de 25 à 30 cm et de 60 à 90 cm entre lignes. Les semences du sorgho et du maïs sont respectivement placées à la profondeur de 3 à 4 cm ou de 4 à 5 cm.

Sur les sols fertiles des Hauts Plateaux, en irrigué, on peut récolter 350 à 600 q/ha de betteraves fourragères, demi-sucrées et sucrées. Un quintal des rhizocarpées de betteraves contient 26 unités fourragères. Les rhizocarpées et le feuillage des betteraves sont utilisées pour la nourriture des veaux en tant que fourrage d'hiver, aussi pour les ovins.

Pour le labour de printemps les betteraves exigent de l'apport de 20 t/ha des fumures. La norme totale du phosphore s'élève à 70 à 75 kg/ha, du potasse à 100 à 120 kg/ha, de l'azote à 75 à 80 kg/ha. 75% de la norme annuelle du phosphore et 100% de la norme du potasse sont apportés pour le labour du printemps. L'azote est apporté à deux reprises par les doses égales après la

levée des pousses et dans 40-45 jours après le premier apport.

### **9.8 Nécessité de l'installation des brise-vent**

On a consacré le (chapitre IV) pour l'étude du vent pour des fins énergétiques, comme on peut exploiter les résultats de ce chapitre pour éviter les effets négatifs du vent sur le milieu.

Suite au tableau 4.1, chapitre IV, la fréquence des vents qui dépasse les 5 m/s, s'élève à 40 %, par conséquent, lors de la mise en valeur des terres, ces vitesses peut provoquer l'érosion éolienne, vu la texture grossière des horizons humifères des sols. Les vents chauds en particulier le sirocco qui vient de la direction sud-ouest avec une fréquence d'occurrence de 10%, causent des préjudices aux organes végétatifs des plantes. En même temps il favorise une grande évaporation des sols.

Concernant le pilotage des irrigations en utilisant le système d'irrigation par aspersion et pour une bonne uniformité des irrigations, il ne faut pas irriguer sous des vents qui dépassent les 3 m/s. D'après la (figure 4.4 chapitre IV), les meilleurs moments d'irrigation pendant la journée commence de 3 heures du matin jusqu'à 10 heures.

En vue d'éliminer ces facteurs néfastes il est nécessaire de prévoir l'installation des brise-vent le long des limites des îlots, ainsi que le long des périmètres d'irrigation.

Tenant compte de l'expérience obtenue lors de l'installation des brise-vent dans la région d'Ain-Oussera, pour un grand périmètre d'irrigation, il faut installer une bande de 7 m de large composée de 4 lignes de Pins d'Alep avec intervalle de 1 m, de 2 lignes d'atlas avec une intervalle de 1 m, de 2 lignes des féviers épineux de famille césalpiniacées avec intervalle de 1 m et d'une ligne des Eucalyptus avec intervalle de 2 m.

Le long des limites des ilots sont recommandées les bandes de 2 m de large, reboiser par des espèces telles que le casuarina, tamaris et févier greffés.

En conclusion, la production des cultures agricoles par irrigation sur les sols des Hauts Plateaux n'est possible qu'à condition de la réalisation du complexe des opérations de bonification.

### **9.9 Détermination des besoins en eau de quelques cultures au niveau des périmètres P1, P2**

Dans le cadre de la mise en valeur culturale par irrigation d'un périmètre irrigué d'une région donnée, l'étape la plus la plus décisive se rapporte à la détermination des besoins en eau des cultures. Car c'est à partir de ces résultats que les dimensionnements de toute les composantes du réseau d'irrigation, de groupe de pompage de l'eau jusqu'au élément du système d'irrigation vont se baser. Ainsi, le choix des cultures introduites dans ce périmètre dépend de plusieurs

facteurs. Suite de ce qu'on a entamé dans les paragraphes précédents de ce chapitre et suite au facteur socio-économique propre à cette région où l'activité la plus répandue est l'élevage et/ou l'agro-élevage, vu les conditions agro-pédo-climatiques des régions steppiques, ce choix est limité prioritairement aux cultures fourragères. Parmi ces cultures qui s'adaptent facilement dans ces conditions on peut citer par excellence l'orge, la vesce-avoine et la luzerne. En conséquence on va consacrer ce dernier paragraphe à la détermination des besoins en eau de ces cultures.

### **9.9.1 Disponibilité et Accès à l'eau**

On a vu au (chapitre III) que cette région renferme un potentiel hydrique très important en quantité, tandis que la qualité de l'eau d'irrigation, comme en a vu aux paragraphes précédents, varie d'une zone à une autre. Donc l'eau dans cette région ce n'est pas un facteur limitant, mais présente le facteur de rareté fait d'accès à l'eau souterraine, qui nécessite des moyen plus ou moins onéreux et/ou méconnaissance des paysans à l'exploitation rationnelle de cette eau.

### **9.9.2 Etude des besoins en eau des cultures**

L'étude des besoins en eau des cultures, ça été l'objet de la publication d'un article, ci-joint en annexe, que j'ai achevé, et qui est intitulé « Estimation of barley (*Hordeum vulgare* L.) crop water requirements using CROPWAT Software in Ksar-Chellala région, Algeria ».

Selon (Doorenbosand et Pruitt, 1977) : « *Les besoins en eau d'une culture est la hauteur d'eau, en mm, nécessaire pour compenser l'évapotranspiration ETP d'une culture en bon état sanitaire, établit dans un champ de grande superficie, dans des conditions de sol non limitantes du point de vue de la disponibilité de l'eau et de la fertilité, et conduisant au rendement cultural potentiel dans des conditions climatiques données* ».

L'estimation des besoins en eau d'une façon simple, réaliste et la plus précise possible, permet d'assurer un optimum de consommation en eau pour une production de qualité et une bonne rentabilité. Dans un contexte de valorisation des ressources en eau dans un climat aride comme c'est le cas de notre étude, cela permet d'ajuster au mieux les besoins dans le temps. Les techniques de calcul des besoins présentées ci-dessous sont celles utilisées pour l'agriculture de précision dans les pays développés où l'irrigation est contrôlée strictement et les besoins en eau ajustés au jour le jour. Elles supposent une bonne connaissance des données à la fois climatiques, pédologiques et biologiques, et parfois même un suivi de certains paramètres durant la période de culture.

L'objectif de cette estimation des besoins en eau dans la cadre de notre étude est de prévoir la quantité d'eau globale nécessaire pour toute la période de végétation, qui servira au

dimensionnement du système d'irrigation. Les besoins en eau des cultures dépendent de plusieurs paramètres que l'on peut regrouper en trois catégories, chacune représentée par un paramètre global tableau 9.6 :

Tableau 9.6 récapitulant les paramètres dont dépend le calcul des besoins en eau des cultures

Paramètres	Composants	Représenté/synthétisé par
<b>Climatiques</b>	Température et humidité de l'air, vent, ensoleillement...	L'ETP
<b>Pédologiques</b>	Texture, structure (infiltrabilité), physico-chimie du sol, disponibilité de l'eau de surface (RU)	Le Potentiel Hydrique
<b>Biologiques</b>	Caractéristiques propres au végétal	Le Coefficient de culture (Kc)

## 9.11 Calcul des besoins en eaux des cultures et besoins d'irrigation

### 9.11.1 Collecte des données

- **Les données météorologiques**

Les données météorologiques sont collectées de la station météorologique de Ksar-Chellala. Pour le calcul de l'ETP on a utilisé une série de données de 23 ans (1990-2012). Pour l'estimation du rayonnement global, on a utilisé la durée de l'ensoleillement, avec l'utilisation des coefficients d'Ångström:  $a=0.25$ ,  $b=0.5$ .

Nous avons la formule suivante qui détermine les besoins en eau des cultures CWR :

$$CWR = (Kc \times ET_0 - P_{eff}) - (Pe + Ge + Wb) + LR \quad (9.5)$$

$$\Leftrightarrow CWR = (ETc - P_{eff}) - (Pe + Ge + Wb) + LR$$

avec :

$Kc$  : coefficient cultural de chaque culture

$Pe$  = Pluie efficace (mm);

$Ge$  = Contribution de la nappe phréatique (mm)

$Wb$  = Eau stockée dans le sol au début de chaque période (mm)

$LR$  = Besoins de lessivage

Ils existent différentes méthodes pour estimer les précipitations efficaces. L'une des méthodes les plus couramment utilisées est la méthode de conservation du sol de l'USDA; les données de la pluie utilisées sont les pluies d'une année sèche tableau 9.7. (Voir annexe 01 pour la détermination de la pluie d'une année sèche).

Tableau 9.7: pluie efficace à 80 % de la pluie totale d'une année sèche

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Octo	Nov	Dec	year
Pluie d'une année sèche	12.1	14.5	15.5	18.0	21.5	8.4	6.7	8.4	24.1	27.6	17.2	16.2	190.2
Pluie efficace	9.7	11.6	12.4	14.4	17.2	6.7	5.3	6.8	19.3	22.1	13.8	12.9	152.2

Chaque culture a ses propres besoins en eau  $ET_c$ . Les besoins nets d'eau d'irrigation ( $NIWR$ ) pour chaque culture irriguée égale:

$$NIWR = CWR \times S \quad (9.6)$$

avec :

$S$  : surface cultivée en ha ;

$NIWR$  exprimé en mm ou  $m^3/ha$  ; ( $1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3 / ha$ ).

Dans les conditions des périmètres P1,P2 et P3 on peut négliger la contribution  $Ge$  et  $Wb$  mais on ne peut pas négliger les besoins de lessivage des sols.

La formule (9.5) devient :

$$CWR = (ET_c - P_{eff}) + LR \quad (9.7)$$

Les besoins bruts en eau d'irrigation ( $GIWR$ ) dépendent de l'efficacité du système d'irrigation :

$$GIWR = \frac{1}{E} NIWR \quad (9.8)$$

avec :

$E$  : efficacité du système d'irrigation

#### a) Conversion des données climatiques

En général, les données climatiques d'une station météorologique sont normalisées. Normalement, certaines conversions sont nécessaires pour ajuster les données au format accepté par CROPWAT 8.0. Dans notre cas, le vent est mesuré à 10 m, nous devons l'extrapoler à 2 m (tableau 9.8) et parce que la détermination de l'évapotranspiration de référence  $ET_0$  est fonction du vent à 2 m au-dessus du niveau du sol et dans ce cas on a utilisé la formule De (Paulson, 1970) (équation 9.9).

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8 z_m 5.42)} \quad (9.9)$$

avec :

$u_2$  = vent à 2 m,

$u_z$  = vent à 10 m,

$z_m$  = 10 m.

**Tableau 9.8: Estimation du vent à 2 m**

Month	vent à 10 m (Km/j)	Vent à 2 m (Km/j)
January	276.2	163.9
February	311.0	184.5
March	374.6	222.2
April	365.3	216.7
May	315.5	187.1
June	303.5	180.1
July	268.6	159.3
August	350.4	207.9
September	237.8	141.1
October	235.1	139.5
November	303.0	179.7
December	297.2	176.3
Average	303.2	179.9

**b) Calcul de l'évapotranspiration de référence  $ET_0$**

Le Calcul de  $ET_0$  par CROPWAT 8.0 requiert les données climatiques de la station météorologique la plus représentative de la région d'étude : température, humidité, vitesse du vent à 2 mètres et la durée d'ensoleillement tableau 9.9.

**Tableau 9.9: Calcul de l'évapotranspiration de référence ( $ET_0$ ) de la station de Ksar-Chellala.**

Month	Min Temp (deg.C)	Max Temp (deg.C)	Humidity (%)	Wind (Km/d)	Sunshine duration (Hours)	Solar Rad (MJ/m <sup>2</sup> /d)	$ET_0$ (mm/d)
January	2.8	13	70	163.9	6	10.1	1.42
February	3.5	14.3	64	184.5	7	13.3	2.01
March	6.3	18.3	60	222.2	8.2	17.7	3.14
April	8.6	21.1	51	216.7	9.1	21.6	4.26
May	12.9	26.8	45	187.1	9.9	24.3	5.38
June	18	33.4	34	180.1	9.9	24.7	6.61
July	21.1	37.5	28	159.3	10.8	25.7	7.16
August	21	36.3	32	207.9	10.7	24.3	7.41
September	16.7	30	47	141.1	9.7	20.4	4.86
October	12.5	24.3	56	139.5	8.9	16.2	3.31
November	6.8	16.4	62	179.7	8.2	12.6	2.12
December	4.4	13.2	74	176.3	6.5	9.8	1.32
Average	11.2	23.7	52	179.9	8.7	18.4	4.08

**c) Collecte des données propres aux cultures**

Les données relatives aux cultures sont collectées du bulletin FAO N°46 (irrigation et drainage), (Smith, 1992), tel que le coefficient cultural, la hauteur des cultures, le cycle végétatif (la durée des phases phénologiques) tableau 9.10 et tableau 9.11.

Culture	Initial	Développement	Moyen	Dernier	Total	Plant Date
Orge	35	50	45	40	170	01/Nov
Luzerne 1ere coupe	10	15	75	35	135	01/Mars
Vesce-Avoine	85	67	37	68	257	01/Déc

Culture	Kc Initial	Kc Moyen	Kc Dernier	Hauteur maximum (m)
Orge		1.15	0.25	1
Luzerne 1ere coupe	0.40	0.95	0.90	0.7
Vesce-Avoine		1.15	0.25	1

## d) Importance des cultures sélectionnées

### 1) L'orge

L'orge représente actuellement l'aliment essentiel des ovins en Algérie (Benmahammed, 2006). Le cheptel ruminant est tributaire de l'importation des orges notamment au niveau de la steppe (Arbouche et al., 2008).

Selon Oudina et Bouzerzour (1993), l'orge occupe la seconde place en Algérie après le blé dur. Cette culture s'insère bien dans les milieux caractérisés par une grande variabilité climatique où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (Hakimi, 1989 in Makhlouf et al., (2003)). Selon Mouret et al., (1990) in Bouzerzour et al., (1997), cette culture s'inscrit en Algérie dans le cadre des systèmes extensifs céréaliculture-élevage ovin où elle joue un rôle important dans l'équilibre précaire de l'économie des petites exploitations des zones marginales.

### 2) La luzerne

D'après (Pfitzenmayer, 1963), on peut estimer que de son temps, une luzernière arrivait à produire plus de 4000 U.F par hectare.

On notera, parmi les nombreuses qualités de la luzerne, quelques-unes très importantes :

- Son potentiel de production élevé,
- Son potentiel de production en protéines (1500 à plus de 2000kg de protéines /ha),
- Sa résistance à la sécheresse,
- Sa résistance aux fortes chaleurs,
- Sa pérennité (elle peut occuper le sol de 3 à 8 années),
- Elle n'exige pas de fertilisation azotée,
- Elle enrichit le sol en azote.

### 3) Vesces-avoine,

Les légumineuses représentent un fourrage directement pâturable par les petits ruminants, supplément alimentaire appréciable aux jachères (ORAM, 1956, cité par ABD EL MONEIM, 1992). Elles procurent à la céréale suivante un apport azoté permis par la fixation symbiotique (VILLAX, 1963) de la légumineuse (SHIPLEY et al., 1992). Ces vesces se cultivent en association avec une céréale fourragère (l'avoine, l'orge ou le triticales) et donnent un foin d'excellente qualité (RIHAWY et al., 1987).

#### 9.12 Besoins en eau d'irrigation des différentes cultures sélectionnées

Pour la détermination des besoins en eau des cultures (voir les tableaux ci-dessous N°9.15, N°9.16 et N°9.17) bien adaptées dans les limites des sols des périmètres P1, P2 on a pris deux exemples concrets (deux profils : N°1, N°2) des sols bruns calcaires, ainsi que leurs caractéristiques chimique (tableau 9.13 et tableau 9.14) de ces périmètres ainsi que les forages correspondant (tableau 9.12) de l'étude soviétique. Les cultures sélectionnées sont l'orge, la luzerne et la vesce-avoine.

Tableau 9.12 : Composition chimique des eaux d'irrigation des forages choisis

Forage N°	pH	CEi	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
202-P1	7,2	2260	213,5	269,8	602,9	72,6	72,2	32,4
310-P2	8,4	1860	372,1	273,7	332,2	101,6	72,8	222,2

#### ➤ Sols bruns calcaires.

Les sols bruns calcaires prennent naissance sur les alluvions de la vallée de l'Oued-Touil. Les caractères morphologiques des sols bruns calcaires se formant sur les alluvions des vallées des oueds, varient en fonction de la texture des horizons. Dans la vallée de l'Oued-Touil on rencontre des sols présentant une texture relativement homogène de tout le profil ainsi qu'une texture variant très brusquement en fonction de la profondeur.

##### a) Le profil N° 1 (Périmètre N° P1)

Révèle les caractères morphologiques des sols formés par des limons argileux jusqu'à la profondeur de 105 cm et reposant sur des argiles limoneuses.

Une large dépression plate débouchant sur la vallée de l'oued Touil. Les terres de la dépression sont labourées et utilisées pour la culture du blé.

0 - 24 cm: limon pulvérulent brun rougeâtre, motteux, finement poreux, sec, sans pseudo-mycéliums et concrétions calcaires, beaucoup de racines, transition graduelle;

24 - 49 cm i limon argileux de couleur de paille teintée de rougeâtre, très sec, très compact, blanchâtre à cause de la farine calcaire, dépourvu de pseudo-mycéliums et concrétions calcaires, abondant en pores fins, motteux et nuciforme, transition nette,

49 - 80 cm: limon argileux rose clair de teinte blanchâtre, très compact, poreux, conduits racinaires, de teinte brune, dépourvu de granulés calcaires et pseudo-mycéliums, transition nette ;

80 - 105 cm: limon argileux brun clair rougeâtre, sec, compact, à taches de calcaire farineux jusqu'à 2 cm 0, poreux, structure nuciforme, transition nette;

105 - 145 cm: argile limoneuse chocolat, très compacte, fissurée verticalement et horizontalement, motteuse, à blocs, points noirs de manganèse, calcaires en forme de granules blanchâtres teintés de rose, très compacts, jusqu'à 1 cm de diamètre, transition nette; diamètre, poreuse, racines rares, petits granules calcaires jusqu'à 0,5 cm de diamètre.

145 - 210 cm: argile limoneuse blanchâtre teintée de vert, à taches brunes, à blocs de 7 à 18 cm de diamètre, poreuse, racines rares, petits granules calcaires jusqu'à 0.5 Cm de diamètre.

#### b) Profil N° 2 (Périmètre P2).

Les caractères morphologiques des sols constitués de limons argileux jusqu'à la profondeur de 160 m, reposant sur les limons, Le profil est implanté sur un terrain plat utilisé pour la culture du blé.

0 - 40 cm: limon argileux brun foncé de teinte grisâtre, friable, motteux-granuleux, traversé de racines, sans pseudo-mycéliums et concrétions calcaires, transition graduelle;

40 - 70 cm: limon argileux brun clair, de teinte blanchâtre due à la farine calcaire, légèrement compact, motteux-granuleux, poreux, beaucoup de racines, sans pseudo-mycéliums et, concrétions calcaires, transition graduelle;

70 - 140 cm: limon argileux, couleur de paille teintée de rougeâtre, compact, nuciforme, poreux, beaucoup de racines, pseudo-mycéliums, transition graduelle;

140 - 160-cm: limon argileux brun clair de teinte rougeâtre, compact, nuciforme, très poreux, avec concrétions calcaires en abondance de  $\varnothing = 2,5$  cm, transition nette;

160 - 210 cm: limon brun clair-à fines taches ocres, friable, frais, faiblement motteux, poreux, à rares intercalations des cristaux fins du gypse dans la partie inférieure de l'horizon.

1	2	3	4	5	6	7-1	7-2	8	9	10	11	12-1	12-2	12-3	13	14-1	14-2
0-30	0-10	1.41	1.02	0.111	9	15.2	0.67	0.31	8.4	2300	13.6	0.09	0.02	0.48	0.7	15.1	1.76
30-50	35-45	0.79	0.57	0.081	7	21.8	0.93	0.05	8.3	2350	8.3	0.13	0.02	0.31	1.5	28.9	0.76
50-120	80-90	0.22	0.16	0.052	3	19.8	0.96	0.01	8.5	2350	4.6	0.04	0.03	0.15	0.9	14.0	0.34
120-145	125-135	0.30	0.22	0.056	5	24.1	0.77	0.09	8.5	2400	3.2	-	-	-	-	-	-
145-110	155-165	0.20	0.14	0.049	4	19.15	0.86	0.17	8.5	2480	11.5	-	-	-	-	-	-
	190-200	0.26	0.19	0.051	4	46.2	1.86	0.18	8.5	2500	10.2	-	-	-	-	-	-

Tableau 9.14 : Caractéristique chimique des sols bruns calcaire Profile N° 2, P2

1	2	3	4	5	6	7-1	7-2	8	9	10	11	12-1	12-2	12-3	13	14-1	14-2
0-40	0-10	156	1.10	0.112	9	31.0	2.58	Néant	7.6	3000	15.5	1.08	5.30	0.63	6.9	42.2	1.0
-	25-35	1.12	0.81	0.112	6	30.8	2.68	..	7.6	3000	13.8	1.19	4.15	0.77	8.5	49.2	2.9
40-70	50-60	0.79	0.57	0.080	7	32.2	2.37	..	8.1	3000	11.6	1.43	2.05	0.68	12.3	-	-
70-140	90-100	0.22	0.16	0.048	47	30.2	2.99	2.03	7.9	6000	10.4	1.27	4.13	0.73	12.2	-	-
140-160	140-150	0.20	0.14	0.048	4	29.4	2.78	Néant	8.4	2000	12.2	1.19	3.83	0.58	9.7	-	-
160-210	165-175	-	-	-	-	31.3	8.47	..	8.4	2000	8.5	1.19	1.92	0.58	14.0	-	-
	200-210	-	-	-	-	27.4	1.34	0.94	8.0	4000	6.4	1.06	0.35	0.58	16.5	-	-

Avec :

1. Epaisseur de l'horizon (Cm)
2. Profondeur du prélèvement de l'échantillon (Cm)
3. Humus (%)
4. C (%)
5. N total (%)
6. C/N
7. CaCO<sub>3</sub> (%) 7-1 :Total, 7-2 : Actif
8. Gypse total (%)
9. pH
10. Conductivité (µS/Cm)
11. Capacité d'échange Total (méq/100g de terre)
12. Complexe absorbant 12-1 : Na<sup>+</sup> ; 12-2 : Mg<sup>2+</sup>; 12-3 :K<sup>+</sup>(méq/100g de terre)
13. Na en % du Total
14. Total assimilable 14-1:K<sub>2</sub>O ; 14-2 :P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/100g de terre)

### ➤ Calcul de la fraction lessivante et de dose de lessivage

Suite à la formule 10.2, la fraction lessivante  $FL$  du sol P1 et du sol P2 est égale à :

$$FL_{P1} = \frac{2260}{5 \times 2396 - 2260} = 0.23$$

$$FL_{P2} = \frac{1860}{5 \times 3285.7 - 1860} = 0.13$$

En conséquence, d'après la formule 11.4, et les tableaux ci-dessous la dose de lessivage pour chaque culture et pour chaque périmètre égale :

Pour l'orge du périmètre P1 = 909.0 m<sup>3</sup>/ha

Pour l'orge du périmètre P2 = 454.7 m<sup>3</sup>/ha

Pour la luzerne du périmètre P1 = 2421.6 m<sup>3</sup>/ha

Pour la luzerne du périmètre P2 = 1211.4m<sup>3</sup>/ha

Pour la vesce-avoine du périmètre P1= 2292.3m<sup>3</sup>/ha

Pour la vesce-avoine du périmètre P2= 1146.7m<sup>3</sup>/ha

On remarque que la dose de lessivage, pour la même culture, change d'un périmètre à un autre, ceci revient au rapport de la salinité de l'eau d'irrigation et du sol de chaque périmètre.

En conclusion, la production des cultures agricoles par irrigation sur les sols des Hauts Plateaux n'est possible qu'à condition de respecter la réalisation du complexe des opérations de bonification qu'en a entamé ci-dessus. Ainsi les tableaux ci-dessous (tableau 9.15, tableau 9.16, tableau 9.17) donnent des informations très utiles pour la déterminer des besoins en eau d'irrigation des cultures fourragères cultivées sur des sols bruns calcaire, ces sols qui sont très répondus dans les régions steppiques. Le système d'irrigation utilisé est l'aspersion avec une

efficience de 70%. En conséquence, d'après ces tableaux ci-dessus les besoins en eau d'irrigation totale des cultures sélectionnées dans les deux périmètres sont pour :

- L'orge varient de 3497.6 à 3951.8 m<sup>3</sup>/ha ;
- La luzerne (première coupe) varient de 9318.5 à 10528.7 m<sup>3</sup>/ha ;
- La vesce-avoine varient de 3980.7 à 5126.3 m<sup>3</sup>/ha.

Tableau 9.15 : Besoins d'irrigation de l'Orge																		
Efficience du système d'irrigation = 0.70																		
Profile N°1, Périmètre P1, Fraction lessivante «FL= 0.23»																		
Profile N°43, Périmètre P2, Fraction lessivante «FL= 0.13»																		
Mois	Nov			Déc			Jan			Fév			Mars			Avril		Total
ETP (mm/j)	2.13			1.33			1.43			2.02			3.15			4.27		
Peff (mm)	5,3	4,3	4,3	4,5	4,4	4	3	3,3	3,7	3,9	4	4	4,1	4,4	4,6	4,3		
Kc <sub>orge</sub>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,48	0,66	1	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15	1,02	0,79	0,55	0,34		
ETM <sub>orge</sub>	7,6	6,4	5,6	5,2	6,4	9,8	14,3	20,4	20,9	23,2	22	31,8	32,2	30,5	21,5	13,1		
Besoins d'irrigation de l'orge (mm/dec)	2,3	2,1	1,3	0,7	2	5,8	11,3	17,1	17,3	19,4	18,1	27,8	28,1	26,2	17	8,3		
Besoins d'irrigation de l'orge (mm/mois)	5,7			8,5			36,6			54,8			82,1			25,3		
Besoins d'irrigation de l'orge l'efficience du système d'irrigation=70% (mm)	8,1			12,1			52,3			78,3			117,3			36,1		304,3
B <sub>Total</sub> [m <sup>3</sup> /ha ]	81,4			121,4			522,9			782,9			1172,9			361,4		3042,9
Dose lessivage P1 [m <sup>3</sup> /ha ]	909,0																	
B <sub>Total</sub> +Dose lessivage P1 [m <sup>3</sup> /ha ]	3951,8																	
Besoins d'irrigation de l'Orge p1	<b>3951,8</b>																	
Dose lessivage P2 [m <sup>3</sup> /ha ]	454,7																	
B <sub>Total</sub> +Dose lessivage P2 [m <sup>3</sup> /ha ]	3497,6																	
Besoins d'irrigation de l'Orge P2	<b>3497,6</b>																	

Tableau 9.16 : Besoins d'irrigation de la luzerne (1 <sup>ère</sup> coupe)																
Efficience du système d'irrigation = 0.70																
Profil N°1, Périmètre P1, Fraction lessivante «FL=0.23»																
Profil N°43, Périmètre P2, Fraction lessivante «FL= 0.13»																
Mois	Mars			Avril			Mai			Juin			Juil			Total
ETP (mm/j)	3.15			4.27			5.38			6.61			7.15			
Peff (mm)	4	4,1	4,4	4,6	4,8	5,1	5,8	6,3	5	3,1	1,8	1,8	1,9	0,5		
Kc <sub>Luzerne</sub>	0,4	0,61	0,93	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92	0,92		
ETM <sub>Luzerne</sub>	11,1	19,1	36	37,5	41,1	44,7	48,2	51,8	61,3	59,7	62,9	63,7	64,4	19,6		
Besoins d'irrigation de la luzerne (mm/dec)	7	14,9	31,6	32,9	36,3	39,6	42,4	45,5	56,4	56,5	61,1	61,9	62,6	18,8		
Besoins d'irrigation de la luzerne (mm/mois)	53,5			108,8			144,3			179,5			81,4			567,5
Besoins d'irrigation de la luzerne l'efficienc du système d'irrigation=70% (mm)	76,4			155,4			206,1			256,4			116,3			810,7
B <sub>Total</sub> [m <sup>3</sup> /ha]	764,3			1554,3			2061,4			2564,3			1162,9			8107,1
Dose lessivage P1 [m <sup>3</sup> /ha]	2421,6															
B <sub>Total</sub> +Dose lessivage P1 [m <sup>3</sup> /ha]	10528.7															
Besoins d'irrigation de la luzerne P1 (1 <sup>ère</sup> coupe) [m <sup>3</sup> /ha]	<b>10528.7</b>															
Dose lessivage P2 [m <sup>3</sup> /ha]	1211,4															
B <sub>Total</sub> +Dose lessivage P2 [m <sup>3</sup> /ha]	9318.5															
Besoins d'irrigation de la luzerne P2 (1 <sup>ère</sup> coupe) [m <sup>3</sup> /ha]	<b>9318.5</b>															

Tableau 9.17 : Besoins d'irrigation de la vesce-avoine,  
 Efficience du système d'irrigation=0.70  
 Profil N°1, Périmètre P1 Fraction lessivante «FL=0.23»  
 Profil N°43, Périmètre P2 Fraction lessivante «FL= 0.13»

Mois	Nov			Déc			Jan			Fév			Mars			Annuel (dact)	Total
ETP (mm/j)	2.13			1.33			1.43			2.02			3.15			4.27	
Peff (mm)	53	43	43	45	44	4	35	3	33	37	39	4	4	4.1	4.4	4.6	
KcVesce-avoine	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.22	0.42	0.61	0.81	1.01	1.15	1.16	1.16	1.16	1.16	0.86	
ETM <sub>Vesce-avoine</sub>	2.5	2.1	1.9	1.6	1.3	3.2	5.8	8.7	14.5	18.5	23.4	22.2	32.1	36.5	44.9	30.0	
Besoins d'irrigation de la Vesce-avoine (mm/dec)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	5.7	11.2	14.9	19.5	18.3	28.1	32.3	40.5	25.4	
Besoins d'irrigation de la Vesce-avoine (mm/mois)	0			0			19.3			52.7			100.9			25.4	396.6
Besoins d'irrigation de la Vesce-avoine l'efficience du système d'irrigation=70% (mm)							27.6			75.3			144.2			36.3	283.4
B <sub>Total</sub> [m <sup>3</sup> /ha]							276			753			1442			363	2834
Dose lessivage P1 [m <sup>3</sup> /ha]	2292.3																
B <sub>Total</sub> +Dose lessivage P1 [m <sup>3</sup> /ha]	5126.3																
Besoins d'irrigation de la Vesce-avoine P1 [m <sup>3</sup> /ha]	5126.3																
Dose lessivage P2 [m <sup>3</sup> /ha]	1146.7																
B <sub>Total</sub> +Dose lessivage P2 [m <sup>3</sup> /ha]	3980.7																
Besoins d'irrigation de la Vesce-avoine P2 [m <sup>3</sup> /ha]	3980.7																

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

En commençant de ce qu'on a développé dans cette thèse, l'aménagement et le développement des steppes algériennes diffèrent complètement de ceux des autres systèmes agro-écologiques, vu les spécificités de ces régions. Ces dernières qui sont caractérisées par un système écologique trop fragile, en conséquence sont exposées aux aléas climatiques, le surpâturage, l'érosion hydrique et éolienne, la salinité du sol et surtout les pratiques agricoles illicites, la conjugaison de tous ces facteurs ensemble favorisent la dégradation chaque année des centaines d'hectares de parcours steppiques et de terres agricoles productives. Donc, ces régions, elles demeurent toujours à l'abri de multitude contraintes en particulier l'installation du phénomène de la désertification avec acuité dans ces dernières. D'après des constats et enquêtes menés par des services spécialisés, cette dégradation est imputable à l'homme. Ainsi l'approche de développement de ces régions reste complexe et difficilement maîtrisables actuellement. Ceci est dû aux différentes visions cloisonnées qui sont en relation avec de nombreux paramètres interdépendants. Donc aux fins d'un développement durable de ces régions, il faut arriver à établir un lien entre le développement socioéconomique et la protection de l'environnement et sa remise en état. Autrement dit, des liens doivent être établis entre les systèmes traditionnels de gestion des terres d'une part, et les applications de la science et de la technologie, d'autre part. Cependant, il est impératif d'appréhender ces paramètres dans une approche intégré.

La région d'étude (sous bassin versant Oued-Touil-Aval/Ksar-Chellala) est caractérisée par un climat aride où l'activité principale est l'agro-élevage. Dans ce cadre on a mis à la disposition des différents utilisateurs une masse de données climatiques, des données concernant le sol la végétation, ces données sont d'une utilité très importante pour une éventuelle étude et/ou exploitation des ressources naturelles de cette région. Cependant, dans le cadre du développement agropastorale intègre, cette région a bénéficiée de plusieurs études, en l'occurrence, l'étude de la mission russe en 1967 et l'étude la mission australienne en 1980, il faut noter que la récupération de ces deux études ç'a été difficile. Ces deux études ont met en relief l'importance agropastorale de cette région. Cette dernière qui recèle un potentiel hydrique très important. En revanche, comme toutes les régions steppiques, cette région est menacée plus qu'avant du phénomène de la désertification. Ce constat a été confirmé suite de ce qu'on a obtenu comme résultats palpables (voir ci-dessous les chiffres en détaille).

Toutefois le recours à l'utilisation de la technologie de pointe tel que la télédétection et les SIGs et sans doute, sont des outils très efficaces pour appréhender et analyser la complexité du système écologique des régions steppiques, en particulier la prise en charge de l'étude du phénomène de la désertification. Ces technologies ont la capacité de produire rapidement,

régulièrement et de façon non destructive, une masse considérable d'informations (mesurables et « cartographiable ») sur de vastes superficies. Ces « masses » d'informations et de données sont si nombreuses et d'origine si variées, qu'il est difficilement concevable de les exploiter et de les gérer; d'où on fait recours au S.I.G pour l'analyse et l'aide à la décision. Alors l'utilisation de ces outils reste tributaire de la disponibilité des données, relatives à ce domaine, en quantité et qualité. Cependant, les résultats des deux études russe et australienne, qu'en vient de les citées, sont considérées comme une base de données très importante, en parallèle à celles-ci, la disponibilité des données géo-spatiales (images satellitaires) via plusieurs plateformes nous a aidée beaucoup pour alimenter la méthodologie utilisée dans cette étude.

La manipulation, la gestion et le croisement de l'information thématique par le biais des systèmes d'Informations Géographiques sont très avantageux, surtout pour l'élaboration des cartes synthèses tel que le cas de cette étude où on a élaboré une carte d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral. Cette carte est le résultat du croisement de 9 cartes thématiques et par voie de conséquence on a établi ce schéma d'aménagement de cette région. Donc cette étude nous a permis d'élaborer un ensemble de cartes interprétatives et des indices qui, à leurs tours, nous ont aidées à effectuer un constat sur l'état de sensibilité à la désertification dans cette région et de voir de près le degré de dégradation de cette espace steppique. Ainsi, les inquiétudes soulevées par la dégradation du milieu physique de cette région, ont donné lieu à plusieurs analyses des causes et des effets de cette situation.

Ainsi et afin d'examiner l'état de dégradation du sol de la région d'étude, on a effectué une étude (chapitre V), qui se veut quantitative et qui a été consacré à l'étude des changements dynamiques de l'occupation et d'utilisation du sol par le biais des techniques de la télédétection et des SIG. Les résultats de cette partie nous ont aidés beaucoup pour l'achèvement du schéma d'aménagement. En conséquence l'interprétation des cartes d'occupation et d'utilisation de sol donne de façon plus détaillée les superficies de celles-ci. A titre indicatif pour ces deux années normales (2007 et 2014) et si on prend uniquement les statistiques des parcours en particulier les parcours dégradés et défrichés surtout par les labours illicites, on a constaté, dans l'espace de sept (7) ans, on est passé de 27% à 52% des parcours steppiques de cette région qui sont dégradés (désertifiés), l'équivalent de 89037 ha. Par conséquent on a constaté une augmentation des parcours dégradés de 25% (l'équivalent de 46117,62 ha). En outre, concernant la superficie des parcours dégradé par rapport à la superficie totale du sous bassin, on a calculé les pourcentages suivants : pour l'année 2007 (24%) ; pour l'année 2014 (50%).Concernant les céréalicultures on a constaté une diminution de la surface destinée à cette classe d'utilisation du sol et on est passé de 13971.69 ha en 2007 à 5238.72 ha en 2014, cette situation est dû

certainement à la variation interannuelle des précipitations. Concernant le croisement des différentes classes d'occupation, on a remarqué premièrement une diminution notable de la superficie des parcours assez bons de 36% (l'équivalent de 62733,8ha) ; par conséquent la superficie des bons parcours a été augmenté de 14% (l'équivalent de 25349,2 ha) suite aux techniques de mise en repos des parcours steppique adopté par le HCDS, en outre le reste des parcours assez bons devient dégradé (5%) et défriché (21%). Concernant la superficie des céréalicultures ont été diminuée de 5% (l'équivalent de 8733 ha) ; cette superficie peut être considérée comme des parcours défrichés. D'après les résultats de ce chapitre on peut confirmer que plus de la moitié des parcours de cette région est complètement dégradés en 2014. Les causes de cette dégradation sont bien connus : en premier lieu, le facteur anthropozoïque et deuxièmement vient le facteur climatique (la sécheresse). Il faut souligner que l'approche intégrée «télédétection-paysage-dynamique de l'écosystème», proposée dans ce chapitre est une contribution au développement des nouveaux outils d'analyse et d'aide à la décision en particulier dans les études d'aménagement dans le milieu steppique tel que le cas de cette thèse de doctorat.

En parallèle de ce qu'on a développé dans le chapitre V, la réalisation d'une carte pédologique (objet du chapitre VI) a contribué aussi à l'achèvement du schéma d'aménagement. Cependant, la connaissance des sols est indispensable à la gestion des territoires, tant au niveau d'une parcelle agricole qu'au niveau paysagique. Au niveau paysagique (échelle d'un bassin versant), les études montrent qu'une information de synthèse représentée par le concept de cartographie pédo-paysagique ou descendante est suffisante dans un premier temps, pour connaître les grandes classes du sol. Elle sera introduite dans un deuxième temps, dans un SIG afin d'orienter les terres vers un aménagement adéquat, alors on peut passer à l'échelle de la parcelle. Donc, cette carte pédologique a été réalisée par le biais de l'utilisation des techniques de la télédétection (classification non-supervisée) et SIG, on se basant sur l'étude faite par le pédologue Pouget en 1973 dans les limites nord-ouest de notre région d'étude en plus d'une image satellite LANDSAT5-TM choisie et qui correspondant au 11septembre 2011, cette image nous a permet de mieux apprécier les différents types de sols. Donc, il s'agit dans le chapitre VI, d'une première tentative pour réaliser une carte pédologique de cette région par les techniques de la télédétection et SIG.

Rappelons que l'objectif principal de cette étude est la conception d'un schéma d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral de cette région. Ce schéma d'aménagement est basé essentiellement sur l'élaboration de la carte d'aménagement hydro-agro-sylvo-pastoral (voir figure 8.4 chapitre VIII). Alors que cette carte d'aménagement est basé sur l'utilisation de l'information spatiale des

couvertures géologique, hydrogéologique, morphologiques, pédologiques, état de la couverture du sol, réseaux hydrographiques, etc... Ces couches thématiques, qui sont issues de plusieurs sources, sont transformées en format numérique ce qui nous a conduit à la constitution d'une base de données géomatiques détaillée de cette région et qui va servir comme outils d'aide à la décision aux différents service et/ou organisme chargé de la gestion de cette espace steppique. Cette base de données est susceptible d'être actualisé aisément selon les situations et les requêtes. Alors le modèle qui nous a permis de croiser ces couches thématiques est le *modelBuilder* sous environnement ArcGIS.

La base de données cartographiques qui a été intégrées dans la base du *modelbuilder* est composée de :

11. Carte lithologique;
12. Carte pédologique ;
13. Carte d'occupation du sol,
14. carte des isohyètes
15. Carte des étages bioclimatiques
16. Carte de l'humidité moyenne annuelle disponible du sol
17. Carte de zones aménagées (CES);
18. Carte des classes des pentes ;
19. Carte des expositions

En conséquence, la carte d'aménagement est basée principalement sur la carte de synthèse de sensibilité à la désertification (figure 7.16 chapitre VII), donc cette étape ca été décisive pour l'élaboration du schéma d'aménagement. Cette carte synthèse elle-même est le résultat de croisement des 9 cartes qui sont arrangées ci-dessus de 1 à 9. Pour compléter l'analyse du schéma d'aménagement, il absolument nécessaire d'utiliser les cartes suivantes :

4. Carte du réseau hydrographique, figure 8.1
5. Carte des ressources en eau souterraine, figure 8.2
6. Carte des villes et des routes, figure 8.3

Revenant sur l'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification, il s'agit d'un travail original entamé dans cette région, il est axé sur l'évaluation spatiale et quantitative de la sensibilité à la désertification de la région d'étude. L'élaboration de cette carte est basée sur l'approche MEDALUS. Cette approche est concrétisée par l'élaboration d'un modèle régional de

calcul géo-spatiale des niveaux de sensibilité à la désertification et qui a été développé en utilisant les outils SIG et télédétection.

Il est donc impérativement primordial d'évaluer spatialement les effets de la désertification pour faire face à ce phénomène et pouvoir proposer les meilleures stratégies de lutte, de conservation et d'aménagement de cette espace.

La carte d'aménagement est le résultat de l'union, c'est à dire la superposition, de la carte de sensibilité à la désertification, les deux classes de la carte de l'humidité moyenne annuelle disponible du sol (figure 7.5, classe moyenne et la classe élevée), la carte des systèmes de conservation de l'eau et du sol "CES" (figure 7.15), et enfin la carte du réseau hydrographique (figure 8.1).

Suite à une analyse objective de cette carte d'aménagement et ma connaissance du terrain on peut intervenir pour affecter chaque zone à une opération d'aménagement appropriée. Comme on peut même intervenir au niveau du pixel.

En conséquence, les zones orientées à une mise en valeur agricole, surtout par les cultures fourragères, sont représentées par ceux qui sont caractérisées par des sols aptes à l'irrigation. On distingue deux zones: les zones qui présentent une bonne aptitude à l'irrigation, les autres zones leurs aptitude à l'irrigation est moyenne. Toute l'économie de cette région est basée sur ces dernières.

Concernant les zone qui sont caractérisées par un relief accidenté (généralement sont les reliefs qui présentent une pente qui dépasse les  $5^\circ$ ) sont destinées normalement à un reboisement par une sylviculture ou une arboriculture qui s'adapte mieux aux conditions pédoclimatique de ces reliefs.

Les zones qui sont aménagées par des systèmes de conservation CES (généralement sont des banquette construit en parallèle au courbes de niveau) leurs rôle c'est de conservé les sols de l'érosion hydrique, on a observé que les bandes, de largeur de 5 à 6 mètres où le sol est plus ou profond et qui sont juste derrière les banquette, sont dépourvues de toute plantation, généralement ces bandes sont labourées par les paysans. Dans le cadre du programme de lutte contre la désertification de chaque Wilaya (LCD), il faut entretenir ces systèmes et généraliser l'installation de ces systèmes au niveau de tous les reliefs qui présente une pente qui dépasse les  $5^\circ$ .

Les zones qui attirent une attention particulière de cette région steppique, sont les zones des parcours, qui sont le siège du phénomène de la désertification avec toutes ces formes. L'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification nous a menés à constater quatre aspects bien distincts point de vue de la couverture et l'utilisation du sol:

5. les zones peu sensibles
6. les zones potentiellement sensibles
7. les zones fragiles
8. les zones critiques

Ainsi pour chaque zone les interventions de gestion peuvent être précisément ciblées. Les zones qui présentent une bonne couverture végétale (généralement de l'alpha) sont les zones peu sensibles à la désertification, elles doivent être mises en repos et peuvent être ouvertes aux éleveurs.

Les zones potentiellement sensibles à la désertification doivent être mises en repos pour 3 ou 4 ans, le temps d'assurer une bonne remontée biologique, après elles peuvent être ouvertes aux éleveurs chaque mois d'avril de l'année.

Pour les zones fragiles, il y a lieu d'intervenir pour lutter contre la désertification, et ceci dans le cadre du programme (LCD) de la Wilaya concerné, là on a constaté qu'il existe deux états de couverture du sol, pour chaque état de couverture il a lieu d'intervenir à moyen et court terme.

Les zones critiques nécessitent une attention particulière à cause de l'état de dégradation avancé du sol, donc pour protéger ces zones des dégâts causés par la désertification, il faut intervenir d'une façon urgente. Pour le deuxième type de ces zones critiques (zones complètement désertifiées) où le sol se trouve dans un état de dégradation très avancé, sans possibilité de remontée biologique (état d'irréversibilité), il n'est pas possible de remédier cet état de dégradation.

Remarque pour les deux dernières zones (zones fragiles et critiques), leurs superficie atteint ou dépasse les 50% de la superficie total de cette région. En conséquence on peut confirmer que cette dernière est à moitié désertifiée et chaque année la désertification gagne de l'espace.

Par voie de conséquence cette région est identifiée actuellement comme un territoire dégradé, comme on a évoqué, ceci revient dans la majeure partie aux actions anthropozoïques. Si des mesures urgentes ne soient pas prises en compte, cette dégradation, accentuée par le phénomène de désertification, peut compromettre la durabilité de ressources naturelles (eau et sols).

Concernant l'importance du réseau hydrographique dans un schéma d'aménagement : un des aspects le plus important dans la mobilisation, la gestion et l'exploitation des ressources en eau est le réseau hydrographique. L'intensité et la densité des écoulements, dans un bassin versant, distribués dans l'espace et dans le temps peuvent avoir deux impacts:

- Alimentation en eau par infiltration des nappes souterraines,

- Un impact négatif s'ils se manifestent sous forme d'inondations et des écoulements intenses, problèmes qui touchent plusieurs régions du territoire Algérien chaque année, en particulier les régions arides

En outre l'élaboration de la carte du réseau hydrographique (figure 8.1) et la carte des pentes (figure 7.9) jouent un rôle prépondérant dans le choix des zones et des endroits pour installer les techniques de lutte surtout contre l'érosion hydrique. Donc, à fin de prendre en charge toutes les problématiques de cette région, un autre volet qu'il ne faut le négligé c'est la lutte contre l'érosion hydrique et éolienne. Donc il y a urgence d'intervenir pour limiter les dégâts causés par ces phénomènes qui représentent la composante principale de la désertification. Ces dégâts se résument surtout à la déperdition du capital productif déjà limité en milieu steppique. Cependant il existe une panoplie de techniques (tableau 8.2) qui offrent un choix de qualité en termes d'adoption en fonction de chacun des cas.

L'aménagement hydro-agricole d'une région donnée se base essentiellement sur la mise en valeur culturale par irrigation dans lequel l'étape la plus la plus décisive se rapporte à la détermination des besoins en eau des cultures. Car c'est à partir de ces résultats que le dimensionnement de toute les composantes du réseau d'irrigation, du groupe de pompage de l'eau jusqu'aux éléments du système d'irrigation vont se baser. En outre, le choix des cultures introduites dépend de plusieurs facteurs. Suite de ce qu'on a entamé dans le chapitre IX, suite au facteur socio-économique propre à cette région où l'activité la plus réponde est l'élevage et/ou l'agro-élevage et vu les conditions agro-pédo-climatiques des régions steppiques, ce choix est limité prioritairement aux cultures fourragères. Parmi ces cultures qui s'adaptent facilement dans ces conditions on peut citer par excellence l'orge, la vesce-avoine et la luzerne. En conséquence on a consacré (le paragraphe 9.9, chapitre IX) pour la détermination des besoins en eau de ces cultures. L'étude des besoins en eau des cultures, c'a été l'objet d'une publication international, ci-joint en annexe, et qui est intitulé « Estimation of barley (*Hordeum vulgare L.*) crop water requirements using CROPWAT Software in Ksar-Chellala région, Algeria ». Cependant, la production des cultures agricoles par irrigation au niveau des sols des Hauts Plateaux n'est possible qu'à condition de respecter la réalisation du complexe des opérations de bonification qu'on a entamé dans le même chapitre. Alors que la superficie des classes des sols aptes à l'irrigation (figure 7.5) est estimée à 26933,2 ha soit 15% de la superficie total du sous bassin. L'exploitation rationnelle de cette superficie peut minimiser la charge sur les parcours steppiques.

En conséquence, les besoins en eau d'irrigation totale des cultures fourragères (sélectionnées) cultivées sur des sols bruns calcaire, ces sols qui sont très réponde dans les régions steppiques,

sont indiqués dans les tableaux (tableau 9.15, tableau 9.16, tableau 9.17). Il faut noter que le système d'irrigation préconisé est l'aspersion avec une efficacité de 70%. En conséquence, d'après ces tableaux les besoins en eau d'irrigation totale des cultures sélectionnées dans les périmètres P1 et P2 sont pour :

- L'orge : varie de 3497.6 à 3951.8 m<sup>3</sup>/ha ;
- La luzerne (première coupe) : varie de 9318.5 à 10528.7 m<sup>3</sup>/ha ;
- La vesce-avoine : varie de 3980.7 à 5126.3 m<sup>3</sup>/ha.

Rappelons que la mobilisation de l'eau au niveau des sols aptes à l'irrigation se fait au niveau des nappes souterraines alors que l'aménagement hydro-agricole d'une région donnée se base essentiellement sur la caractérisation des ressources en eau souterraine, en conséquence on a extrait la carte des ressources en eau souterraine du sous bassin versant d'Oued-Touil-Aval (figure 8.2) de l'étude australienne (chapitre III, figure 3.22). D'après le tableau 8.1, cette région renferme un potentiel hydrique en quantité, tandis que la qualité de l'eau d'irrigation, comme en a vu au chapitre IX, varie d'une zone à une autre. Donc l'eau dans cette région n'est limitant que au niveau de sa qualité, encore il présente le facteur de rareté, faut d'accès à l'eau souterraine, qui nécessite des moyens plus ou moins onéreux et/ou méconnaissance des paysans à l'exploitation rationnelle de cette eau. A titre indicatif et d'après l'étude australienne la recharge des nappes souterraines est évalué à 2400 l/s.

Une composante principale pour la conception d'un schéma d'aménagement est le réseau routier. Il est considéré comme un secteur important dans une économie. Il agit efficacement de part et d'autre sur le secteur agricole. Ainsi dans le cadre de désenclavement des agglomérations steppiques, cette région est bien servie d'un réseau routier (figure 8.3) de différents types de chemins en particulier les deux routes nationales la RN 40 et RN 1.

Pour clôturer cette conclusion il y a lieu d'attirer l'attention sur les énergies renouvelables. Vu l'immense territoire des régions steppiques (environ 30 millions d'hectares), l'exploitation des énergies renouvelables par le biais des systèmes de conversion est plus intéressante dans le cas où on se refuse d'installer un groupe électrogène ou une motopompe, pour mobiliser l'eau à des fins de production agricole. En conséquence et suite aux résultats du chapitre IV, on peut confirmer que la région de Oued-Touil/Ksar-Chellala renferme un potentiel éolien et solaire très encourageant pour son exploitation. Les résultats obtenus (tableaux 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 et la figure 4.10) confirment bien l'importance et la disponibilité de ce potentiel énergétique.

En perspectives nous envisagerons de :

- Les plans d'aménagement des régions steppiques à entreprendre doivent s'inscrire dans une vision globale et intégrée du développement steppique;
- Revoir le code pastoral ;
- Revoir la politique de la recherche scientifique et technologique visant les zones steppiques ;
- Utilisation de la télédétection et des SIGs pour évaluer l'état de la désertification à grande et petit échelle (améliorer le degré de précision) afin de mieux comprendre les mécanismes qui conduisent au processus
- La mise en place d'un observatoire de suivi des changements écologiques à long terme ;
- La participation effective des populations pastorales non seulement dans l'exécution mais surtout dans la conception des programmes de développement ;
- La cohérence et la coordination entre les intervenants dans ces espaces ;

Suite aux rapports d'activité de la FAO, 1997, et en particulier les résolutions du chapitre 14 qui a étalé la notion de l'agriculture et du développement rural durables (ADRD) en 12 domaines d'activité : parmi ces domaines on peut se limiter à deux : l'utilisation de l'eau pour la production alimentaire et le développement rural, et la diversification de l'énergie rurale.

## Références bibliographiques

- Abaab. A, Bédrani. S, Bourbouze. A et Chiche. J, 1995.** Les politiques agricoles et la dynamique des systèmes agropastoraux au Maghreb. Options Méditerranéennes, Sér. B/ n°14, 1995 - Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000, p37.
- Abdelguerfi A., Laouar M., 1997.** La privatisation du foncier. impact sur l'environnement et sur les ressources génétiques en Algérie. Options Médit, (32): 203-207.
- Abdelguerfi. A, 2003.** Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant les éléments de la diversité biologique en Algérie. Rapport de synthèse. Projet PNUD-MATE. Tome V, p93.
- Abdelkader KHALDI, 2005,** Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien Monts de Tlemcen - Saida , Thèse présentée à la faculté des Sciences de la terre, de Géographie et l'Aménagement du Territoire, Pour l'obtention du diplôme de Docteur d'Etat (Option : Hydrogéologie), Soutenue le 21/05/2005, UNIVERSITE D'ORAN.
- Aidoud A., 1989,** Les écosystèmes steppiques pâturés d'Algérie : fonctionnement, évaluation et dynamique des ressources végétales, Thèse Doct., Univ. Sci. Technol. H. Boumediene, Alger, 250p.
- Aidoud A., 1996.** La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Sécheresse, 7, 187-93.
- Aidoud et al, 2006, Aïdoud A., Le Floc'h E., Le Houérou H. N., 2006.** Les steppes arides du nord de l'Afrique. Sécheresse, 17: 19-30.
- Aidoud. A et Aidoud. L.F, 1997.** Le complexe alfa armoise sparte (*Stipa tenacissima* L.,*Artemisia herba alba* Asso, *Lygeum spartum* L.) des steppes arides d'Algérie : structure et dynamique des communautés végétales.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1992,** Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO, Irrigation and drainage paper NO 56, 1998 ISBN 92-5-104219-5.
- Allen, R.G.; Smith, M.; Perrier, A. & Pereira, L.S., 1994,** An update for the definition of reference evapotranspiration. ICID Bull. Vol. 43, No. 2, 1-34
- Alley, W. M., 1984:** The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions, J. Clim. Appl. Meteorol., 23, 1100-1109.
- Ambaruch, R and Simmons, J.W. 1974,** Land Use in the Northern Coachella Valley Proceedings of the Symposium on Significant Results Obtained From the Earth Resource Technology Satellite-1, NASA, SP-327, pp. 915-922.
- Aubert G., 1960,** Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. Actes Coll. U.N.E.S.C.O. de Paris sur les problèmes de la zone aride: 127-150.
- Ayers R.S. et Westcot D.W., 1976,** Qualité de l'eau pour les cultures. Essai sur l'irrigation et le drainage. N°29, FAO
- Bagnouls F. et Gaussen H. (1953).** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse 88: 193-239.
- Bale, J.B. and Bowden, L.W. 1973,** A Study of Remote Sensing As Applied to Regional and Small Watersheds IBM Report No. 74W-00175, prepared for NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, June.

- Ball, G.H. & Hall, D.J. 1965.** ISODATA, a novel method of data analysis and pattern classification. Technical Report, Stanford Research Institute, Menlo Park, California, U.S.A.
- Barnes, J.C. and Bowley, C.J. 1974** An Assessment of Remote Sensing Applications in Hydrologic Engineering , Research Note No 41 U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, California, September.
- Bedrani S. , 1996,** Foncier et gestion des ressources naturelles en Afrique du Nord. Cas de l'Algérie. Act. Atel. Le foncier et la gestion des ressources naturelles dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord. OSS., 3-32.
- Bédrani S., 1995,** L'intervention de l'Etat dans l'agriculture en Algérie : constat et propositions pour un débat. In Options Méditerranéennes, Série B (Etudes et recherches), n° 14, CIHEAM-IAM, Montpellier,.
- Bedrani S., 1995,** Une stratégie pour le développement des parcours en zones arides et semi-arides. Rapp. Techn. Algérie, doc. Banque Mondiale, 61p.+ ann.
- Bedrani S., 1998,** Désertification et emploi en Algérie, In les Cahiers du CREAD, n° 4, 1998.
- Bedrani S., 1999,** Situation de l'agriculture, de l'alimentation et de l'économie algérienne. CIHEAM. Paris.
- Bedrani S., 2001,** Les contraintes au développement des zones steppiques et la mise en valeur par les concessions, Ministère de l'agriculture, Alger,.
- Benabdeli. K, 1992.** Aridité et production agricole. Journées scientifiques 1992 Institut des Sciences de la Nature, Université de Sidi Bel Abbés, Algérie.
- Benabdeli. K, 2000.** Évaluation de l'impact des nouveaux modes d'élevage sur l'espace et l'environnement steppique. Commune de Ras El Ma (Sidi Bel Abbes-Algérie). Options Méditerranéennes, Série. A / n°39.
- Benguerai. A, 2006.** Utilisation de l'approche systémique et de la géomatique pour la caractérisation du fonctionnement de l'écosystème steppique. Cas de la région de Naâma. Mémoire de Magister, Université de Mascara, p117.
- Benrebiha A. et Bouabdellah E., 1992,** Note sur l'état des parcours steppiques en Algérie. Séminaire international du réseau PARCOURS, INES d'Agronomie de CHLEF-Algérie, , Num. spéc. pp. 25-32.
- Bensaid A. 2006,** SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie), Thèse doctorat préparée au sein du laboratoire SEIGAD, institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier-Grenoble1 et dans le laboratoire Espace Géographique et Aménagement du Territoire, présentée à l'Université Es-Senia, juin 2006
- Bensouiah R., 2003,** La lutte contre la désertification dans la steppe algérienne : les raisons de l'échec de la politique environnementale, Communication aux 15èmes Journées de la Société d'Ecologie Humaine Marseille, 11-12 décembre 2003, Du Nord au Sud : le recours à l'environnement, le retour des paysans.
- Bensouiah R., 2006.** Vue d'ensemble de la steppe algérienne. Doc en ligne: (<http://desertification.voila.net/steppealgerienne.htm>).].
- Bersi M. et Massiou Y., 2011.** Identification géoélectrique des potentialités aquifères des zones steppiques (Ksar Chellala, Taguine); mémoire d'ingénieur USTHB.
- Bjerknes, J. (1969):** Atmospheric teleconnections from the equatorial pacific, Mon. Weather Rev., 97, 163-172.

- Boken, V.K., 2005**, Agricultural drought and its monitoring and prediction: Some Concepts, in *Monitoring and Predicting Agricultural Drought: A Global Study*, edited by Boken, V.K., Cracknell, A.P. and Heathcote, R.L., Oxford University Press, 3-10.
- Bonn F. et Rochon G., 1992**. Précis de télédétection Volume 1 : Principes et Méthodes, Presses de l'Université du Québec/AUPELF
- Bouabid H. R., Rouchdi M., Badraoui H M., Diab A. and 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 P. Zdruli (ed), *Land Degradation and Desertification: Assessment, mitigation and remediation*. Springer, 2010, Part 2, pp 131-145.
- Boughani. A, 1995**, Contribution à l'étude de la flore et des formations végétales au Sud des monts du Zab (Ouled Djellal, wilaya de Biskra). Thèse magister, USTHB, Alger, 226p.
- Boukhobza M., 1982**, L'agro-pastoralisme traditionnel en Algérie, de l'ordre tribal au désordre colonial. Off. Publ. Univ., Alger, 458 p.
- Boulahouat N., Naert B., 1996**, Télédétection des ressources en sols des zones arides. Une méthode d'inventaire adaptée au travail sur le terrain, expérimenté dans la région de Djelfa (Algérie). *Etude et Gestion des sols*, 3 (1): 7-26.
- Bouwer H., 1978**, Ground water hydrology. New York: McGraw Hill, 480.
- Braham M., et Hamidouche B., 2007**, Etude géophysique hydrologique de la plaine sud oriental de Ksar Chellala ; mémoire d'ingénieur USTHB.
- Burgy, R.H, and Algazi, V.R., 1974**, Handbook of Techniques for Satellite Snow Mapping , ERT Document No, 0407-A, prepared for NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, December.
- Burton, I., Kates, R.W. and White, G.F., 1978**, The Environment as hazard, New York, Oxford University Press.
- Caloz. R et Collet. C, 2001**, Précis de télédétection, traitements numériques d'images de télédétection, Vol. 3, PUQ, AUF.
- Caloz. R, 1992**, Télédétection satellitaire, Cours Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département Génie Rural, Lausanne, 136 p.
- Caloz. R., Blaser. T.J et Willemin. G., 1993**, Création d'une ortho-image à l'aide d'un modèle numérique d'altitude : influences des modes de réchantillonnage radiométrique, Télédétection et cartographie. Ed. AUPELF-UREF. Les presses de l'université du Québec., p. 17-30.
- Camille S., 2012**, Hydrologie Spatiale pour le suivi des sécheresses du bassin méditerranéen, Thèse DOCTORAT, Océan, Atmosphère et Surfaces Continentales, Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), Ecole doctorale : SDU2E (Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace), Unité de recherche : CNRM/GAME, Météo-France/CNRS Présentée et soutenue le 24 Septembre 2012.
- Caratini C., 1970**, Etude géologique de la région de Chellala Reibell ; Publication du service géologique de l'Algérie. Bulletin N° 40, Tome 1.
- Caratini, C. 1970**, Régions de Oued Touil et Naker El Ouassel Hydrogéologie et Ressources exploitables. DEMRH Dept. No. 80 SHYE 001
- Castany G., 1998**, Hydrogéologie principe et méthode ; édition : DUNOD, Paris 2 cycle. Ambroggi, R.P. Réservoirs souterrains pour le contrôle du cycle de l'eau
- Centre Canadien de Télédétection CCT, 2002**, Le Spectre Electromagnétique. Tutoriel de Télédétection : Notions Fondamentales de Télédétection. Ressources Naturelles Canada. On line, [http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/cha\\_pter1/chapter1\\_3\\_f.html](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/cha_pter1/chapter1_3_f.html)

- Chang, T. J. and Cleopa, X. A., 1991**, A proposed method for drought monitoring. *Water Resour. Bull.*, 27, 275–281.
- Chellig, R., 1985**, La désertification et les blocages socio-économiques du pastoralisme. Séminaire National sur la recherche et le développement des zones steppiques 9 p.
- Chellig, R., 1969**, La steppe, le pays du mouton, Rapport du MARA, production animale, 9p
- Clark, R.B. and Altenstadter, J., 1974**, Regional Flood Mapping from Space, *water Resources research*, Vol. 10, No. 3, June, pp. 473-484.
- Coing P., 2002**, Suivi par télédétection basse résolution, de la dynamique temporelle de la teneur en eau de la végétation méditerranéenne, pour la prévention du risque de feu de forêt. Mastère Spécialisé en Sciences Forestières, Engref, Nancy.
- Colwell J.E., 1974**, Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, vol.30, pp.175-183.
- Commitee on Earth Observation Satellites CEOS, 2002**, on line: <http://disaster.ceos.org>.
- Cooper, S , and Ryan, P.T., eds.1975**, Proceedings of the Workshop on the Data Collection System.: Earth Resources Technology Satellite-1 , NASA, SP-364, 132 pp.
- Cornet A., 2002**, La désertification à la croisée de l’environnement et du développement : un problème qui nous concerne, 35 p. [www.csf-desertification.org/catalogue/2001\\_CSFD\\_Cornet.pdf](http://www.csf-desertification.org/catalogue/2001_CSFD_Cornet.pdf)
- Cornet A., 2004**, Le suivi de la désertification en Afrique. Séance de l’Académie d’agriculture de France du 12 mai 2004, Surveillance écologique des zones circum-sahariennes, Paris, France. CR Acad Agric, Fr, 2004, 90.
- Daoudi. A, Benterki. N et Terranti. S, 2010**. La lutte contre la désertification des parcours steppiques en Algérie : l’approche du développement agro-pastoral intégré. ISDA 2010, Montpellier 28-30 Juin 2010, p11.
- Dauriac F., Deshayes M., Gillon D., Roger J.- M., 2001**, Suivi de la teneur en eau de la végétation méditerranéenne par télédétection. Application au risque de feu de forêt. Colloque SIRNAT 2001 (Systèmes d’Information pour les Risques Naturels), Sophia Antipolis, 6-7 décembre 2001, 10 p.
- Demangeot J., 1981**, les milieux naturels désertique paris, imp . jaune, 2 ème. Edition – 261 p.
- Demmak, A., 1982**, Contribution à l’étude de l’érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingénieur, Paris VI, 323 p.
- Derj. A, 2004**. Projet d’étude sur les formes de renforcement de la concertation entre les partenaires au développement dans le cadre de la lutte contre la désertification dans les pays de l’UMA rapport final Septembre 2004, p51.
- Deshayes M. et Maurel P., 1990**, L’image spatiale et son contenu. Options méditerranéennes. Série A, N° 4, pp.11-20.
- Deutsch, M. and Ruggles, F. 1974**, Optical Data Processing and Projected Applications of the ERTS-1 Imagery Covering the 1973 Mississippi River Valley Floods , *Water Resources Bulletin*, Vol. 10, No. 5, October, pp. 1023-1039.
- Djebaili S., 1984**, Steppe Algérienne, phytosociologie et écologie O.P.U. Alger 127P.
- Djebaili S., Djellouli Y et Daget P., Les steppes pâturées des Hauts Plateaux, Algériens Fourrages, 1989, 120, 393-400.
- Djellouli, Y., 1990**, Flores et climats en Algérie septentrionale : Déterminismes climatiques de la répartition des plantes, Thèse doctorat, USTHB, Alger, 210 p.

- Djellouli. Y et Nedjraoui D., 1995**, Evolution des parcours méditerranéens, In : pastoralisme, troupeau, espaces et société. Hatier ed., 440-454.
- Doorenbos J. et PruitfW.O., 1977**, Besoins en eau des cultures. Essai sur l'irrigation et le drainage, FAO, Paper NO24.
- Dos Santos G., 2001**. Classification automatique à partir de photographies aériennes. Rapport de maîtrise, Université de Pau, 70p.
- Dracup, J.A., Lee, K.S. and Paulson Jr., E.G., 1980**, On the definition of droughts, Water Resour. Res., 16, 297-302.
- Durand R., Dimacopoulos G., 1969**, Eléments de météorologie agricole ; Baillière, Paris
- Durand, J.H., 1959**, Les sols rouges et les croûtes en Algérie. SES, Alger.
- Durand, J.J., 1954**, Les sols d'Algérie. SES, Alger.
- Dutuit P., Pourrat Y. & Dodeman V.L., 1991**, Stratégie d'implantation d'un système d'espèces adaptées aux conditions d'aridité du pourtour méditerranéen, Rev - L'amélioration des plants pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. Paris, pp. 65-73.
- Etude Australienne, 1980**, Projet de développement intégré de la steppe de la région de Ksar Chellala, Ordonnance 67/90 du 17/06/1967, Ministre de l'agriculture du Gouvernement de l'Australie du Sud.
- Etude russe, 1964**, Etude des possibilités de la production des cultures fourragères dans le département de Médéa, sur une superficie approximative de 10000ha , contrat 9388 du 13/08/64.
- Floret C., LE Floc'h E. & Pontanier R., 1992**, Perturbation anthropique et aridification en zone présaharienne, In : L'aridité une contrainte de développement, caractérisation, réponses biologiques et stratégie de sociétés. Eds LE Floc'h E., Grouzis M., Cornet A. & Bille J.C., Ed. OROSTOM Paris, pp. 449-463.
- Floret C., LE Floc'h E. et Pontanier R., 1992**, Perturbation anthropique et aridification en zone présaharienne In : L'aridité une contrainte de développement, caractérisation, réponses biologiques et stratégie de sociétés, Eds LE Floc'h E., Grouzis M., Cornet A. & Bille J.C., Ed. OROSTOM Paris, pp. 449-463.
- Folland, C.T., Palmer, T.N. and Parker, D.E., 1986**, Sahel rainfall and worldwide sea temperatures (1901-85), Nature, 320, 602-607.
- Ghazi, A. & Lahouati, R., 1997.**, Sols et ressources biologiques. Alger : Institut national des études de stratégie globale (INESG), 39 p.
- Girard M.C., 1986**, interprétation pédologique des photographies prises par spacelab1.ITC Journal 1986-1, pp1-5
- Girard M.C. ET Girard C.M., 1989**, Télédétection appliquée en zones tempérées et intertropicales. Collections Sciences Agronomiques, Masson, 260 p.
- Girard M.C., Girard C., 1999**, Traitement des Données de Télédétection. Dunod. Paris.
- Guillermou. Y, 1990**, Le développement pastoral en Algérie : dirigisme ou laisser-faire? Cah. Sci. Hum. N 26 p: 155-171.
- Guyot, G., 1995**, La réflectance des couverts végétaux, Photo-interprétation, p 157-174.
- Guyot. G, 1989**, Signatures spectrales des surfaces naturelles, coll Télédétection satellitaire, Paradigme.
- Halimi A., 1980**, L'Atlas Blideen- Climat et étages végétaux. O.P.U. Alger. 484 p.
- Halitim A., 2008**, l'aridoculture : contraintes, atouts et perspectives, Colloque International sur l'aridoculture-Optimisation des productions agricoles et développement durable-13-14 décembre 2008, CRSTRA, Biskra.

- Halitime A., 1988**, Sols des Régions Arides d'Algérie, Office des publications universitaires, 06-1988, 361p, codification 2.01.2497.
- Hallberg, G.R., Hoyer, B.E. and Rango, A., 1973**, Application of ERTS-1 Imagery to Flood Inondation Mappings, Proceedings of the Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1, NASA, SP-327, pp. 745-753.
- Hamimed. A., 2009**, Suivi de l'état hydrique d'une région semi-aride dans l'ouest Algérien à partir des images de télédétection haute et faible résolution. Thèse de doctorat, en sciences hydrauliques, p179.
- Hanson, R.L. ,1991**, Evapotranspiration and Droughts, in: Paulson, R.W., Chase, E.B., Roberts, R.S and Moody, D.W., Compilers, National Water Summary 1988-89-Hydrologic Events and Floods and Droughts, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 2375, 99-104.
- Harker, G.R., 1974**, The Delineation of Flood Plains Using Automatically Processed Multispectral Data, Technical Report RSC-60 Texas A&M University, Remote Sensing Center, College Station, Texas, August.
- HCDS, 2005**, Problématique des zones steppiques et perspectives de développement, Rap. Synth., Haut-commissariat au développement de la steppe, 10 p.
- Heddadj, D., 1997**, La lutte contre l'érosion en Algérie. Bull Réseau Erosion, 17 : 168-75.
- Hédia C., Mohamed N., 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. 14<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006).
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG & Jarvis A, 2004**, The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces, version 1.3. Disponible sur [Hwww.worldclim.org](http://Hwww.worldclim.org)
- Hirche A., A. Boughani et M. Salamani, 2007**, Évolution de la pluviosité dans quelques stations arides algériennes. Science et changement planétaire/Sécheresse, Vol.18, N°4 314-20
- Hodna Report, 1972**, Programme de developement agricole intégré du Hodna, FAO/MARA, 2nd. Report.
- Huete A.R., 1988**, A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, pp295-309.
- Hutchinson & Co., 1973**, Irrigation, drainage and salinity, FAO, An International Source Book Paris/UNESCO.
- I.E.A., 1977**, Précipitations et ruissellement en Australie : Analyse et étude des inondations. Institution des Ingénieurs australiens
- INESG., 2004**, Le domaine steppique : enjeux et devenir, Institut national d'études stratégiques globales 55p. In Bencherif Slimane, 2011, L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne, évolution et possibilités de développement, Thèse Doctorat, L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, AgroParisTech, Spécialité : Développement agricole, présentée et soutenue Mars 2011.
- Jensen, M.E., R.D. Burman, and R.G. Allen., 1990**, Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70, Am. Soc. Civil Engr., New York, NY. 332 pp.
- Jobin. E, et Tournade. F, 1995**, Vers un système d'information géographique pour la gestion des zones humides, CNASEA, Structures agricoles, 9 : 37-43.
- JOLY, 1986, les fichiers d'image, Col, Télédétection satellitaire, Ed Paradigme, Caen, 133p.
- Kacimi B., 1996**, La problématique du développement des zones steppiques. Approche et perspectives. Doc. HCDS, Ministère de l'agriculture, 23 p.

- Keyantash, J. and Dracup, J. A., 2002**, The quantification of drought: An evaluation of drought indices, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 83, 1167–1180.
- Khaldoun A.**, Les mutations récentes de la région steppique d'El Aricha. Réseau Parcours, 1995, 59-54.
- King D., 1994**, Apport de la télédétection à l'étude de la couverture pédologique, revue des travaux menés au service d'étude des sols et de la carte pédologique de France. *Bul. S.F.P.* N°134 (1994-2), pp 15-19
- Klocke, N. L. and Hergert, G. W., 1990**, How soil holds water, NebGuide G90-964, INAR, University of Nebraska, Lincoln.
- Kluser. S., 2000**, Elaboration d'une carte de couverture du sol par interprétation semi-automatisée de l'espace colorimétrique d'orthophotos).
- 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* (Kosmas, C.; Kirkby, M.; Geeson, N. eds), European Union 18882, ISBN 92-828-6349-2, pp. 31-47.
- Kosmas, C., Gerontidis, St., Marathianou, M., Detsis, V., et Zafiriou, Th., 2001**, The effect of tillage erosion on soil properties and cereal biomass production, *Soil & Tillage Research J.* 58:31-44.
- Ladisa G., Todorovic M., Trisorio-liuzzi G., 2002**, Characterization of Areas Sensitive to Desertification in Southern Italy, *Proc of the 2th Int. Conf. On new trend in Water and environmental Engineering for safety and life*, Capri, Italy June 24-28.
- Lamb, P.J. and Pepler, R.A., 1992**, Further case studies of tropical Atlantic surface atmospheric and oceanic patterns associated with sub-Saharan drought, *J. Climate*, 5, 476–488.
- Laouisset M.B., 2008**, Etude et exploitation du gisement éolien pour le pompage d'eau en milieu steppique Cas de la Région de Oued-Touil Ksar-Chellala, Algérie, Thèse Magister présentée au Centre Universitaire Mustapha STAMBOULI de Mascara Institut des sciences de la Nature et de la vie, Département d'Agronomie pour l'obtention du diplôme Magister en Hydraulique agricole, Option : Hydraulique agricole, Soutenue le 18 juin 2008
- Laouisset, M. B. and Dellal, A. 2016**, Estimation of Barley (*Hordeum Vulgare L.*) Crop Water Requirements Using Cropwat Software in Ksar-Chellala Region, Algeria, *AGRIIS on-line Papers in Economic and Informatics*, Vol. 8, No. 3, pp. 91 - 102. ISSN 1804-1930, DOI 10.7160/aol.2016.080309.
- Latifovic, R., Zhiliang, Z., Josef, C., Chandra, G. et Ian, O., 2004**, Land cover mapping of North and Central America Global Land Cover 2000. *Remote Sensing of Environment*, ELSEVIER:p12.
- Lavado Contador J. F., Schnabel S., Gómez Gutiérrez A., 2010**, An evaluation of the MEDALUS ESA index (environmental sensitivity to land degradation), from regional to plot scale. *Topic 2 : Soil Erosion and Desertification*.
- Le Houérou 1967, 1968, 1969**, UNDP/FAO 1971.
- Le Houérou H. N., 1964**, Les pâturages du Bassin Méditerranéen et leur A amélioration. *Goat Raising Seminar*, FAO, Rome, 26 pp.
- Le Houérou H. N., 1995**, Bioclimatologie et biogéographie des steppes aride du Nord de l'Afrique. *Diversité biologique, développement durable et désertification. Option Médit. Série B n°10. C.I.H.E.A.M. et A.C.C.T.* 396P.
- Le Houérou H. N., 1996**, Climate change, drought and desertification, *J, Arid Environm.*, 34: 133-185.

- Le Houérou H. N., 2001**, Biogeography of the arid steppe land north of the Sahara. *J. Arid Environ*, (48):pp 103-128.
- Le Houérou H. N., 2002**, Man-made deserts: Desertization processes and threats. *Arid Land Res. Manag.*, 16: 1-36.
- Le Houérou H. N., 2004**, An agro-bioclimatic classification of arid and semiarid lands in the isoclimatic mediterranean zones. *Arid Land Res. Manag*, (18):pp 301-346.
- Le Houérou H. N., 2006**, Environmental constraints and limits to livestock husbandry in arid lands. *Sécheresse*, 17 (1-2): 10-18.
- LE Houérou H.N. and Hosm C.M., 1971**, Relationship between rangeland production and average annual rain fall. Part I : The Mediterranean Basin. Document d'auteur: 20 p.
- Le Houérou H.N., 1959**, Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie Méridionale. Inst. de Rech. Sah. Alger Mémoire h.s., 510 p.
- Le Houérou H.N., 1975**, Le cadre bioclimatique des recherches sur les herbages méditerranéens. Georgofili, Florence, XXI: 57-67.
- Le Houérou H.N., 1985**, La régénération des steppes algériennes. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. Ministère de l'agriculture, Alger.
- Le Houérou H.N., 1985**, La régénération des steppes algériennes. Rapport de mission de consultation et d'évaluation, Ministère de l'agriculture, Alger,.
- Le Houérou H.N., Claudin J., Pouget M., 1979**, Étude bioclimatique des steppes algériennes (avec une carte bioclimatique à 1/1 000 000°). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord*, 68 : 33-74.
- Le Houérou RN. et Hoste CH., 1977**, Relationship between Rangeland production and Average annual rainfall Part I : the mediterranean Basin. Centre Intern. pour l'Élet-age en Afrique, Addis Abeba, *Journ. Rge Mgnt*, 30 (3) 181-189 Mai 1977.
- Le Houérou, H.N., 1995**, Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique. Option Méditerranéennes, série B, études et recherches, n° 10, 396 p.
- Le Houérou, H.N., 2006**, Parcours et production animale en zone aride : état des connaissances en 2006 (*Bulletin de Sécheresse*) / vol. 17, n. 1-2 - 2006/01-06
- Le Houérou. H.N, 1985**, La régénération des steppes algériennes, Rapport de mission de consultation et d'évaluation, Ministère de l'agriculture, Alger
- LEG G., 1992**, Remote sensing and geographic information systems. Geological mapping, mineral exploration and mining. Ed. Ellis Horwood. England. 166 pages.
- Letreuch-Belarouci N., 1991**. Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. O.P.U., Tome1, Alger. 294 p.
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer, 1987**, Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons, New York, 721 p.
- Lymburner L., Beggs P.J., Jacobson C.R., 2000**, Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. *Photogrametric Engineering & Remote Sensing*, vol.66, pp.183-191.
- Mahieddine M. et Errih M., 2009**, Simulation de l'érosion hydrique dans un micro bassin versant de l'Oued Mina à l'aide d'un modèle mathématique à base physique WEPP (GeoWepp) couplé à un système d'information géographique ArcGis, Laboratoire Eau-Environnement, Actes du séminaire national sur l'eau et l'environnement, Chlef, 09-10 décembre 2009, Université Hassiba Benbouali de Chlef.

**Maniere R., 1987**, Télédétection spatiale et aéroportée et systèmes d'information géocodée sur l'environnement : principes généraux et étude de quelques domaines d'applications, Thèse de doctorat d'Etat présentée à l'Université d'Aix-Marseille III.

**Margat J., 1997**, L'eau dans le monde : ressources et problèmes. (Sympos. sur la gestion de l'eau au Québec, Montréal, 10-12 décembre, 10 p. + annexe, 6 cartes).

**MATE, 2002**, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Rapport annuel du Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), 2002. P140.

**McKim, H.L., Marlar, T.L. and Anderson, D.M, 1972**, The Use of ERTS-1 Imagery in the National Program for Inspection of Dams, Special Report 183, U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, December.

**Merzouk A., Rayan J., Kacemi M., 1994**, A perspective on soil erosion in Morocco's dry land semi-arid zone. Actes du colloque International des Sciences du Sol: Sciences du sol au développement , Rabat, Maroc, 6-8 Avril 1993, 12 p. PEREZTREJO, 1994.

Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (M.A.D.R.), 2007, Le plan national de développement agricole et rural et la lutte contre la désertification. Comm. Atelier international du parlement sur la lutte contre la désertification, Alger du 02 au 04 Avril 2007.

**Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire, 1992.**

**Mohammedi. H, Labani. A et Benabdeli. K, 2006**, Essai sur le rôle d'une espèce végétale rustique pour un développement durable de la steppe algérienne, Développement durable et territoire, URL : <http://developpementdurable.revues.org/document2925.html>.

**Narasimhan, R. and Srinivasan, R., 2005**, Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring, Agr. Forest Meteorol., 133, 69-88.

**Nedjimi B. et Homida M., 2006**, Problématique des zones steppiques Algériennes et perspectives d'avenir, Centre Universitaire de Djelfa., 13-19 04 مجلة الباحث - عدد

**Nedjimi B. et Sebti M. ; Naoui T. H., 2008**, Le problème du foncier agricole en Algérie, Revue Droit Sci. Hum, 1: 1-11.

**Nedjimi B., 2012**, Seasonal variation in productivity, water relations and ion contents of *Atriplex halimus* spp . *schweinfurthii* grown in Chott Zehrez wetland, Algeria. J. Saudi Soc. Agri. Sci, 11: 43-49.

**Nedjimi Bouzid et Guit brahim, 2012**, Les steppes algériennes: causes de déséquilibre, Algerien journal of arid environment, ISSN 2170-1318, vol. 2, n° 2, décembre 2012: 50-61.

**Nedjraoui D. et Bédrani S., 2008**, La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte, Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 8 Numéro 1, avril 2008.

**Nedjraoui D., 1999**, Notes de réflexions sur la politique de lutte contre la désertification en Algérie. Rapport, OSS, 34p.

**Nedjraoui D., 2004**, Évaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation, In : Ferchichi A. Réhabilitation des pâturages et des parcours des milieux méditerranéens. Espagne. CIHEAM-IAMZ, 2004, p. 239 -2 43, Cahiers Options Méditerranéennes, 2004, Vol. 62.

**Nedjraoui Dalila et Bédrani Slimane, 2008**, La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte , Vertigo, Revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 8 Numéro 1, Avril 2008.

- Nedjraoui. D et Bédrani. S., 2008**, La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte , Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, V.8 N1. URL : <http://vertigo.revues.org/5375>.
- Nefzaoui A. & Chermiti A., 1991**, Place et rôles des arbustes fourragers dans les parcours des zones arides et semi-arides de la Tunisie, Options méditerranéennes, CIHEAM, Montpellier, Série séminaires, 1991, N° 16 : 119-125.
- Office national des statistiques, 1996**, Annuaire statistique de l'Algérie. Résultats 1993/1994, n° 17, Alger, 429 p.
- OSS, 2009**, Vers un système d'alerte précoce à la sécheresse au Maghreb, Tunis, 2009. Observatoire du Sahara et du Sahel. P86 [www.oss-online.org](http://www.oss-online.org).
- Ozenda P., 1964**, Biogéographie végétale. Doin, Paris, 374 p.
- Palmer, W. C., 1965**, Meteorological Drought, Weather Bureau, Research Paper, 45, U.S. Dept. of Commerce, Washington, DC, 58 pp.
- Panu, U. S. and Sharma, T. C., 2002**, Challenges in drought research: some perspectives and future directions, Hydrol. Sci. J., 47 (SI): S19-S30.
- Paulson, C. A., 1970**, The Mathematical Representation of Wind Speed and Temperature Profiles in the Unstable Atmospheric Surface Layer , Journal of Applied Meteorology, No. 9, pp. 857-861. DOI 10.1175/1520-0450(1970)009<0857:TMROWS>2.0.CO;2 Smith, 1992,
- Pouget M., 1980**, Les relations Sol-Végétation dans les steppes sud-Algéroises, travaux et documents de l'OROSTOM. Paris, 555p.
- Puech C., 1993**, Détermination des états de surface par télédétection pour caractériser les écoulements des petits bassins versants. Thèse de doctorat, Université J.Fourier, 202p.
- Q.D.P.IP, 1977**, Manuel d'organisation d'une ferme. Département d'Industrie primaire du Queensland
- Raje, Sa Economy, R. and McKnight, J., 1973**, First Look Analysis of Five Cycles of ERTS-1 Imagery over County of Los Angeles: Assessment of Data Utility for Urban Development and Regional Planning, Proceedings of the Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1, NASA, SP-327, pp. 1023-1030.
- Rango, A. and Anderson, A.T., 1974**, Remote Sensing Practice and Potential , Miscellaneous Paper M-74-2, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, May.
- Rango, A. and Salomonson, V.V., 1974**, Application of Remote Sensing Techniques in Land Use Planning: Floodplain Delineation , Final Report NAS5-21807, NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, September.
- Rango, A., Poster, J.L. and Salomonson, V.V., 1975**, Extraction and Utilization of Space Acquired Physiographic Data For Water Resources Development , Document X-913-75-3, NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, January.
- Rango, A., Salomonson, V.V. and Poster, J.L., 1975**, Seasonal Streamflow Estimation Employing Satellite Snowcover Observations , Document X-913-75-26, NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, February.
- Rasmusson, E.M. and Wallace, J.M., 1983**, Meteorological aspect of the El Niño/Southern Oscillation, Science, 222, 1195-1202.
- Rhoades J. D., 1971**, Quality of water for irrigation. Soil Science, vol. 113, no 4 : 227-284. (1971)
- Rhoades, J.D. and R.S. Ingvaldson. 1971**. Determining salinity in field soils with soil resistance measurements. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35:54-60.

- Richards, 1955**, Estimations et contrôle des inondations - D.B. Richards
- Richards, L. A. 1954**, Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agric. Handbook 60. Washington, D. C. USA, 1954.
- Rind, D., Goldberg, R., Hansen, H., Rosenzweig, C. and Ruedy, R., 1990**, Potential evapotranspiration and the likelihood of future drought, J. Geophys. Res., 95, 9983–10004.
- Robin M., 1998**, La Télédétection. Nathan, Paris, 318 pages.
- Robin, M., 2001**, La télédétection : des satellites aux systèmes d'information géographiques, Nathan Université, Paris, 320 p. Bonn et Rochon, 1996.
- Rodin L.E., Botschantzev V., Kalenov H., Mirochnitchenko Yu., Pelt N. et Vinogradov B., 1970**, Etudes géobotaniques des pâturages, du secteur ouest du Département de Médéa de la République Algérienne Démocratique et Populaire. Editions Naouka 3 Léninegrad 3-124 p. et 2 cartes couleurs 1/200.000
- Roose et al., 2000** **Roose, E., Chebbani, R. & Bourougaa L., 2000**, Ravinement en Algérie : typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Sécheresse, 11: 317-326.).
- Rosenberg, N.J., 1978**, North American droughts: AAAS [American Association for the Advancement of Science] Symposium, Denver, Colorado, February 1977. Boulder, Colorado, Westview Press.
- Ross Institute, 1978**, Ressources d'eau secondaires Bulletin 10 Cairncross S. et Feachem
- Roy B. & Bouyoussou D., 1993**, 'Méthodes multicritères d'aide à la décision ' Economica PARIS 1993.
- Rubio. J.L. and Bochet. E, 1998**, Desertification indicators as diagnostic criteria for desertification risk assessment in Europe. Journal of Arid Environments. pp113–120.
- Salomonson, V.V., 1974**, Advances in Water Resources Monitoring From Spacell, Document X-913-74-44, NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, February.
- Sarr, M.A., 2009**, Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat. Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, article 472, mis en ligne le 07 octobre 2009, consulté le 16 janvier 2013. URL : <http://cybergeog.revues.org/22707> ; DOI : 10.4000/cybergeog.22707
- Seguin B., 2002**, Changements climatiques et effet de serre. Quelles contraintes pour les agriculteurs du sud. Note INRA, Avignon, 4 p.
- SEGUIN, B., 2002**, La recherche agronomique face à l'effet de serre, Le courrier de l'environnement, 46 , 5-20.
- Shiferaw A., 2011**, Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the borena woreda of south wollo highlands, Ethiopia. Journal of Sustainable Development in Africa (Volume 13, No.3, 2011) ISSN: 1520-5509. in TOUMI S., 2013.
- Shlien, S., 1997**, Geometric correction, registration and resampling of Landsat imagery .In. Canadian journal of remote Sensing. pp. 55-59.
- Si-Ramdane. D., 2006**. Utilisation des indicateurs radiométriques issus de la télédétection pour le suivi de la dégradation des écosystèmes au nord de l'Algérie. Mémoire de Magister en Hydraulique, université de Mascara, p121.
- SkyLab Earth Resources Data Catalog., 1974**, NASA, Johnson Space Center, JSC 09016, Houston, Texas.
- Smith M. A., 1992**, computer program for irrigation planning and management. Irrigation and Drainage. 1992, FAO, Paper NO46.

- Soudani K., 2005**, Cours Télédétection ECO. Laboratoire d'Ecophysiologie Végétale, Université Paris-Sud XI- 91405 Orsay, France.
- Steven. A.S., Douglas A. et WEN S.L., 1995**, Accuracy of Landsat-TM and GIS Rule-based Methods for Forest Wetland Classification in Maine. Elsevier Science Inc; Analysis Laboratory, Departement of Forest Management, University of Maine, Orono: 12p
- Steven. A.S., Douglas A. et Wen S.L., 1995**, Accuracy of Landsat-TM and GIS Rule-based Methods for Forest Wetland Classification in Maine. Elsevier Science Inc; Analysis Laboratory, Departement of Forest Management, University of Maine, Orono: 12p
- Sutcliffe J., 1967**, V.I.A.S.H. Etude hydrologique de l'Iran Occidental.
- Tallaksen, L. M., Madsen, H. and Clausen, B., 1997**, On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume, Hydrol. Sci. J., 42, 1, 15-33.
- Tarik B. Bouchetata et Arslan A. Bouchetata, 2005**, Dégradation des écosystèmes steppiques et stratégie de développement durable. Mise au point méthodologique appliquée à la Wilaya de Nâama (Algérie), Développement durable et territoires [En ligne], Varia, mis en ligne le 02 septembre 2005, URL : <http://developpementdurable.revues.org/1339> ; DOI : 10.4000/developpement durable.1339.
- Tate, E.L., and Gustard, A., 2000**, Drought definition: a hydrological perspective, in: Drought and Drought Mitigation in Europe, edited by: Vogt, J. J. and Somma, F., Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 23-48.
- Thomas, 1995, Thomas D. S. G., 1995**, Desertification: Causes and processes, In: Encyclopaedia of Environmental Biology, Vol. 1, ed. W. A. Nierenberg, San Diego, Academic Press, 463-473
- Thomson, K.P.B., Lane, R.K, and Csallany, S.C., 1973**, Remote Sensing and Water Resources Management, American Water Resources Association, Urbana, Illinois, 437 pp.
- Ting, M. F. and Wang, H., 1997**, Summertime US precipitation variability and its relation to Pacific sea surface temperature, J. Climate, 10, 8, 1853-1873.
- Toulmin. C, 1993**, Lutter contre la désertification: réflexion préliminaire à une convention mondiale. Drylands Programme, IIED, Dossier n°42, 52 p.
- Toumi S., 2013**, Application des techniques nucléaires et de la télédétection a l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued mina, Thèse de doctorat Es-sciences, présentée à l'Ecole nationale supérieure d'hydraulique-Blida.
- Trenberth, K. E. and Shea, D. J., 2005**, Relationships between precipitation and surface temperature, Geophys. Res. Lett., 32, L14703, doi: 10.1029/2005GL022760.
- UNCCD, 1997**, United Nation Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/ or desertification, particularly in Africa. Text with Annexes. Geneva, Switzerland
- UNCED, 1992**, Earth Summit'92. The UN Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, Brésil.
- UNEP, 1997**, World atlas of Desertification. Nick Middleton et Davis Thomas, London, Arnold pp : 182
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. and López-Moreno, J.I. (2010)**: A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI, J. Climate, 23, 7, 1696-1718, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- Vincke PH., 1989**, l'aide multicritère d'aide à la décision, Edition de l'université de Bruxelles 1989.

- Vinogradov B., Rodin L.E., Mirochnitchenko et al., 1970**, Etude géobotanique des pâturages du secteur ouest du département de Médéa. 1 vol. 124 p. Nouak. Leningrad. 2 cartes.
- Vséssojuznojé O., 1971**, Rapport général sur les études générales hydrogéologiques, Volume II, Moscou.
- Wilhelmi, O. V., Hubbard, K. G. and Wilhite, D. A., 2002**, Spatial representation of agroclimatology in a study of agricultural drought, *Int. J. Climatol.*, 22, 1399–1414. doi: 10.1002/joc.796.
- Wilhite, D. A., 1993**, Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies, *Nat. Res. Man.*, Kluwer Publishers, Boston, MA.
- Wilhite, D. A., 2000**, Drought: A Global Assessment, I and II, *Nat. Hazards and Disasters Series*, Routledge Publishers, London, UK.
- Wilhite, D.A. and M.H. Glantz, 1985**, Understanding the drought phenomenon: the role of definitions, *Water Int.*, 10, 111-120.
- Williams, D.L., Barker, B. and Coiner, J.C. Interpretation of Land, 1973**, Use and Stream Order , ERTS Detailed Image Interpretation Report CRINC DIIR 2264-8, University of Kansas, Center for Research, Inc., Lawrence, Kansas, September.
- Williamson, A.N., 1974**, Mississippi River Flood Maps from ERTS-1 Digital Data , *Water Resources Bulletin*, Vol. 10, No. 5, October, pp. 1050-1059.
- Williamson, A.N., Dornbusch, W.K., Grabau, W.E., 1974**, Flood Hazard Studies in the Mississippi River Basin Using Remote Sensing , *Water Resources Bulletin*, Vol. 10, No. 5, October, pp. 1060-1081.
- Yerou. H, 1998**, Essai de caractérisation des systèmes d'élevage ovins en zones steppiques cas de la commune de Maâmora (W Saida) Thèse de Magistère INA Alger P 110.
- Yevjevich, V., 1967**, An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts, *Hydro. Paper No 23*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Zehtabian Gh., Ahmadi H., Khosravi H., Rafiel Emam A., 2005**, The approach of desertification mapping using Medalus methodology in Iran. *Biaban journal* Vol. 10 n° 1-1 (2005) PP 51-60.

# Annexe