

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة حسيبة بن بوعلي – الشلف –

UNIVERSITE Hassiba Benbouali Chlef – UHBC –

كلية العلوم

FACULTE DES SCIENCES

قسم البيولوجيا

Département de Biologie



## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de « MAGISTER »

Option : Ecopédologie, Eau et Environnement.

Présenté par : ZIANE Ahmed.

SUJET :

**Cartographie des états de surface et évaluation des risques de la salinisation des sols de la plaine du Bas Cheliff par couplage entre la télédétection et le Modèle Numérique de Terrain.**

Devant les Membres Jury:

M. SAIDI Djamel.	Professeur, UHBC.	Président
M. DOUAOUI A.E.K.	Professeur, U.Khemis Miliana.	Directeur de mémoire.
M. HARTANI TARIK.	Professeur ENSA-Alger.	Examineur.
M. BOUTHIBA A.E.K.	Professeur, UHBC.	Examineur.
M <sup>me</sup> . BETTAHER N.	MCA, UHBC.	Examinatrice.

Année Universitaire : 2012/2013.

# *Dédicaces*

*Je remercie dieu le tous puissant de m'avoir aidé à l'élaboration de ce modeste travail, ainsi que les personnes qui ont contribué de près ou de loin qu'ils trouvent ici le témoignage de ma gratitude.*

*Je dédie ce présent mémoire :*

*- A la mémoire de ma mère que dieu l'héberge dans ses vastes paradis.*

*- A mon très chère père, pour ces encouragements et son aide.*

*-A mes frères et sœurs en particulier : M'hamed, Maamar, Aicha et Khayr-Eddine.*

*-A ma femme, pour son soutien moral que je suis très reconnaissant.*

*-A toute ma famille.*

*-A tous mes amis, en particulier : Ibrahim, Bachir, Mohamed, Cherif Youcef, Salah, Mayssour, Ammar, Zaki, Samy et toutes la promotion 2007-2008, spécialité écologie et environnement ainsi toutes la promotion de poste graduation « Ecopédologie eau et environnement » 2010.*

*Sid Ahmed*

## **Remerciements**

*Je tiens à remercier tout d'abord notre Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage et la volonté pour effectuer ce modeste travail.*

*Au terme de ce travail, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui m'ont apporté conseils, encouragement et assistantes.*

*Mon plus vifs remerciement tout d'abord à monsieur **DOUAOUI Abdelkader**, Professeur à l'universitaire de Khemis Miliana, qui n'a pas cessé de nous prodiguer ces précieux conseils avec patience et grande liberté de travail, qui, en tant qu'encadreur, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer.*

*Mes remerciements également à monsieur **SAIDI Djamel**, Professeur à l'université Hassiba Benboali Chlef, pour avoir accepté de m'honorer de sa présence en président de mon jury.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à monsieur **HRTANI Tarik**, professeur à l'ENSA d'Alger ainsi à monsieur **BOUTHIBA Abdelkader**, Professeur à l'UHBBC et à madame **BETTAKER, N**, MCA à l'UHBBC, d'avoir acceptés d'examiner mon travail et participer au jury sans oublier son aide et ses enseignements.*

*Je tiens à remercier sincèrement mes amis **YAHIAOUI Ibrahim**, **MOKHTARI Djamel Eddine**, **BELOUAZNI Ahmed** maîtres assistants à l'université de Chlef, doctorants en « écologie et environnement » et **RATA Mohamed** maîtres assistants à l'université de Khemis Miliana, qui m'ont extrêmement aidé pour mes recherches, leurs soutiens et leurs encouragements m'ont été très précieux.*

*J'adresse mes reconnaissances et gratitudees envers tous les enseignants, les responsables et les agents de l'institut des sciences agronomique et de département de biologie à Chlef sans exceptions.*

*Je remercie aussi toute Ma promotion de post graduation 2010 à l'UHBBC : ABBORA Ammar, BENZADA Zakarya, ALOUACH Lhadj, NEFIDSA Keltoum, BELKAID Fatima, ABZDLBAKI Amina et SNOUSI fatima, ainsi à la Promotion de post graduation 2010 « Irrigation et gestion de l'eau » à Chlef : TOYL Sami, LAMRANI Chrifa, BOUZADA Nacira, KRAOUCH Fadhila, MOKHTARI Fatima, AISSANI Amina et aussi aux Etudiants de 3<sup>ème</sup> cycle (doctorat) « Eau et Environnement » en particulier SALHI Nacira, ELGHADIRI Imane, AKKACH Abderahman, KOUADRI Moussa et NORDINE Abdelkarim.*

*Sans oublier de remercier toute ma promotion de graduation 2008 « écologie et environnement », surtout ZAIRI Youcef, Zorgui Mohamed, BOUKEFOUSSA Kamel, Chrifa, Moufida et djamila.*

*En fin je tiens à exprimer, mes remerciements à toutes les personnes qui ont participé de prés ou de loin dans la réalisation de ce travail.*

*Merci à tous et à toutes.*

## Résumé

La plaine du Bas-Chélif qui fait l'objet de notre zone d'étude, se caractérise par un milieu physique dégradé dont la salinisation est la principale manifestation. Cette salinité se manifeste à la surface du sol par différents états de surface. La télédétection et les données d'un modèle numérique du terrain sont utilisées pour caractériser et cartographier ces états de surface et la salinité des sols.

La validation statistique basée sur la valeur de la différence minimale obtenue par le test-z des classifications a montré que les meilleures discriminations ont été obtenues avec l'image Spot 2000 prise en été où les fréquences des différences pour la bande rouge (B2) et la bande proche infrarouge (B3) sont toujours plus élevées.

Le traitement et l'analyse, des images satellitaires SPOT2000 et SPOT2001 montrent que la classification par la méthode *de transformed divergence* (TD) de l'image 2000, prise en été, favorise la caractérisation des états de surface à travers la plaine du Bas Cheliff qui sont influencés par les différents niveaux de salinité.

Le MNT de la zone d'étude établi montre que le Bas-Cheliff présente des altitudes faibles, mais avec une divergence élevée allant de 27m jusqu'à plus de 140m. La pente à travers la plaine est relativement faible (inférieure à 18 %). L'altitude est le paramètre du MNT qui présente les corrélations les plus élevées avec les données de télédétection et de la salinité.

**Mots clés : Télédétection, MNT, états de surface, salinité, Bas-Chélif.**

## Abstract

The plain of Lower Cheliff which is the subject of our study area is characterized by a degradable physical environment whose salinisation is the principal factor. This salinity appears on the ground surface within various surface qualities. The remote sensing and the digital elevation model data are used to characterize and map these surface qualities with soils salinity.

The statistical validation based on the value of the minimal difference obtained by the test-Z in these classifications showed that best discriminations were obtained with the Spot image for summer 2000 where frequencies of the differences for the red band (B2) and the band near infra-red (B3) are increasingly higher.

The processing and the analysis of satellite images SPOT2000 and SPOT2001 show that classification by the method "*transformed divergence*" for the image 2000, taken in summer, supports the characterization of surface qualities through the plain of Lower Cheliff which are influenced by the various levels of salinity.

The established study area DEM, show that Lower Cheliff has low altitudes, but with a high divergence going from 27m to more than 140m. The slope through the plain is relatively weak (lower than 18%). Altitude is the DEM parameter which presents the highest correlations with remote-sensing and salinity data.

**Key words: Remote Sensing, DEM, surface qualities, salinity, Lower Cheliff.**

## ملخص

سهل الشلف المنخفض الذي يمثل مكان دراستنا يتميز بمحيط فيزيائي متدهور, أين تظهر ملوحة التربة بصفة قوية هذه الملوحة تظهر على السطح بعدة مظاهر سطحية.

في هذا العمل استعملنا تقنية الاستشعار عن بعد بالإضافة للمعطيات المتحصل عليها من النموذج الرقمي للتضاريس, حتى تتمكن من وصف و رسم خريطة للمظاهر السطحية و لملوحة التربة.

استنادا للتحقيق الإحصائي على أساس الحد الأدنى للفرق المتحصل عليه من الاختبار z (teste-z) لمختلف التصنيفات تبين أن التمييز الأفضل بين المظاهر السطحية تحصلنا عليه باستخدام صورة القمر الصناعي (SPOT2000) المأخوذة في فصل الصيف من عام 2000 حيث يتبين أن الفوارق بنسبة لشريط موجة الأشعة الحمراء (B2) و الأشعة القريبة من ما تحت الحمراء (B3) تكون دائما مرتفعة.

المعالجة و التحليل لصور الأقمار الصناعية (SPOT2001 و SPOT2000) أثبتت أن التصنيف باستعمال تقنية التباين المتحول (*Transformed divergence TD*) لصورة القمر الصناعي (SPOT2000) المأخوذة في فصل الصيف تسهل وصف المظاهر السطحية المتأثرة بالمستويات المختلفة للملوحة بسهل الشلف المنخفض.

النموذج الرقمي لتضاريس سهل الشلف المنخفض, يبين أن هذا السهل يتميز بارتفاعات ضعيفة و لكن بتباين مرتفع يبدأ من 27م كحد أدنى ليصل إلى 170م كأعلى ارتفاع. هذا السهل يتميز كذلك بنسبة ميلان ضعيفة على العموم (أقل من 18%).

الارتفاع هو العامل المشتق من النموذج الرقمي للتضاريس, الذي يبرز أعلى ارتباط مع معطيات الاستشعار عن بعد و معطيات الملوحة.

**الكلمات المفتاحية : الاستشعار عن بعد, النموذج الرقمي للتضاريس, مظاهر الطبقة السطحية, الملوحة, سهل الشلف المنخفض.**

## Liste des figures

Figure 1: Construction et représentation des courbes de niveaux. (Arrighi et Soille, 1999).....	4
Figure. 2 : Carte d'élévation de la région Aquitaine affichée sous forme d'image en niveaux de gris (à gauche) et en couleur avec un effet d'ombrage (à droite) (Pouderoux, 2009).....	5
Figure. 3 : Exemple d'un modèle RTI et sa vue en 3D (Hutchinson, 1988).....	6
Figure. 4 : Exemple de voisinages utilisés pour une interpolation IDWA (Jones, 1986).....	7
Figure. 5 : Interpolation par voisins naturels à partir de 7 sites. A gauche : diagramme de Voronoi des 7 sites initiaux. A droite : en gris la cellule de Voronoi du point à interpoler. (Sibson, 1980)...	8
Figure 6 : Principe de la télédétection (Source : IGN. 2008).....	10
Figure. 7 : Réponse spectrale des surfaces naturelles. (Source : IGN, 2008).....	11
Figure 8: Localisation de la plaine du Bas-Cheliff.....	13
Figure 9:Variation de la pluviométrie annuelle de quelques stations pluviométrique dans la plaine du Bas-Cheliff.....	14
Figure 10 : Système théorique des vents ascendant et descendant dans la vallée du Chéiff (Yacono, 1954).....	15
Figure 11 : Atlas de la vitesse moyenne du vent de la vallée de Cheliff à 10 m du sol. (Boukli et al., 2007) .....	16
Figure 12 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la station de Relizane de la période (1985/2007).....	17
Figure 13 : Position de la station de H'madena sur le climagramme d'Emberger.....	18
Figure 14 : Principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chéiff.....	23
Figure 15 : Assemblage des cartes topographiques.....	25
Figure 16. L'image brute de SPOT2000.....	26
Figure 17. L'image brute de SPOT2001.....	27
Figure 18 : Classification supervisée de l'image SPOT 2000.....	33
Figure 19 : Classification non supervisée de l'image SPOT 2000.....	35



Figure. 20: Classification par TD de l'image SPOT 2000.....	36
Figure 21 : Classification supervisée de l'image SPOT 2001.....	37
Figure 22 : classification non supervisée de l'image 2001.....	38
Figure 23 : Classification par la méthode TD de l'image 2001.....	39
Figure. 24 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification supervisée de l'image SPOT2000.....	51
Figure. 25 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification non supervisée de l'image SPOT2000.....	52
Figure.26 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification par TD .....	53
Figure.27 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection par la classification supervisée (SPOT2001). .....	54
Figure.28 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification non supervisée (SPOT2001). .....	55
Figure. 29 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification par TD (SPOT2001). .....	56
Figure. 30 : MNT du Bas Cheliff (vue en 3 dimensions).....	60
Figure. 31 : Carte des altitudes (Bas-Chéiff).....	61
Figure 32: Carte des pentes (Bas-Chéiff).....	62
Figure. 33 : Carte de l'exposition des pentes (Bas-Chéiff).....	63
Figure. 34 : Corrélation linéaire de la conductivité électrique mesurée avec l'altitude.....	64
Figure. 35 : Corrélation logarithmique de la conductivité électrique mesurée avec l'altitude.....	64
Figure. 36 : Corrélation linéaire de la conductivité électrique mesurée avec la pente.....	65
Figure. 37 : Corrélation logarithmique de la conductivité électrique mesurée avec la pente.....	65
Figure. 38 : Corrélation linéaire de la conductivité électrique mesurée avec l'exposition.....	66

## **Liste des Tableaux**

Tableau. 1 : Les principaux domaines du spectre électromagnétique.....	10
Tableau 2 : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de H'madna (1985-2007). (Source : INRAA, 2009) .....	15
Tableau 3 : Synthèse des sols de la plaine du Bas-Chélif d'après la carte pédologique de Mc Donald et BNEDER (1990). .....	19
Tableau.4 : Superficie des classes issues de la classification supervisée (SPOT2000).....	40
Tableau. 5 : Superficie des classes de la classification non supervisée (SPOT 2000).....	40
Tableau 6 : Superficie des classes de la classification TD (SPOT 2000).....	41
Tableau 7 : Superficie des classes issues de la classification supervisée (SPOT2001).....	41
Tableau 8 : Superficie des classes issues de la classification non supervisée (SPOT2001).....	42
Tableau 9 : Superficie des classes issues de la classification par TD (SPOT2001).....	42
Tableau 10 : matrice de confusion pour les dix classes de l'image SPOT2000.....	43
Tableau 11 : qualité de précision des classes de l'image SPOT2000.....	43
Tableau 12 : matrice de confusion pour les dix classes de l'image SPOT2001.....	44
Tableau 13 : qualité de précision des classes de l'image SPOT2001.....	44
Tableau 14 : Résultat du test-z pour la classification supervisé de l'image Spot 2000.....	45
Tableau 15 : résultat du test-z pour la classification non supervisé de l'image Spot 2000.....	46
Tableau 16 : résultat du test-z pour la classification par TD de l'image Spot 2000.....	46
Tableau 17: résultat du test-z pour la classification supervisé de l'image Spot 2001.....	47
Tableau 18 : résultat du test-z pour la classification non supervisé de l'image Spot 2001.....	48
Tableau 19 : résultat du test-z pour la classification Par TD de l'image Spot 2001.....	48
Tableau 20 : Comparaison entre les classifications de l'image SPOT2000.....	49
Tableau 21 : Comparaison entre les classifications de l'image SPOT2001.....	49
Tableau 22 : Matrice de corrélation entre les différents indices et la conductivité électrique ...	50
Tableau 23 : Valeurs de conductivité électrique des classes de télédétection.....	50

Tableau 24 : Matrice de corrélation entre les différents indices et la conductivité électrique....	51
Tableau 25 : Valeurs de conductivité électrique des classes de télédétection issues de la classification non supervisée.....	51
Tableau 26 : matrice de corrélation entre les différents indices et la conductivité électrique .....	52
Tableau 27 : Valeur de conductivité électrique des classes de télédétection de la classification par TD.....	53
Tableau 28 : Matrice de corrélation entre les différents indices de la classification supervisée et la conductivité électrique .....	53
Tableau 29 : Valeur de conductivité électrique des classes de télédétection de la classification supervisée.....	54
Tableau 30 : matrice de corrélation entre les différents indices de la classification non supervisée et le conductivité électrique (SPOT2001) .....	54
Tableau 31 : Valeur de conductivité électrique des classes de télédétection de la classification non supervisée (SPOT2001).....	55
Tableau 32 : matrice de corrélation entre les différents indices de la classification par TD et la conductivité électrique (SPOT2001) .....	55
Tableau 33 : Valeur de conductivité électrique des classes de télédétection de la classification par TD (SPOT2001) .....	56
Tableau 34 : Corrélations entre les indices de salinité et la conductivité électrique expérimentalement mesurée.....	57
Tableau 35 : corrélation entre les données de la conductivité électrique mesuré et les indices de l'image SPOT2000.....	58
Tableau 36 : Corrélations entre les données de la conductivité électrique mesuré et les indices de l'image SPOT2001.....	58
Tableau. 37 : Corrélations entre les indices des deux images et la pente.....	67
Tableau. 38 : Corrélations entre les indices des images et l'exposition de la pente.....	67
Tableau 39 : Corrélations des indices de l'image SPOT2000 avec l'altitude.....	67
Tableau 40 : Corrélations des indices de l'image SPOT2001 avec l'altitude.....	68
Tableau 41 : Corrélations des indices de salinités des deux images avec la pente.....	68
Tableau 42 : Corrélations des indices de salinités des deux images avec l'exposition de la pente. ....	69
Tableau 43 : Corrélations des indices de salinités des deux images avec l'altitude.....	69
Tableau 44 : Corrélations des indices de salinités de la CE > 8dS/m des deux images avec l'altitude. ....	69

## Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Sommaire

**Introduction..... 1**

### **Chapitre I. Aperçu Bibliographique**

I.1. Modèle numérique de terrain..... 3

I.1.1. Définition..... 3

I.1.2. Modélisation topographique de terrain..... 3

I.1.2.1. Courbes de niveau..... 3

I.1.2.2. Les cartes d'élévation..... 4

I.1.2.3. Les modèles triangulés..... 5

I.1.3. Interpolation de MNT..... 6

I.1.3.1. Les techniques d'interpolation..... 6

I.1.3.1.1 Inverse pondéré de la distance. .... 6

I.1.3.1.2. Interpolation par Voisins Naturels..... 7

I.1.3.1.3. Interpolation géodésique..... 8

I.1.3.1.4. Le krigeage..... 8

I.2 Application de la télédétection dans l'étude des composants des états de surface..... 9

I.2.1 Généralité sur la télédétection..... 9

I.2.1.1. Définition..... 9

I.2.1.2. Les domaines spectraux..... 10

I.2.2. Les réponses spectrales des objets de surface..... 10

I.2.2.1. l'eau.....	11
I.2.2.2. le sol.....	11
I.2.2.3. la végétation.....	11
I.2.2.4. la salinité.....	12

## **Chapitre II. Présentation de la zone d'étude : La plaine du Bas Chélif**

II. 1 Localisation de la zone d'étude.....	13
II. 2 Le climat.....	13
II.2.1. La pluviométrie.....	14
II.2.2. La température.....	15
II.2.3. Vent et pression.....	15
II.2.4. L'humidité.....	16
II.2.5. L'évapotranspiration.....	16
II.3. Synthèse climatique.....	16
II.3.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen.....	16
II.3.2. Indice de De Martonne (1927).....	17
II.3.3. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger.....	17
II.3.4. Autres paramètres climatiques.....	18
II.4. Pédologie.....	19
II.5. Géologie et géomorphologie.....	19
II.6. Ecologie et Phytogéographie.....	20
II.7. La topographie de la plaine.....	21
II.8. Ressources en eau.....	21
II.8.1 Ressources en eau superficielle.....	21
II.8.2. Les ressource en eaux souterraines.....	22
II.9. Périmètres irrigués.....	22
II.10. La salinisation des sols du Bas – Chélif.....	23

### Chapitre III. Matériel et méthodes

III.1. Les données utilisées.....	25
III.1.1. Les données topographiques.....	25
III.1.2. Les données cartographiques.....	25
III.1.3. Les données des images satellitaires.....	25
III.1.4. les données de terrain.....	27
III.2. Traitement des images satellitaires.....	27
III.2.1. Classification des images satellitaires.....	27
III.2.1.1. classification non supervisée.....	27
III.2.1.2. classification supervisé.....	28
III.2.1.3. Classification par l'utilisation de <i>Transformed Divergence</i> (TD).....	28
III.2.2. Extraction des comptes numériques.....	29
III.2.3. Comparaison entre les trois types de classification.....	29
III.2.4. Calcul des indices.....	30
III.2.4.1. Les indices de végétation.....	30
III.2.4.2. Les indices de sol.....	30
III.2.5. Confrontation des données de télédétection aux données de salinité.....	31
III.3. Construction du modèle numérique de terrain (MNT) et traitement des données topographique.....	31
III.3.1. Confrontation des paramètres dérivés du MNT et les données de la télédétection.....	32
III.3.2. Etude des relations existantes entre la salinité et les paramètres du MNT.....	32
III.4. Logiciels utilisés.....	32

### Chapitre IV. Traitement des images satellitaires

IV.1. Détermination et identification des classes.....	33
IV.1.1. Image satellitaire SPOT 2000.....	33
IV.1.1.1. Classification supervisée.....	33
IV.1.1.2. Classification non supervisée.....	34

IV.1.1.3. Classification des images satellitaires par TD ( <i>TRANSFORMED DIVERGENCE</i> ).....	35
IV.1.2. Image satellitaire SPOT 2001.....	36
IV.1.2.1. Classification supervisée.....	36
IV.1.2.2. Classification non supervisée.....	37
IV.1.2.3. Classification par TD.....	38
IV.2. Superficie des classes.....	39
IV.2.1. Image SPOT 2000.....	39
IV.2.1.1. Classification supervisée.....	39
IV.2.1.2. Classification non supervisée.....	40
IV.2.1.3. Classification par la méthode TD.....	40
IV.2.2. Image SPOT 2001.....	41
IV.2.2.1 Classification supervisée.....	41
IV.2.2.2 Classification non supervisée.....	41
IV.2.2.3 Classification par la méthode TD.....	42
IV.3. Pertinence de classification supervisée.....	42
IV.3.1. Image satellitaire SPOT2000.....	42
IV.3.2. Image satellitaire SPOT2001.....	43
IV.4. Comparaison statistique entre les trois classifications.....	44
IV.4.1. Image SPOT2000.....	45
IV.4.1.1. Classification supervisée.....	45
IV.4.1.2. Classification non supervisée.....	45
IV.4.1.3. Classification par TD.....	46
IV.4.2. Image SPOT2001.....	47
IV.4.2.1 Classification supervisée.....	47
IV.4.2.2. Classification non supervisée.....	47
IV.4.2.3. Classification par TD.....	48
IV.4.3. Récapitulation des résultats de la comparaison entre les différentes classifications.....	49

IV.5. Confrontation des données de télédétection aux données de salinité.....	50
IV.5.1 confrontation avec les données de l'image SPOT2000.....	50
IV.5.1.1. Classification supervisée.....	50
IV.5.1.1.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection.....	50
IV.5.1.1.2. La salinité et les comptes numériques moyens.....	50
IV.5.1.2. Classification non supervisée.....	51
IV.5.1.2.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection.....	51
IV.5.1.2.2 La salinité et les comptes numériques moyens.....	52
IV.5.1.3. Classification par TD.....	52
IV.5.1.3.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection.....	52
IV.5.1.3.2 La salinité et les comptes numériques moyens.....	52
IV.5.2 Confrontation avec les données de l'image SPOT2001.....	53
IV.5.2.1. Classification supervisée.....	53
IV.5.2.1.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection.....	53
IV.5.2.1.2 La salinité et les comptes numériques moyennes.....	54
IV.5.2.2. Classification non supervisée.....	54
IV.5.2.2.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection.....	54
IV.5.2.2.2 La salinité et les comptes numériques moyennes.....	55
IV.5.2.3. Classification par TD.....	55
IV.5.2.3.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection.....	55
IV.5.2.3.2 La salinité et les comptes numériques moyennes.....	56
IV.6. Confrontation des indices de salinité par classes de télédétection aux points échantillonnés de la conductivité électrique mesurée.....	56
IV.7. Confrontation ponctuelle entre les données numériques de télédétection et la conductivité électrique mesurée.....	58
IV.7.1. SPOT2000.....	58
IV.7.2. SPOT2001.....	58



IV.8. Conclusion..... 58

**Chapitre V. Traitement des données Topographiques**

V.1. Etablissement d'un Modèle numérique de Terrain (MNT) ..... 60

V.2. Les paramètres du MNT..... 60

V.2.1. L'altitude..... 60

V.2.2. La Pente..... 61

V.2.3. L'orientation de la pente..... 62

V.3. Confrontation des données topographiques aux données de télédétection..... 63

V.3.1. Confrontation de la conductivité électrique aux données MNT..... 63

V.3.1.1. Corrélation de la conductivité électrique avec l'altitude (Z) ..... 63

V.3.1.2. Corrélation de la conductivité électrique avec la pente..... 65

V.3.1.3. Corrélation de l'exposition avec la conductivité électrique ..... 66

V.3.2. Confrontation des indices numériques de télédétection à la topographie..... 66

V.3.2.1. Confrontation de la pente aux indices de sols et de végétation..... 66

V.3.2.2. Corrélation entre l'exposition et les indices des deux images..... 67

V.3.2.3. Corrélation entre l'altitude et les indices..... 67

V.3.2.3.1. Image SPOT 2000..... 67

V.3.2.3.2. Image SPOT 2001..... 67

V.3.2.4. Corrélation des indices de salinité des deux images avec les données du MNT..... 68

V.3.2.4.1. Corrélation entre la pente et les indices de salinité..... 68

V.3.2.4.2. Corrélation entre l'exposition de la pente et les indices de salinité..... 68

V.3.2.4.3. Corrélation entre l'altitude et les indices de salinité..... 69

V.4. conclusion..... 70

**Conclusion générale..... 71**

**Références Bibliographiques**

# *INTRODUCTION.*

## **Introduction**

Les propriétés du sol sont importantes pour comprendre globalement la composition et la productivité des communautés végétales dans les écosystèmes arides et semi-arides. Le sol constitue également une interface vis-à-vis de l'environnement qui va conditionner la qualité de l'eau et de l'air et le développement diversifié des êtres vivants. (Noy-Meir, 1973).

Malheureusement, cette ressource est limitée au niveau du globe; elle ne représente que 22% des terres émergées, soit 3300 millions d'hectares seulement qui possèdent les caractéristiques bioclimatiques et physiques favorables (Robert et Cheverry, 1996).

La plaine du Bas-Chéliff qui se trouve à 220 km à l'ouest d'Alger et s'étend sur plus de 60000 ha (Douaoui et Lépinard, 2010) a fait l'objet de notre terrain d'étude. Cette plaine d'un climat devenu aride au cours de ces dernières décennies connaît de graves problèmes de dégradation de son milieu physique. La salinisation des sols qui s'est accélérée ces deux dernières décennies suite au recours accru à l'irrigation est incontestablement le plus grave problème qui touche cette plaine et agit directement sur la morphologie des états de surface (Saidi et al., 2004 ; Douaoui et al., 2007 ; Douaoui et Lépinard, 2010).

Le terme "état de surface" est utilisé pour désigner, à un instant donné, un ensemble homogène constitué par les éléments du milieu suivants: le couvert végétal, la surface du sol, les organisations pédologiques superficielles qui ont subi des transformations, sous l'effet des facteurs météorologiques, fauniques ou anthropiques (Casenave et Valentin, 1989).

La connaissance de ces états de surface est considérée comme une information capitale pour l'évaluation des niveaux de dégradation des couches de surface et la compréhension des principaux facteurs qui sont responsables de cette dégradation.

Les travaux effectués dans la plaine ont tous été unanimes pour dire que la salinisation des sols qui ne cesse de s'étendre spatialement et d'augmenter temporellement (Douaoui et al. 2006) est la principale cause de cette dégradation qui se manifeste par la détérioration de la couverture végétale et des ressources en sol et en eau (Boulaine, 1957 ; Daoud, 1993 ; Saidi et al., 2004 ; Douaoui et al., 2004).

La connaissance de ces états de surface et de ses principales composantes sur des vastes superficies reste toujours difficile et souvent ne comportant pas suffisamment de détails pour connaître les propriétés des états de surface et comprendre les mécanismes de fonctionnement du sol tels que la salinisation. L'imagerie satellitaire à haute résolution et les Modèles Numériques de Terrain (MNT) sont de nos jours de plus en plus utilisés pour acquérir de l'information et la rendre disponible afin d'améliorer la connaissance des états de surface, leur cartographie et l'évaluation de la salinité dans notre cas.

McBratney et al. (2003) ont proposé un cadre pour la cartographie numérique prédictive des sols en tenant compte des variables environnementales (topographie, végétation, lithologie ...). Dans le même sens, Boettigger et al. (2008) ont démontré de manière efficace l'utilité des images de télédétection pour déterminer les caractéristiques de la surface du sol dans les zones arides en présence d'un faible couvert végétal.

Dans ce travail, Il s'agit de caractériser et cartographier les états de surface ; connaître et cartographier la salinité des sols par leur études spatiales et leurs relations avec les données de télédétection et les paramètres d'un modèle numérique de terrain (MNT).

Dans ce cadre, ce mémoire est structuré par les chapitres suivants :

- Un aperçu bibliographique sur les modèles numériques de terrain (MNT) et la télédétection dans le premier chapitre ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du milieu physique de la zone d'étude ;
- Dans le troisième chapitre est exposé la démarche méthodologique adoptée dans ce travail ;
- Le quatrième chapitre est consacré pour le traitement des images satellitaires et l'identification des états de surface ;
- Enfin, dans le cinquième chapitre on a établi un modèle numérique de terrain (MNT) dans lequel une étude de corrélation a été faite entre la salinité et les dérivées du MNT.

# *CHAPITRE I*

*Aperçu Bibliographique.*

## **I. Aperçu Bibliographique**

### **I.1. Modèle numérique de terrain**

#### **I.1.1. Définition**

Un modèle numérique de terrain appelé singulièrement MNT (en anglais DTM), est une carte indiquant la forme brute du terrain, sans construction ni végétation. Il correspond donc à une schématisation du modelé de la région étudiée.

L'ensemble des points de la carte établie, correspond à une altitude permettant de travailler sur un modèle surfacique numérique.

Le terme modèle numérique de terrain désigne une représentation de la topographie (ou altimétrie) d'une zone géographique adaptée aux traitements informatiques. (Pouderoux., 2009).

#### **I.1.2. Modélisation topographique de terrain**

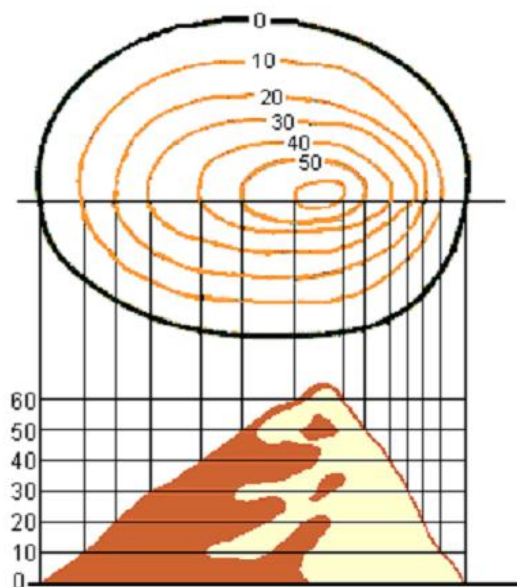
La topographie est l'art de la mesure puis de la représentation sur un plan ou une carte des formes et détails visibles sur le terrain, qu'ils soient naturels, tel que le relief, ou artificiels tels que les routes ou bâtiments. Son objectif est de déterminer la position et l'altitude de n'importe quel point situé dans une zone donnée qu'elle soit de la taille d'un continent ou d'un champ. Il existe de différentes manières de modéliser la topographie en géomatique. Nous présentons les plus utilisées : les cartes d'élévations et les modèles triangules. (Pouderoux, 2009).

##### **I.1.2.1. Courbes de niveau**

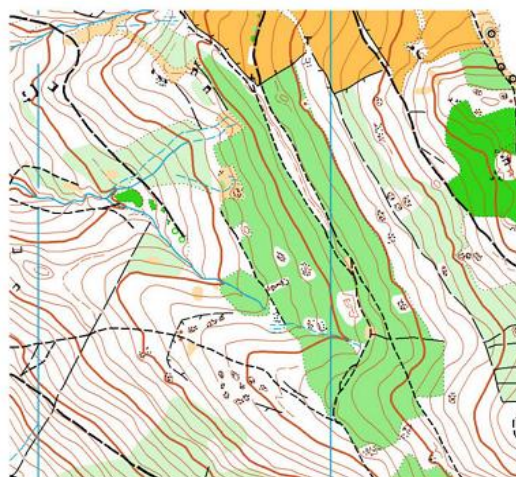
Les courbes de niveau sont des lignes imaginaires placées sur une carte de géographie qui joignent tous les points sites à la même altitude. C'est aussi la ligne d'intersection d'un plan horizontal avec le relief du terrain. Plus les courbes de niveaux sont rapprochées, plus la pente est forte. Entre deux courbes de niveau successives, on admet que la pente est régulière. La distance verticale qui sépare deux courbes de niveau successives s'appelle l'équidistance.

Sur une carte, on peut distinguer 3 types de courbes de niveau (fig.1) :

- les courbes directrices, principales ou maîtresses dessinées avec un trait épais continu et repérées par une indication d'altitude ;
- les courbes "traditionnelles" dessinées en trait fin continu ;
- les courbes intermédiaires, dessinées en traitillés ou en pointillées sur la carte et qui se situent à la demi-équidistance. On les représente sur la carte uniquement lorsque la pente n'est pas régulière entre deux courbes de niveau "traditionnelles" ou entre une courbe directrice et une courbe "traditionnelle".



(a) échantillonnage des courbes de niveau.



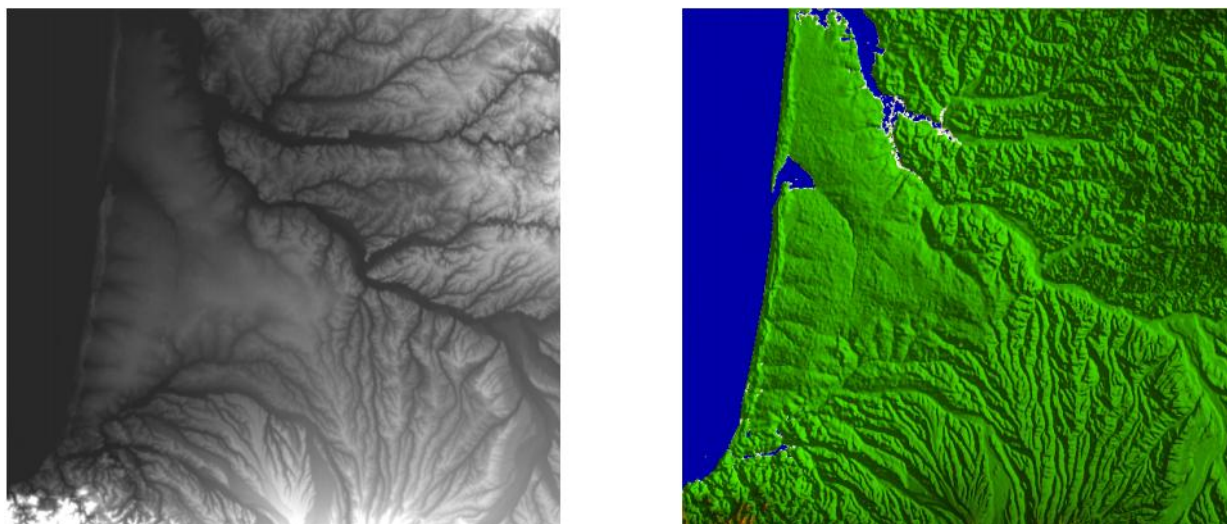
(b) courbe de niveaux imprimés en orange sur une carte topographique couleur. Les courbes plus épaisses sont les courbes dites directrice

**Figure 1: Construction et représentation des courbes de niveaux. (Arrighi et Soille, 1999).**

### 1.1.2.2. Les cartes d'élévation

Une carte d'élévation (appelée aussi MNA : modèle numérique d'altitude ou MNE : modèle numérique d'élévation) est une grille régulière contenant des valeurs d'altitudes échantillonnées ou interpolées et uniformément espacées selon la définition de Burrough, (1986). La grille est stockée sous la forme d'un tableau 2D dont les paramètres sont la résolution dans les directions X et Y. Ces valeurs doivent être choisies de façon à permettre la représentation d'une grande diversité de régions : dans le cas d'une zone montagneuse, une grande résolution permettra de mieux représenter les aléas du terrain, tandis que pour une plaine, une résolution moindre suffira. Une estimation de l'altitude entre 4 points voisins de la grille pourra être obtenue à l'aide d'un schéma d'interpolation (bilinéaire, bicubique, etc.) Il est évident qu'une résolution plus précise requiert non seulement une quantité de données supplémentaires, mais aussi un temps de calcul plus long. Il est donc important de trouver un compromis entre la précision des données désirée, et la taille mémoire et le temps de calcul disponibles.

La figure 2 montre un MNA affichée sous forme d'image en niveaux de gris et en couleur avec une palette topographique.



**Figure. 2 : Carte d'élévation de la région Aquitaine affichée sous forme d'image en niveaux de gris (à gauche) et en couleur avec un effet d'ombrage (à droite) (Pouderoux, 2009).**

Il est à noter que si les MNA d'écrivent une surface en 3 dimensions, la surface représentée est dite de dimension 2,5 puisque chaque point de la surface ne peut être associé qu'à une et une seule valeur d'altitude. Cette particularité empêche donc de représenter des spécificités de la surface telles que des cavités ou promontoires naturels. . (Pouderoux, 2009).

### **I.1.2.3. Les modèles triangulés**

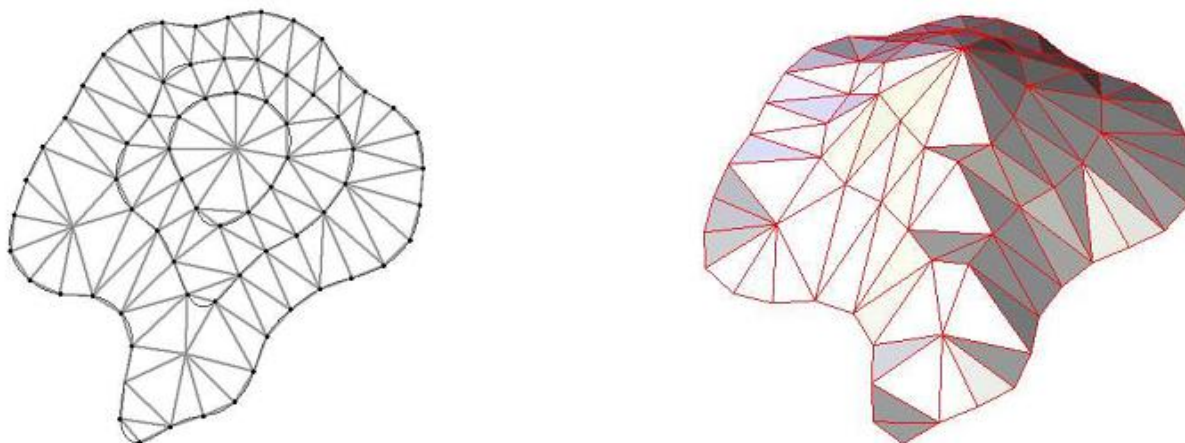
Pour représenter un terrain, une autre alternative efficace aux cartes d'élévation denses a été introduite en cartographie par Peucker et al. et s'appelle Réseaux de Triangles Irréguliers (RTI, en anglais TIN : Triangulated Irregular Network ).

Les RTI représentent la surface à l'aide d'un ensemble de points irrégulièrement espacés reliés entre eux pour former un réseau de triangles. Des points d'élévation irrégulièrement espacés sont sélectionnés pour représenter le terrain avec généralement un grand nombre de points dans les régions accidentées et un petit nombre de points dans les régions relativement planes.

D'une manière générale, le RTI est obtenu par triangulation de Delaunay. La surface triangulée définie par des facettes de triangles de taille et forme irrégulières ne se chevauchant pas est donc continue. A l'intérieur de chaque triangle, la surface est supposée homogène et représente un plan orienté dans l'espace (Hutchinson, 1988).

Les arêtes du RTI peuvent permettre de capturer la position de certaines caractéristiques géomorphologiques de la surface jouant un rôle important comme les lignes de crêtes (en anglais *ridge lines*, lignes de points hauts d'un relief séparant deux versants opposés aussi appelées lignes de partage des eaux, dorsales ou interfluves) ou les lignes de Talweg (lignes reliant les points les plus bas d'une vallée, aussi appelées lignes de collecte des eaux). La figure 3 montre 3 courbes de niveau et les points et facettes d'un modèle RTI. La figure n° 3 illustre ce RTI à l'aide d'une vue 3D.





**Figure. 3 : Exemple d'un modèle RTI et sa vue en 3D (Hutchinson, 1988).**

Il existe de nombreux autres types de modèles triangulés utilisés particulièrement pour la visualisation interactive de terrain. Ces modèles reposent généralement sur des structures hiérarchiques (par exemple le modèle QTM, Quaternary Terrain Model de Dutton) permettant de disposer d'un modèle multi-résolution et d'adapter la quantité de données utilisées en fonction de différents critères tels que la distance au point de vue (Hutchinson, 1988).

En conclusion, il n'y a pas de modèle meilleur dans tous les cas. Le choix d'un modèle peut s'effectuer en fonction de différents critères tels que :

- la disponibilité des données ;
- la nature de la surface (plane ou montagneuse) ;
- l'application, en fonction des techniques qui seront utilisées pour analyser, manipuler ou visualiser le modèle ;
- l'échelle et la résolution des données.

### **I.1.3. Interpolation de MNT**

L'interpolation d'un MNT consiste à évaluer l'altitude des points le constituant à partir de points ou de courbes de niveau cotées. Cette construction du MNT se fait généralement en reconstruisant une fonction d'interpolation à partir des contraintes initiales (courbes de niveau ou points cotés) et en l'évaluant sur les points d'altitude inconnue. (Pouderoux, 2009).

#### **I.1.3.1. Les techniques d'interpolation**

On présente les techniques les plus couramment utilisées dans le cadre de l'interpolation à partir de courbes de niveau cotées ou de points cotées (valeurs d'altitudes non uniformément échantillonnées sur une surface 2D). (Pouderoux. 2009).

##### **I.1.3.1.1 Inverse pondéré de la distance**

La technique de l'inverse pondéré de la distance (en anglais Inverse Distance Weighted Averaging, IDWA) introduit une méthode simple pour interpoler une fonction 2D à partir d'un ensemble de points irrégulièrement espacés. Cette méthode se base sur une combinaison linéaire des valeurs des points connus en utilisant le principe que l'influence relative d'un

point diminue avec la distance de l'endroit où l'on effectue l'observation de la même variable.(Watson, 1992.). De nombreuses variantes de cette technique ont été proposées. En 1968, Shepard pose l'utilisation des distances inverses pondérées par moindre carrée.

Un schéma global prenant en compte l'ensemble des points connus entraîne bien entendu un coût de calcul qui le rend rapidement inutilisable en pratique. On considère alors un ensemble de points localisés dans un disque de rayon fixé (fig. 4. (a)). Cette méthode fonctionne aussi bien avec des points cotés que des courbes de niveau. Pour être moins dépendant d'un paramètre de rayon, il est important de détecter les points les plus proches pouvant être détectés en lançant des rayons dans différentes directions (entre 4 à 64) autour du point d'intérêt (Jones et al., 1986).

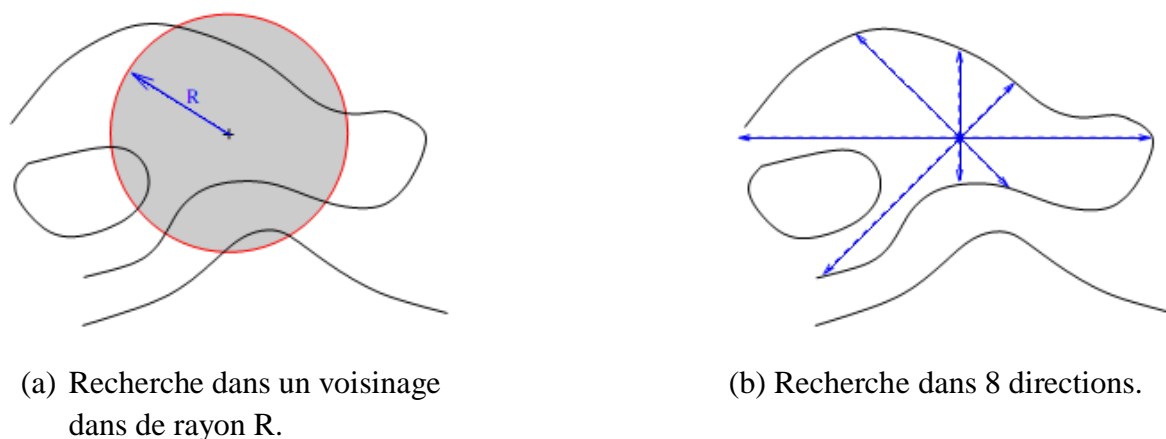


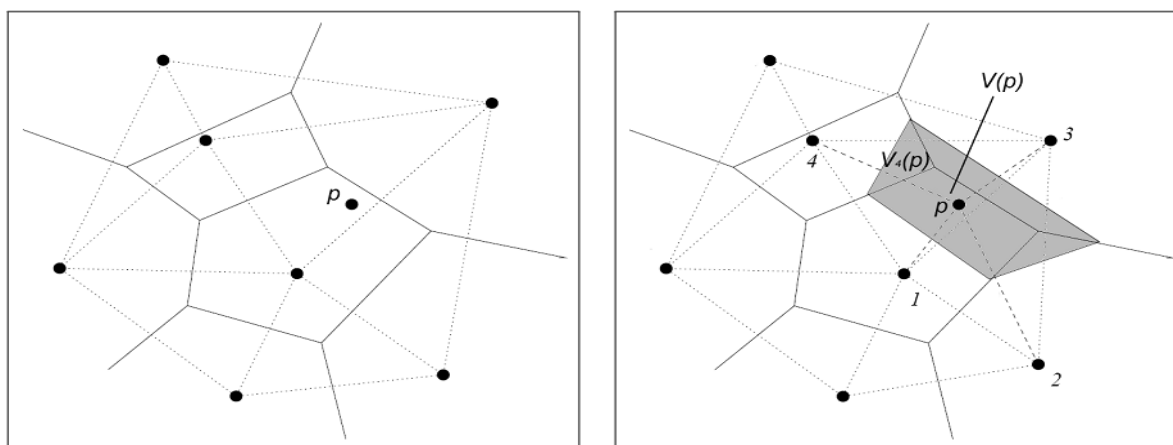
Figure. 4 : Exemple de voisinages utilisés pour une interpolation IDWA (Jones, 1986).

#### I.1.3.1.2. Interpolation par Voisins Naturels

La méthode d'interpolation par voisins naturels fut introduite en 1980 par Sibson. Il s'agit d'une méthode populaire et utilisée dans de nombreux domaines. L'interpolation par voisins naturels est construite sur la base du diagramme de Voronoi calculé à partir des échantillons de données connus. Cette méthode consiste en une moyenne pondérée par la distance aux voisins pour calculer la fonction d'interpolation. La différence fondamentale entre cette méthode et celle proposée par Shepard tient aux poids affectés aux voisins : on ne considère plus la distance mais l'aire que recouvre l'intersection du diagramme de Voronoi initial et le diagramme de Voronoi initial auquel on insère le point à interpoler ( fig. 5). A partir d'un ensemble de sites, on calcule d'abord le diagramme de Voronoi de ces sites (fig. 5a). Pour interpoler la valeur au point  $p$ ,  $p$  est inséré dans le diagramme de Voronoi (fig. 5b). La cellule de Voronoi  $V(p)$  de  $p$  a  $k$  cellules voisines appelées

$V_1(p); \dots ; V_k(p)$ . Les  $k$  sites  $p_1 ; \dots ; p_k$  sont appelés les voisins naturels de  $p$ . L'aire de  $V(p)$  est l'union des aires  $\lambda_i(p)$  appartenant aux cellules  $V_i(p)$  des voisins de  $p$  dans le diagramme initial.

Un exemple d'interpolation par cette méthode, est donné dans la figure 5.



**Figure. 5 : Interpolation par voisins naturels à partir de 7 sites. A gauche : diagramme de Voronoi des 7 sites initiaux. A droite : en gris la cellule de Voronoi du point à interpoler. (Sibson, 1980)**

L'interpolation de Sibson est un schéma local dans la mesure où seules les valeurs des voisins naturels d'un point  $p$  influencent la valeur interpolée  $f(p)$ .

Cette méthode est la plus appropriée lorsque la densité des points échantillons est irrégulière.

#### **I.1.3.1.3. Interpolation géodésique**

C'est une technique d'interpolation introduite par Soille (1992) ; elle est adaptée à l'interpolation des courbes de niveau et non à l'interpolation d'échantillons épars.

Le principe de l'interpolation géodésique est que chaque point du MNA est influencé par les deux courbes de niveau les plus proches. L'altitude d'un point donné s'obtient par combinaison linéaire des altitudes des deux courbes de niveau et de la distance géodésique entre le point et celles-ci.

#### **I.1.3.1.4. Le krigeage**

Le krigeage est une méthode d'interpolation stochastique issue de la géostatistique permettant d'interpoler un ensemble de points dans un espace fini. Le nom de krigeage et la notion de géostatistique furent introduits au début des années 1970 par Matheron dans ses recherches sur la théorie des variables régionalisées. Matheron (1970) formalisa les travaux de Danie G. Krige, un ingénieur de mines Sud-Africain qui avait proposé dans les années 1950 des concepts innovant d'estimation dans le cadre d'explorations minières. (Pouderoux, 2009).

Le krigeage est basé sur la variable généralisé relative à un phénomène s'étalant dans l'espace ou le temps. On distingue 3 types de krigeage dépendant de la statistique de la variable à interpoler :

1. Le krigeage simple qui nécessite une variable stationnaire de moyenne connue,
2. Le krigeage ordinaire, le plus largement utilisé, car il ne nécessite pas de connaissance a priori de la moyenne,

3. Le krigeage universel qui ne nécessite pas la stationnarité.

D'une certaine manière, le krigeage ordinaire est assez similaire au modèle IDWA. En effet, l'estimation d'une valeur se fait en utilisant une combinaison linéaire des valeurs des points connus. (Pouderoux, 2009).

## **I.2 Application de la télédétection dans l'étude des composants des états de surface.**

La notion d'état de surface de sol est définie par "la composition et l'organisation de la surface du sol a un instant donné" (Escadafal, 1989), elle représente le premier horizon ou l'horizon zéro de la couverture pédologique.

Elle se caractérise avec les paramètres suivants : couleur, texture, effervescences, éléments grossiers du sol, matière organiques animales et végétales et leurs recouvrements; recouvrement aussi des algues, mousses et autres végétaux : organisations superficielles battances, croûtes, efflorescences, pores et fentes, microreliefs etc. (Escadafal, 1989)

En effet, Un état de surface est un ensemble complexe constitué de divers éléments du sol qui sont exposés au soleil ou à l'ombre et plus au moins couverts par la végétation (Girard & Girard, 1999).

Dans la plaine du Bas-Chélif, Douaoui (2005) ; Douaoui *et al.* (2006) ; Douaoui et Lépinard (2010) ont utilisé la télédétection pour caractériser les différents états de surface et tout particulièrement la salinité qui a été considérée comme un des principaux objets ou éléments de surface.

### **I.2.1 Généralité sur la télédétection**

#### **I.2.1.1. Définition**

La télédétection est définie comme l'ensemble des techniques et des méthodes qui permettent d'observer à distance la surface de la Terre, ou celle d'autres planètes, à partir de vecteurs aéroportés ou satellitaires, en utilisant les propriétés d'émission et de réflexion des rayonnements électromagnétiques (Douette, 2001).

Elle permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phytomasse, matière organique du sol,...), etc. (Soudani, 2005).

Elle 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 (Soudani, 2005).

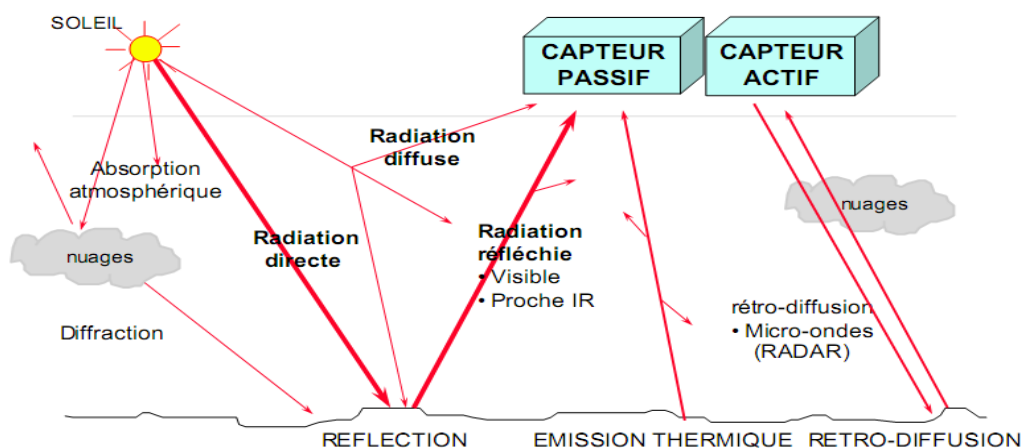


Figure 6 : Principe de la télédétection (Source : IGN. 2008).

### I.2.1.2. Les domaines spectraux

Les principaux domaines du spectre électromagnétique et leurs longueurs d’ondes respectives sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau. 1 : Les principaux domaines du spectre électromagnétique

Domaine spectral	Longueurs d’onde
Ultraviolet	290nm - 380 nm
Le visible	Violet : 400 - 446 nm
	Bleu : 446 - 500 nm
	Vert : 500 - 578 nm
	Jaune : 578 - 592 nm
	Orange: 592 - 620 nm
L’infrarouge	Rouge : 620 - 700 nm
	Proche : 700 - 1.500 nm
	Moyen réflectif 1500 –3000 nm Moyen thermique 3 – 15 µm
Les hyperfréquences (micro-ondes)	1mm-1m

### I.2.2. Les réponses spectrales des objets de surface

Le comportement spectral des objets est une voie privilégiée pour analyser et interpréter les images de télédétection (Girard et Girard, 1999). Les objets pouvant être traités par télédétection sont divers. La figure n° 7 présente les courbes de la réponse spectrale du sol, l’eau et la végétation (fig. 7).

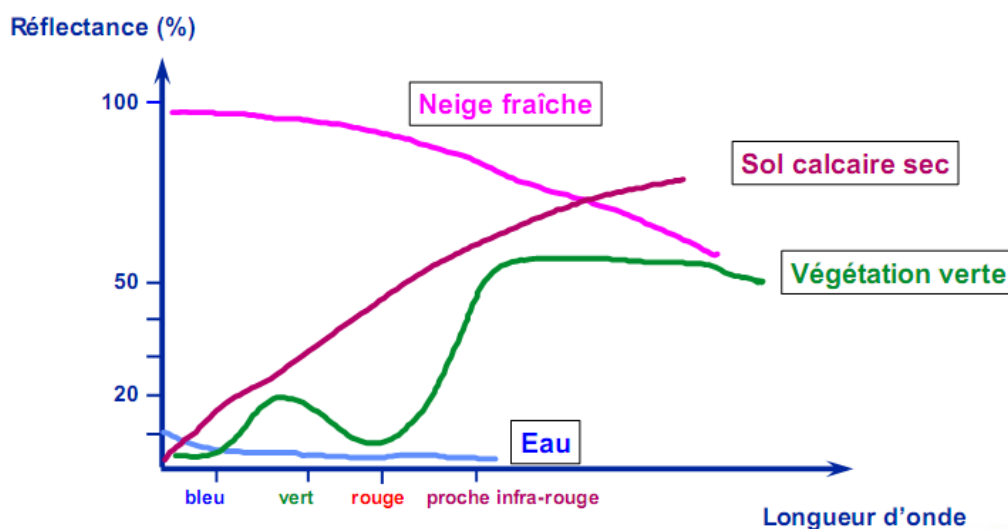


Figure. 7 : Réponse spectrale des surfaces naturelles. (Source : IGN, 2008)

### I.2.2.1. l'eau

Les données de télédétection issues de la réponse spectrale de l'eau, peuvent être fournies soit sous forme d'information directe (eau de surface) soit sous forme indirecte par la caractérisation des paramètres qui lui sont liés (Douaoui, 2005).

Le comportement spectral de l'eau présente un maximum dans la bande bleue avec une réflectance de 0.5  $\mu\text{m}$  et quasi nulle dans l'infrarouge. La turbidité, transport de matériaux en suspension et une eau peu profonde, modifient ses caractéristiques et la réflectance devient plus importante pour toutes les longueurs d'ondes. Dans ce domaine, la télédétection peut fournir des informations sous forme directe (Surface libre) ou indirecte par la caractérisation des paramètres qui lui sont liés. La localisation des sources dans les zones fracturées, évaluation de recharge en eau, la maîtrise des crues, la qualité des eaux et les aménagements hydro agricoles. (Guerina, 2008).

### I.2.2.2. le sol

Les réponses spectrales des sols se caractérisent par des valeurs de réflectance régulièrement croissantes dans le visible et le proche infrarouge, tandis qu'elles sont généralement faibles dans le moyen infrarouge réflectif.

La télédétection passive ne peut donner que des informations sur la partie la plus superficielle du sol. Les principaux facteurs élémentaires du comportement spectral des sols sont : la couleur, la rugosité (type de surface: battant, croûtes, efflorescences, éléments grossiers, texture- structure, ombre), le calcaire, la matière organique, le fer, l'humidité, la composition chimique (Girard & Girard, 1999).

### I.2.2.3. la végétation

En télédétection, le terme végétation fait référence à la chlorophylle. Toutefois, le comportement spectral dépend de la nature de l'espèce, du stade de développement, du taux de recouvrement et de l'état du peuplement (Douaoui, 2005).

Les facteurs influençant la réflectivité de la végétation peuvent être classés en quatre groupes (Girard & Girard, 1989): structure de la feuille (structure interne, surface de la feuille, contenue en eau, chlorophylle), géométrie de la feuille (orientation, inclinaison), assemblage des feuilles (recouvrement, disposition,...), et structure canopée (lisse, rugueuse, ouverte, fermée, ...).

#### **I.2.2.4. la salinité**

La présence des sels dans les sols peut être décelée par la télédétection soit directement par la détection d'efflorescences à la surface des sols et les croûtes salines, soit indirectement par la reconnaissance de la végétation halophyte connue par sa tolérance aux sels (Mougenot, 1993 ; Metchernicht et Zink, 2003 ; Douaoui, 2005 ; Douaoui *et al.*, 2006 ; Douaoui et Lépinard, 2010).

Les teneurs et la nature des sels ainsi que la couleur, l'humidité et la rugosité sont les principaux facteurs qui influencent la réflectance des sels (Mougenot, 1993).

La réponse spectrale peut être très variable d'un point à l'autre suite à la mobilité des sels à la surface du sol qui est sous l'influence directe de la circulation de l'eau et de la microtopographie. Cette tendance des sels à se concentrer localement crée une variabilité locale élevée causant une variation importante dans la réponse spectrale (Mougenot, 1993 ; Escadafal, 1989).

En général, la cartographie des sols à salinité modérée et élevée par télédétection ne pose pas de difficultés, En contrepartie ce n'est pas le cas pour les sols dont la salinité est faible qui se confondent avec les sols non salés (Douaoui *et al.*, 2006).

Les effets des sels sur la végétation correspondent à une diminution de taille et du recouvrement au sol des différentes strates selon leur résistance à la salinité, avec à l'extrême le sol toujours nu. La végétation spécifique des domaines salés peut être un bon indicateur en association aux sols nus salés (Mougenot, 1993). Les bandes spectrales du moyen infrarouge, sensibles à l'eau des plantes, complètent celles du visible et du proche infrarouge, qui sont sensibles à l'activité chlorophyllienne et au taux de recouvrement par la végétation (Guerina, 2008).

Certains états de surface ont une réflectance aussi élevée que celles des sols salés par leur influence sur la rugosité et la couleur à la surface. C'est le cas, par exemple, des sols érodés ou de la présence d'une croûte de surface sédimentaire risquent d'être confondus avec les sols à salinité élevée (Douaoui, 2005).

Enfin, il est à noter que, de façon générale, la réponse spectrale augmente avec la quantité de sel présente à la surface du sol. La présence des sels montre une réflectance plus élevée dans le visible et le proche infrarouge dans les sols salés. Cette détection devient moins évidente en présence d'humidité, d'oxyde de fer et d'inclusions argileuses. Dans ces conditions la salinité des sols devient possible à partir d'une teneur en sel de 10 à 15 % des constituants d'un sol (Mougenot, 1993)

# *CHAPITRE II*

## *Présentation de la Zone d'étude.*



## II. Présentation de la zone d'étude : La plaine du Bas Chélif

### II. 1 Localisation de la zone d'étude

La plaine du Bas-Chélif qui s'étale sur plus de 60000 ha se situe à l'extrémité nord du bassin du Chélif (nord-ouest de l'Algérie), à environ 250 km à l'ouest d'Alger et à 35 km à vol d'oiseau de la méditerranée, avec en son centre la ville de Oued Rhiou (wilaya de Relizane). Elle se trouve entre  $0^{\circ} 40'$  et  $1^{\circ} 6' 8''$  de longitude est et  $34^{\circ} 3' 12''$  et  $36^{\circ} 5' 57''$  de latitude nord. Avec les coordonnées géographiques x et y, selon la projection UTM Algérie fuseau 31, sont (fig. 8) :

$$X = 275\ 649 \quad \text{et} \quad 328\ 533 \text{ km}$$

$$Y = 3\ 968\ 469 \quad \text{et} \quad 3\ 996\ 812 \text{ km}$$

Elle fait environ 50 km de longueur sur une largeur variant 6 Km à l'Est à plus de 20 Km à l'Ouest, avec une surface pratiquement plate d'une altitude moyenne de 70 m.

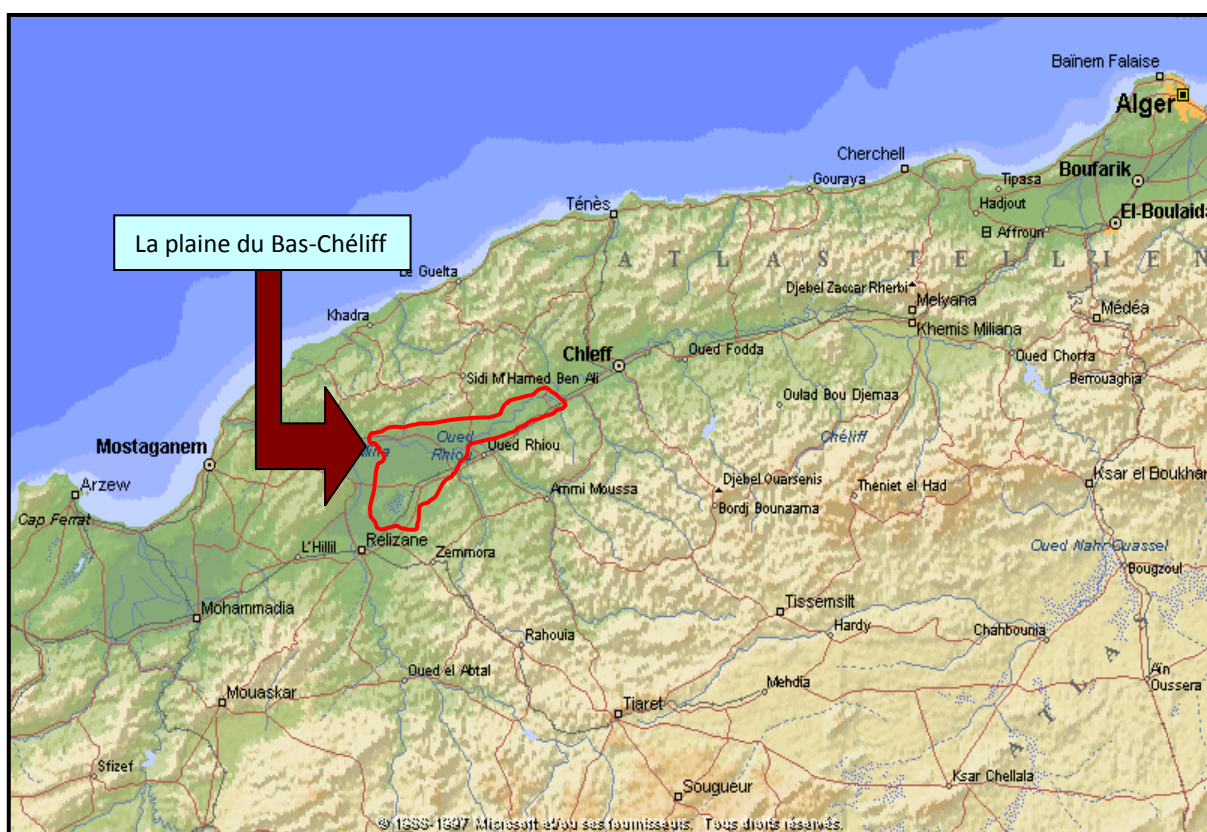


Figure 8: Localisation de la plaine du Bas-Cheliff. (Mokhtari, 2009)

### II. 2 Le climat

Le Bas-Cheliff se caractérise par un climat très irrégulier en Algérie par sa dureté (Seltzer, 1946). On parle du 'four du Tell' ou de 'portion de Sahara égarée dans le Tell' (Yacono, 1954). Il s'agit bien d'un climat très rude et très contrasté par des étés très chauds et des températures basses en hiver.

### II.2.1. La pluviométrie

La région d'étude a connu durant les dernières décennies des cycles de sécheresse s'étalant de 1987 à 1990 et de 1992 à 1995. La pluviométrie moyenne entre les années 60 et début des années 80 est nettement supérieures aux années suivantes et ce jusqu'aux années 2000 (fig. 9). Les précipitations moyennes annuelles en pluviométrie restent inférieures à 250 mm.

Généralement, la pluie tombe sous forme d'averse de courte durée donc de forte intensité causant ainsi des inondations en quelques endroits de la plaine.

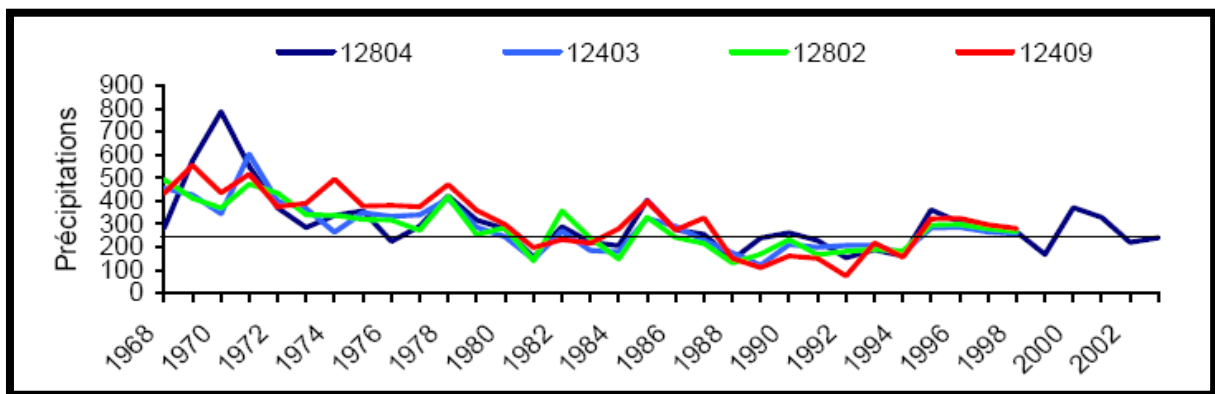


Figure 9: Variation de la pluviométrie annuelle de quelques stations pluviométrique dans la plaine du Bas-Cheliff.

L'analyse pluviométrique sur la région du Hmadna calculée sur une période s'étalant de 1985 à 2002, montre que le mois de janvier est le mois le plus pluvieux (38 mm) avec un nombre de jours de pluie le plus élevé (7 jours). La période estivale s'étalant entre juin et août est la moins pluvieuse dans l'année ; elle est de un jour de pluie par mois survenue généralement sous forme d'averses de fortes intensités. La faible pluviosité est enregistrée durant le mois de juillet avec une pluviométrie égale à 1 mm (tab.2).

### II.2.2. La température

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver.

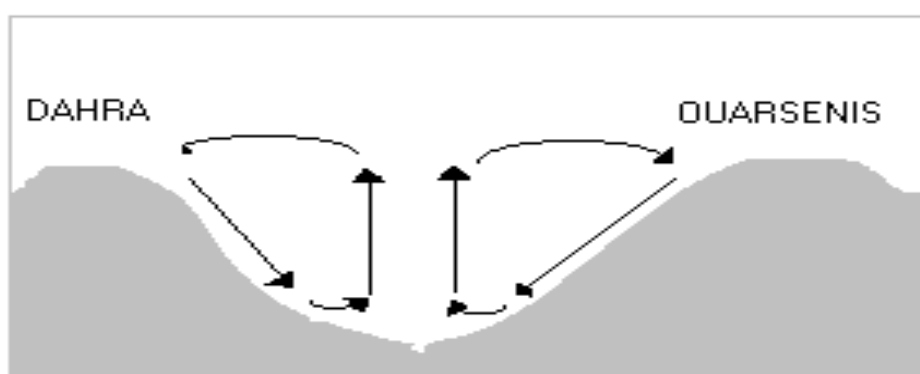
La moyenne annuelle des températures avoisine les 20°C mais avec un écart aussi considérable d'environ également 20°C ; août est le mois le plus chaud avec une moyenne mensuelle de 29,77°C et 10,40°C enregistrée en janvier (tab. 2).

**Tableau 2 : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de H'madna (1985-2009). (Source : INRAA, 2009)**

Mois	Température (°C)	Précipitation (mm)
Janvier	10,40	38.16
Février	11,81	33.65
Mars	14,33	28.53
Avril	16,66	31,35
Mai	21,45	21,13
Juin	25,92	4,81
Juillet	29,39	1,41
Août	29,77	2,30
Septembre	25,19	13.93
Octobre	20,88	29.99
Novembre	14,65	46.65
Décembre	11,72	31.59

### II.2.3. Vent et pression

D'après les observations effectuées à la station de Hmadna, il ressort que le vent dominant est le vent d'ouest. Sa vitesse moyenne varie de 13 à 33 Km/h, jouant le rôle de la dégradation mécanique du sol et agit sur l'amplitude de la température. Il constitue ainsi un agent d'érosion efficace dans les régions à couverture végétale faible à nulle, surtout durant la période sèche où beaucoup de sols acquièrent une structure micro- polyédrique (pseudo-sables) à la surface voire poudreuse dans d'autres cas (Douaoui, 2005). Les lunettes qu'on retrouve autour de la sebkha Benziane sont dues à ce phénomène (Boulaine, 1957) (fig. 10).



**Figure 10 : Système théorique des vents ascendant et descendant dans la vallée du Chélif (Yacono, 1954)**

Le vent affecte la région de deux façons essentielles : soit comme agent d'érosion éolienne ou en assèchent les croûtes superficielle du sol favorisant ainsi la remontée des sels. La carte des vents de la vallée du Chélif à 10m du sol est représentée en figure 11. Une gamme de variation de la vitesse moyenne annuelle allant de 1 à 6 m/s.

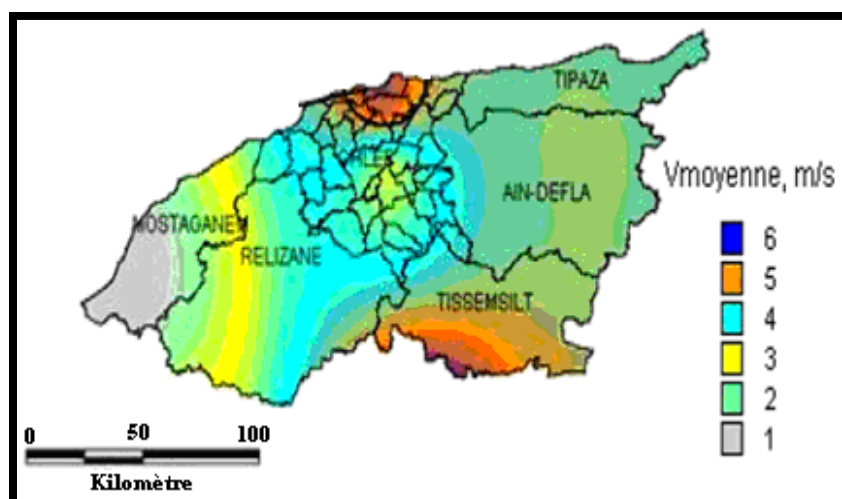


Figure 11. La vitesse moyenne du vent de la vallée de Cheliff à 10 m du sol (1980-2002).  
(Boukli et al., 2007)

#### II.2.4.L'humidité

L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée le matin pour tous les mois ; elle est de l'ordre de 60 à 85 % en automne et l'hiver et entre de 35 à 60 % en printemps et l'été. Elle peut compenser en un certain degré l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes. Le mois le plus humide est le mois de décembre et le mois le plus sec est le mois de juillet. (Douaoui, 2005).

#### II.2.5.L'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de Penman est de 1500 mm/an (Douaoui, 2005). Une ETP journalière basse en mois froid et élevée en mois chaud confirmant la variation de l'humidité relative journalière. (Belwazeni, 2010)

### II.3. Synthèse climatique

Les éléments climatiques n'agissent jamais indépendamment les uns des autres. En combinant principalement les températures (Moy, M et m) et la pluviométrie (soit mensuelle ou annuelle), on peut se donner des indications sur le climat de la région notamment :

#### II.3.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Bagnouls et Gaussen (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation  $P \leq 2T$ , avec :

P : moyenne mensuelle des précipitations en mm et ;

T : moyenne mensuelle des températures en °C avec  $T = (M+m)/2$ .

Le cumul des mois secs constitue la saison sèche. Pour vérifier cette relation, on doit adapter une échelle qui la concrétise ( $P=2T$ ) ; c'est la zone où la courbe de P passe en dessous de celle de T (fig.12).

Donc, une longue période de sécheresse est révélée, elle s'étale sur sept mois, allant de mars à octobre.

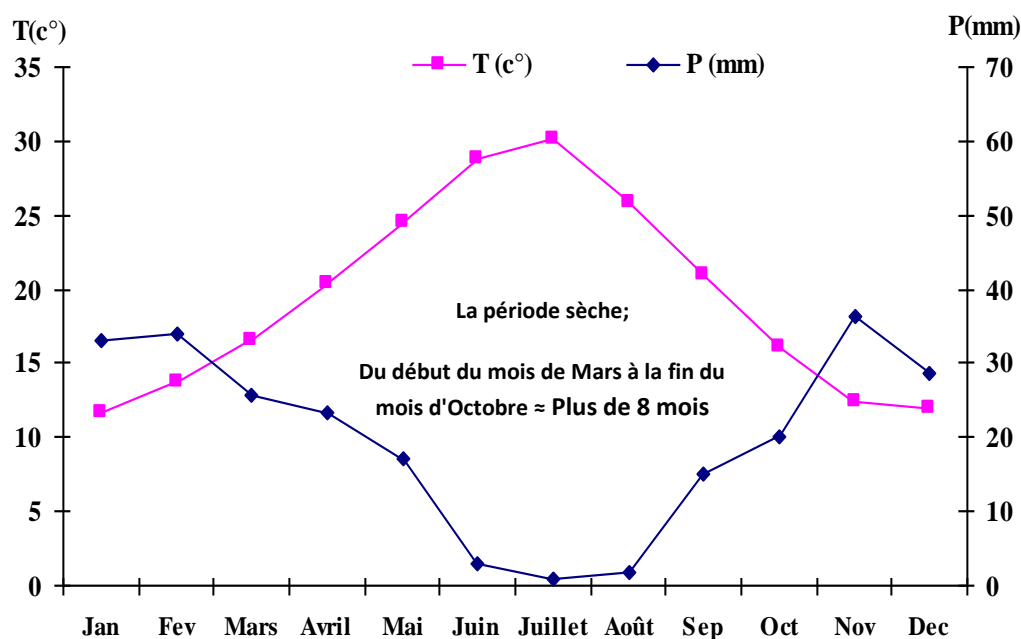


Figure 12 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la station de Relizane de la période (1985/2009).

### II.3.2. Indice de De Martonne (1927)

$$I_a = P \text{ (mm)} / T \text{ (}^\circ\text{C)} + 10$$

Cet indice « $I_a$ » baisse lorsque l'aridité croît, l'indice de l'aridité de De Martonne de la station de Relizane pour la période 1938-1968 était de 11.65, pour la période 1968-1993 était de 10.18 et de 9.88 pour la période 1985-2009, ces valeurs témoignent d'une part d'un climat aride et d'autre part la tendance vers une aridité plus sévère.

### II.3.3. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

Emberger en 1955 a proposé une formule combinant :

- la moyenne annuelle de la précipitation P exprimée en m,
- la moyenne des maxima des températures M du mois le plus chaud exprimée en °K,
- la moyenne des minima des températures m du mois le plus froid exprimée en °K.

Il utilise la formule suivante :

$$Q_E = \frac{1000 * P}{\frac{(M+m) * (M-m)}{2}}$$

Pour le pourtour méditerranéen, en combinant les valeurs de m (°C) en abscisses et celle du Q<sub>E</sub> en ordonnées, il est possible de positionner notre station en fonction de divers étages climatiques établis par l'auteur Emberger en 1955. (Belwazeni, 2010)

Le climagramme (fig.13) indique que : la station du Bas-Chélif est située dans l'étage climatique aride à hiver doux, avec un Q<sub>E</sub> moyen de 37.01 et une température minimale moyenne autour de 5°C.

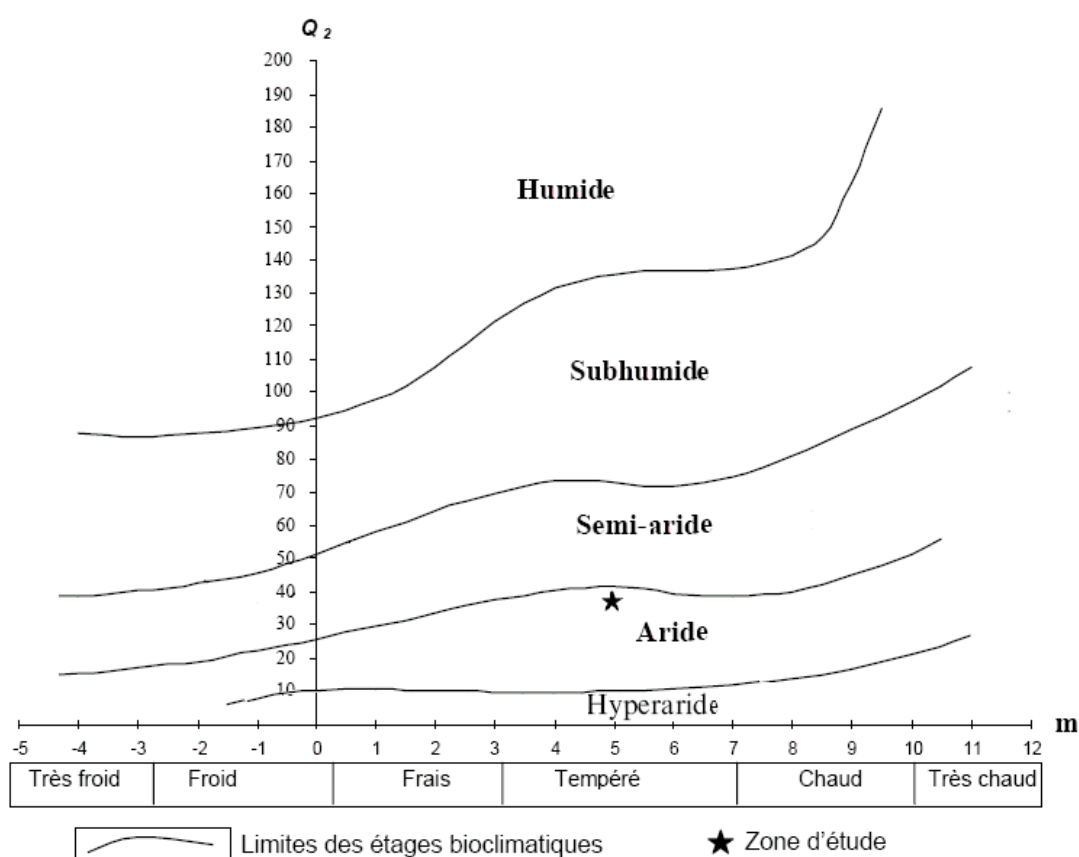


Figure 13 : Position de la station de H'madena sur le climagramme d'Emberger.

### II.3.4. Autres paramètres climatiques

Il a été enregistré aussi au niveau de la même station et pour la même période une moyenne de 18 jours de gelée, 11 jours de rosée, 20 jours de brouillard et 10 jours de siroco. (Douaoui, 2005).

## II.4. Pédologie

La carte des sols établie par McDonald et BNEDER (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural) (1990) selon la CPCS (Comité du Pédologie et de la Cartographie des Sols) (1967), montre l'existence des mêmes types de sols dans la plaine (tab. 3).

**Tableau 3 : Synthèse des sols de la plaine du Bas-Chélif d'après la carte pédologique de Mc Donald et BNEDER (1990).**

Type de sol	Caractéristiques
<b>Sols peu évolués</b>	<p><i>Les sols peu évolués d'apport alluvial</i> : avec des caractéristiques physicochimiques très variées. Textures peu argileuses, limoneuse ou sableuse. Localisé surtout au bords des oueds.</p> <p>- <i>Les sols peu évolués d'apport colluvial</i> : Ils sont caractérisés le plus souvent par des dépôts de cailloux et de graviers à la surface et en profondeur du profil. Leur texture peut être très variée. Localisés au bord de la plaine</p>
<b>Les Vertisols</b>	Riches en argiles gonflantes (smectites). C'est des sols à mauvais drainage. On les retrouve sur les alluvions des terrasses Rharbiennes. Ils présentent souvent le caractère salin avec une hydromorphie en profondeur.
<b>Les sols Calcimagnésiques</b>	Des sols carbonatés, plus ou moins différenciés et présentent parfois des accumulations calcaires nodulaires ou continues sous forme d'encroûtement et de croûte. Ils montrent parfois des caractères vertiques.
<b>Les sols isohumiques</b>	Moins fréquents dans le Bas-Chélif. Ils sont de couleur marron et présentent, parfois, le caractère vertique ou des accumulations discontinues de calcaire. Localisés sur les colluvions de la partie Sud de la plaine et sur le plateau de Benziane.
<b>Les sols hydromorphes</b>	Des sols profonds avec un drainage imparfait dû à leur position basse. Ils forment généralement des dépressions fermées telles que les sols de la Gaa. On les rencontre un peu partout dans le Bas-Chélif.
<b>Les sols salsodiques</b>	Appelés halomorphes : sont des sols dont l'évolution est influencée par la présence de sels solubles et du pourcentage du sodium échangeable. Lorsque la conductivité électrique dépasse les 4 dS/m par la méthode de la pâte saturée, ils sont appelés sols salés (U.S.S.L.S, 1954).

## II.5. Géologie et géomorphologie

La plaine est relativement jeune parce qu'elle date seulement du quaternaire. C'est un synclinal comblé du Rharbien (quaternaire récent) encadré au Nord et au Sud par des collines

de l'âge Miocène-Pliocène (tertiaire). En conséquence, les alluvions de la plaine du Bas-Chélif proviennent directement de l'érosion de ces collines (McDonald et BNEDER, 1990).

Au Sud, les collines coupées par l'Oued Rhiau et l'Oued Djidiouia, consistent en de schistes et de marnes salés, ce qui explique la haute salinité des sols alluviaux de la plaine ainsi que le niveau de la salinité des eaux de la retenue de Merdjjet sidi Abed et du barrage Gargar. (McDonald et BNEDER, 1990).

Au nord, Les collines de Dahra sont composées de marnes et de limons argileux qui deviennent vers l'ouest des sables et des conglomérats plus grossiers. Encore une fois, certains de ces lits sont salés.

Les collines de l'est du Bas-Chélif sont plus récentes que le Dahra et le massif de l'Ouarsenis, d'âge Villafranchien et sont composées de limons calcaires intercalés de sables, extrêmement tendres, une érosion sévère à ravines profondes. On retrouve toutefois deux principales unités géomorphologiques particulières :

- La sebkha de Benziane qui est une dépression naturelle (cuvette elliptique de 5 km de long sur près de 3 km de large, bordée au nord de falaise d'environ 15m) cavée dans la région de Benziane au Nord de la ville de Oued El Djemaa.
- La Gaa : C'est une dépression fermée, couverte par des formations récentes très argileuses, elle se trouve dans la rive droite de l'oued Mina. On y retrouve des petits cours d'eau qui constituent des artères permettant une circulation d'eau vers le centre de la dépression où les eaux stagnent sur pratiquement toute l'année provoquant dans ceci une hydromorphie et une salinisation importantes des sols (Douaoui, 2005).

## **II.6. Ecologie et Phytogéographie**

D'après le découpage phytogéographique de Barry et al (1974), La région du Bas-Cheliff appartient à l'empire holarctique, à la région méditerranéenne, sous région eu-méditerranéenne, domaine maghrébin méditerranéen, secteur oranais et au sous-secteur des plaines littorales.

La plus grande partie de la vallée du Bas- Chélif est cultivée, et caractérisée par un système de champs ouverts avec des brise-vents de conifères (Tamarix, Casuarina ...etc.) et d'eucalyptus. Les cultures principales dans l'aire d'étude sont les céréales, les cultures maraîchères (notamment les artichauts), l'arboriculture (les oliviers et les agrumes), et les cultures fourragères. La plupart des pentes faibles sont cultivées (McDonald et BNEDER, 1990 ; Douaoui, 2005)

En été, certains types de sols, tels que ceux de la Gaa sont totalement dépourvus de végétation. L'espèce halophyte la plus abondante est *Suaeda fructuosa* qui peut se développer sur des sols très salés. *Salicornia fructuosa* est aussi abondante dans les sols très salés des bas fonds. D'autres espèces plus ou moins résistantes à la salinité sont aussi fréquentes, telles que : *Salsola vermiculata*, *Avena sterilis*, *Cynodon dactylon*, *Beta maritima*, *Calendula arvensis*, *Phalaris paradoxa*, *Atriplex halimus* ..etc (Douaoui, 2005).



La région souffre beaucoup d'une érosion du sol, surtout là où la végétation a été dénudée ; il n'y a pas de grande couverture de sol permanente et la région ne peut donc supporter une flore et une faune abondantes.

Plusieurs espèces d'oiseaux se trouvent dans les zones agricoles et sur les contreforts à proximité de la vallée du Bas-Chélif. Des espèces intéressantes se trouvent sur les bords de route et dans les champs ; parmi eux, le Cochevis huppé, la Bergeronnette d'yarrell, le Traquet motteux, la Chouette chevêche. Les espèces telles que l'Aigrette garzette se trouvent dans les champs récemment irrigués et quelquefois au bord des oueds. Une plus grande diversité d'espèces se trouve dans les collines et montagnes, où la topographie et la végétation sont plus variées (Mokhtari, 2009).

## **II.7. La topographie de la plaine**

La topographie du Bas-Cheliff est relativement plate avec des pentes qui sont quasi nulles d'où le mauvais drainage au niveau de cette région. Cette plaine est comprise entre deux massifs montagneux : le Dahra et l'Ouarsenis.

Prenant son origine au niveau de la rupture de pente entre le moyen et le Bas-Cheliff, à proximité de Merdjet Sidi Abed, la plaine commence à s'étendre de part et d'autre du lit de Oued Cheliff en faisant jonction avec Oued Rhiou et Oued Djidiouia sur la rive gauche et avec les nombreux Oueds venant du Dahra, sur sa rive droite jusqu'à atteindre les apports de Oued Mina. Sur la partie gauche du Cheliff, s'étend la plaine jusqu'à ce qu'elle atteigne le bourrelet formé autour du Sebkhât où la pente du terrain augmente progressivement. Au milieu de la plaine, la pente du terrain est modérée et augmente progressivement jusqu'aux villes situées aux piémonts de Ouarsenis, de même pour la rive droite (Mokhtari, 2009).

## **II.8. Ressources en eau**

La plaine du Bas-Chélif comporte des potentialités importantes en eau, malheureusement l'absence d'une politique d'aménagement et de gestion rationnelle fait que la plaine n'en profite pas (Douaoui, 2005).

### **II.8.1 Ressources en eau superficielle**

Les deux principales ressources en eau sont constituées par deux retenues :

- Le barrage de Gargar sur l'oued Rhiou : d'une capacité théorique de 450 Hm<sup>3</sup>, il est l'un des plus grands barrages d'Algérie ;

- La retenue de la Merdjjet Sidi Abed, un réservoir hors cours d'eau d'une capacité de 50 Hm<sup>3</sup>, elle remplie en hiver essentiellement par dérivation des eaux de l'oued Chlef, ainsi elle était dévasée en 2005.

En plus, le Bas-Chélif pourrait aussi être alimenté à partir des autres ressources en eau superficielles du bassin du Chélif, telles que les eaux non conventionnelles excédentaires du Chélif.

La qualité de l'eau des cours d'eau dans le bassin de Chélif est aussi à discuter. Elle est en général plutôt médiocre. La salinité de l'eau dans l'oued Rhiou varie entre 0,5 g / l environ pour les débits les plus forts et 2 g / l pour les débits d'étiage.

### **II.8.2. Les ressources en eaux souterraines**

Les principaux aquifères du Bas-Chélif sont :

- Le Miocène calcaire : affleure le long de la limite sud de la plaine. Les descriptions lithologiques ont montré l'existence de zones de fracture productives entre 37 et 60 m de profondeur ;
- Le Pliocène marin : c'est une suite d'argiles et de marnes avec des couches minces de grès qui affleurent au nord de la plaine. On le retrouve dans la région de Ouarizane à plus de 55 m de profondeur et dans la région de Sebkhet Benziane à plus de 400 m de profondeur ;
- Le Quaternaire-Pliocène continental : il est constitué de sédiments à base d'argile, de marnes et des lits de sable, de graviers et de conglomérats. La profondeur de ces forages est très variable selon les régions où elle peut aller jusqu'à 300 m alors que la moyenne est de 70 m. (Douaoui, 2005).

### **II.9. Périmètres irrigués**

La région du Bas-Chélif comporte plusieurs périmètres où l'irrigation est fréquente, dont les plus importants sont : le périmètre de Oued Rhiou, le périmètre de Ouarizane, le périmètre de Djédouia, le périmètre Hmadna et le périmètre de Guerouaou (fig. 14).

L'utilisation des eaux souterraines dans l'irrigation n'a pas été sans conséquences sur la dégradation de la qualité des sols de la plaine du Bas-Chélif. Cette dégradation qui se manifeste par une augmentation de la salinisation ou une sodisation ne s'est pas faite de la même façon dans les périmètres irrigués. C'est justement le périmètre de Hmadna dont l'eau d'irrigation est la plus mauvaise qui montre les sols les plus dégradés (Douaoui et Hartani, 2007).

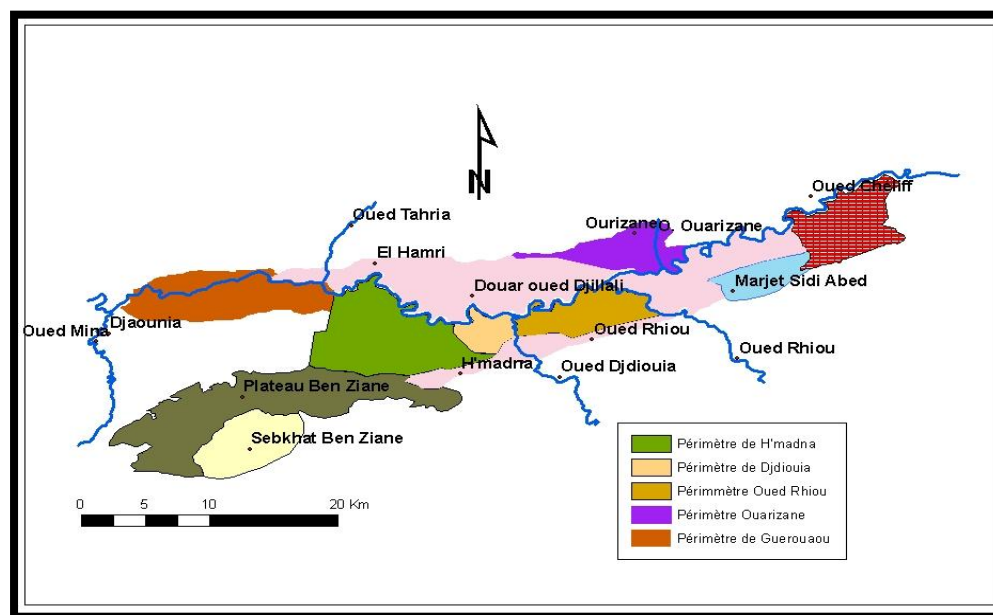


Figure 14 : Principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif. (Bradai et al, 2008)

## II.10. La salinisation des sols du Bas – Chélif

La salinisation des sols du Bas – Chélif est comme pour la plupart des sols du nord d'Afrique un problème d'origine primaire surtout par les formations salifères du Trias et Miocène sont le matériel originel des alluvions qui ont touché la plaine apportés de l'Ouarsenis à travers les efflorescences de l'Oued Cheliff (Douaoui et al, 2006).

L'installation des réseaux d'irrigation le long de la plaine a participé dans la propagation de ce phénomène donnant naissance à la salinisation secondaire qui par la remontée des sels en surface surtout pendant les grandes crues (Douaoui et al, 2007) a augmenté la variabilité spatiale et temporelle de salinité le long de la plaine dont une évolution importante de 35 % à partir des années cinquante à plus de 75% pendant les années quatre-vingts, cette salinisation est la cause majeure de la dégradation des sols de la plaine et agit principalement sur les propriétés physico – chimique par des sels comme : le sodium, magnésium qui favorisent les échange avec les constituants du sol par conséquent l'apparition progressive de la salinité comme propriété liée aux sols de la plaine (Douaoui, 2005 ; Saidi et al., 2004 ; Douaoui et al., 2004 ;).

La salinisation des sols dans le Bas-Cheliff qui s'est accélérée ces deux dernières décennies suite au recours accru à l'irrigation est incontestablement le plus grave problème qui touche cette plaine (Douaoui et al., 2007).

Cette salinisation qui ne cesse de s'étendre spatialement et d'augmenter temporellement (Douaoui et *al.* 2006) provoque une détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols dont les conséquences sont d'ordres agricole et éco-environnemental (Daoud et *al.*, 1993 ; Douaoui et *al.*, 2004 ; Saidi, 2005).

# *CHAPITRE III*

*Matériels et Méthodes.*

### III. Matériel et méthodes

La démarche méthodologique s'est basée sur les axes de travail fixé de le début et qui se révèlent dans deux principaux objectifs :

- Caractérisation et cartographie des différents états de surface et de la salinité
- Etudier les relations entre la salinité d'une part et les données de télédétection et les paramètres du MNT d'autre part.

#### III.1. Les données utilisées

Pour atteindre les objectifs de ce travail, on a utilisé 4 types des données : les données topographiques, les données cartographiques, les données satellitaires et les données de terrain.

##### III.1.1. Les données topographiques

Ce sont des cartes topographiques à 1/50000 d'échelle (fig.15), numérisées (Chlef ouest, Ammi Moussa est, Oued Rhiou est, Oued Rhiou ouest, Mazouna est, et Relizane ouest)

		Mazouna Est	Chlef Ouest
	Oued Rhiou Ouest	Oued Rhiou Est	Ammi Moussa Est
Relizane Ouest	Relizane Est		

Figure 15 : Assemblage des cartes topographiques.

##### III.1.2. Les données cartographiques

On a utilisé la carte des sols de la plaine (Boulaine, 1957 ; Mc Donald et BNEDER, 1990), les cartes issues de la classification des images satellitaires ; ASTER et SPOT (Douaoui, 2005 ; Douaoui *et al.*, 2006, Mokhtari, 2009).

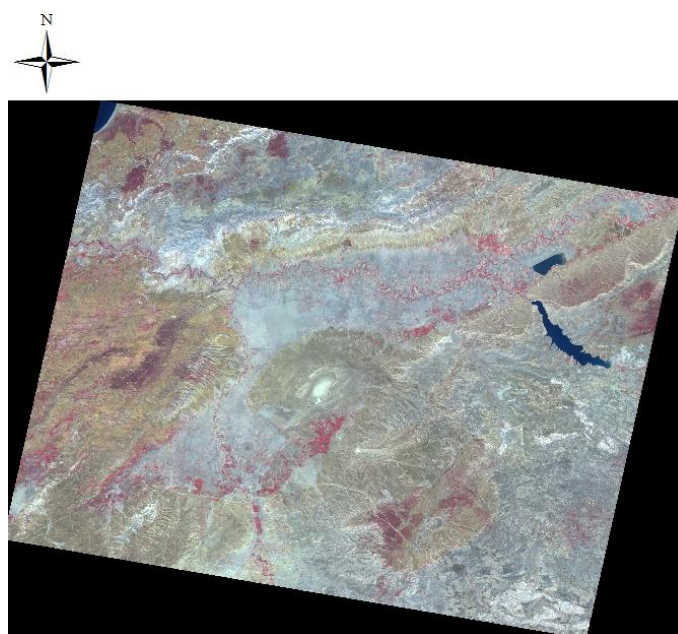
##### III.1.3. Les données des images satellitaires

Dans cette étude, nous nous sommes basés sur des images satellitaires multi-spectrales prises en deux dates différentes de type SPOT ; une image prise en été (juillet, 2000) et l'autre en hiver (février, 2001).

Pour la visualisation des deux images (fig. 16 et 17), on a attribué une fausse coloration (R : rouge V : verte B : bleu) aux bandes des images à fin de mieux visualiser les trois objets de surface (Sols, végétation et eau), cette coloration repose sur :

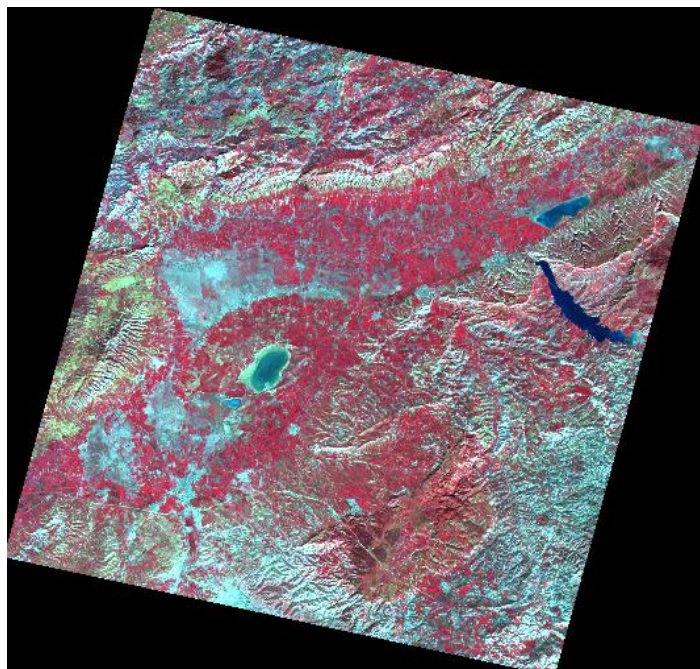
- R      —————> B3 (PIR)  
V      —————> B2 (Rouge)  
B      —————> B1 (Verte)

L'image Spot 2000 prise en juillet 2000 montre un très faible couvert végétal dans la plaine du Bas-Chélif localisé uniquement dans les périmètres irrigués où se trouvent les cultures d'été et l'arboriculture conduite sous irrigation (fig. 16).



**Figure 16. L'image brute de SPOT2000**

L'image Spot prise en février 2001 (fig. 17) montre une couverture végétale quasi complète s'étalant sur toute la plaine du Bas-Chélif excepté dans la zone de la Gaa où règne à la fois une salinité élevée combinée à une hydromorphie durant cette période pluvieuse inhibant ainsi le développement de toute végétation y compris la végétation halophyte (Yahiaoui, 2011).



**Figure 17. L'image brute de SPOT2001**

Chacune de ces image, a une résolution spatiale de 20m et comprend trois bandes multispectrales dont:

- deux bandes dans les visible : la bande B1 (le vert) et la bande B2 (le rouge).
- une bande dans l'infrarouge : la bande B3 (proche infrarouge).

#### **III.1.4. les données de terrain**

Dans ce travail on a utilisé les données de la conductivité électrique de la pâte saturée mesurée au laboratoire de l'Université de Hassiba Benbouali (UHB/Chlef) sur 225 échantillons prélevés de la couche superficielle (0 à 20cm) au cours de l'été 2000. (Douaoui, 2005).

### **III.2. Traitement des images satellitaires**

Dans cette étape nous avons effectué les mêmes traitements sur les deux images satellitaires (SPOT2000, SPOT2001) afin de pouvoir faire une comparaison entre les résultats de chaque image selon les phases suivantes :

#### **III.2.1. Classification des images satellitaires**

Pour la classification des images satellitaires, on a utilisé trois différents types de classification :

##### **III.2.1.1. classification non supervisée**

L'algorithme de cette classification porté par ERDAS imagine 8.6 est la technique d'auto-organisation itérative d'analyse de données (ISODATA). L'algorithme d'ISODATA a été mis en application avec les paramètres suivants :



- Nous avons indiqué dix classes thématiques de sortie (output) pour l'image SPOT2000 et onze classes pour l'image SPOT2001 ;
- On a choisi un seuil de convergence par défaut de 0.950. (95 % des pixels ne changent pas des classes) ;
- Nous avons fixé un maximum de 20 itérations.

L'algorithme d'ISODATA assigne les Pixel aux classes, il se base sur la distance spectrale minimum par rapport au centre de la surface de la classe. Le centre de la surface de classe est recalculé après chaque affectation de classification avec la portion de seuil de convergence comme mesure d'accomplissement de classification. Ce seuil représente la proportion de pixel qui ne change pas des classes d'une itération à une autre. L'algorithme d'ISODATA fonctionne itérativement jusqu'à ce que 95% des Pixel ne changent pas des classes ou jusqu'à ce que le nombre maximum des itérations est accompli.

On a obtenu 10 classes pour l'image SPOT2000 et 11 classe pour l'image SPOT2001, avec un seuil de convergence 0.950 après 8 itérations.

### III.2.1.2. classification supervisé

En se basant sur nos connaissances préalables du terrain de la zone d'étude, nous avons adopté une classification supervisée pour les deux images.

Après la détermination des aires d'entraînement (Area Of Interest) les plus représentatives, on a utilisé l'algorithme de "Maximum des vraisemblances". L'évaluation de la pertinence de cette classification, se fait directement avec le logiciel ERDAS imagine 8.6 par la matrice de confusion, à partir de la quelle nous avons calculé le coefficient kappa.

### III.2.1.3. Classification par l'utilisation de *Transformed Divergence* (TD)

On applique la technique de TD avec le logiciel ERDAS imagine 8.6 pour classer les deux images. Le TD est calculé comme suit :

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr} ((C_i - C_j) (C_i^{-1} - C_j^{-1})) + \frac{1}{2} \text{tr} ((C_i^{-1} - C_j^{-1}) (\mu_i - \mu_j) (\mu_i - \mu_j)^T)$$

$$TD_{ij} = 2000 (1 - \exp(-\frac{D_{ij}}{8}))$$

Où  $i$  et  $j$  = les deux classes de signature à comparer,  $C_i$  est la matrice de covariance de la signature  $i$ ,  $\mu_i$  est le vecteur moyen de la signature  $i$ ,  $\text{tr}$  est la fonction de trace et  $T$  est la fonction de transposition. (Mausel et al, 1990)

Nous avons utilisé la mesure de TD dans Signature Editor d'ERDAS à fin d'atteindre deux objectifs principales :

- 1) déterminer le nombre des classes du sol statistiquement et spectralement séparables qui se produisent dans la zone d'étude;
- 2) identifier la bande qui distingue mieux entre les classes distinctes du sol.

La mesure de TD de séparation de signature s'étend de 0 à 2 pour une paire de classe donnée. On a utilisé une valeur minimum de 1.4 comme seuil pour toutes les paires de classes pour déterminer les classes spectralement distinctes.

L'utilité de TD produit deux matrices ; la première matrice contient les paires de classes et la deuxième matrice contient la mesure de TD de séparation pour chaque paire associée de classes dans la première matrice. Pour chaque itération, nous avons identifié la paire de classes avec la valeur la plus basse de TD et on fusionne les deux classes indiqués dans Signature Editor d'ERDAS, puis on supprime les deux signatures originales, et on recalcule le TD. Ce processus a été effectué itérativement jusqu'à ce que toutes les paires de classe aient une valeur de TD supérieure à 1.4, indiquant que les classes du sol sont spectralement et statistiquement distinctes. (Young, 2002).

### III.2.2. Extraction des comptes numériques

Pour calculer les différents indices, analyser les corrélations et faire les différents calculs statistiques, on applique l'extraction des comptes numériques directement avec le logiciel ERDAS imagine 8.6. Le fichier ainsi exporté de type \*.asc sera transformé en utilisant le logiciel Surfer 8.0.

### III.2.3. Comparaison entre les trois types de classification

Par l'utilisation de test de différence significative minimale (test-z), nous avons procédé à une comparaison entre les 3 classifications (supervisée, non supervisée et TD) en se basant sur les deux bandes caractérisant les états de surface à savoir, le rouge (B2) et le proche infrarouge (B3).

L'outil d'analyse Test de la différence significative minimale effectue un z-test sur les moyennes de deux échantillons dont les variances sont connues. Il permet de tester l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différences entre les moyennes de deux populations contre l'hypothèse contraire.

Il s'agit de calculer une valeur numérique  $Z_0$  prenant en compte la différence des moyennes entre les deux échantillons et les pondérant avec les variances observées et le nombre de sujets. Cette valeur s'écrit :

$$Z_0 = \frac{m_{v1} - m_{v2}}{\sqrt{\frac{S_{v1}^2}{n_{v1}^2} + \frac{S_{v2}^2}{n_{v2}^2}}}$$

$m_{v1}$  : la moyenne de l'échantillon 1

$m_{v2}$  : la moyenne de l'échantillon 2

$S_{v1}$  : la variance de l'échantillon 1

$S_{v2}$  : la variance de l'échantillon 2

$n_{v1}$  : le nombre d'individu de l'échantillon 1

$n_{v2}$  : le nombre d'individu de l'échantillon 2

Le principe de se teste se base sur :

- Si la valeur de  $Z_0$  est inférieure à la valeur critique  $Z_\alpha$  (tabulée), on accepte l'hypothèse nul « il n'y a pas de différence entre les deux échantillon » ;
- Si la valeur  $Z_0$  supérieure à la valeur critique  $Z_\alpha$  (tabulée), on rejete l'hypothèse nul et on accepte l'hypothèse alternative « les deux échantillons sont différents ».

### III.2.4. Calcul des indices

#### III.2.4.1. Les indices de végétation

Les deux indices de végétation présentés dans ce travail exploitent essentiellement la différence de réponse spectrale de la végétation et des sols dans la bande rouge (R) qui est liée à l'absorption de lumière par la chlorophylle et la bande proche infrarouge (PIR) qui est liée à la densité de végétation verte. Les indices de végétation doivent donc être sensibles à la partie verte du couvert végétal sans pour autant être influencés par le sol. (Mokhtari, 2008). Ces deux indices de végétation sont les suivants :

- Le RVI (Ratio Vegetation Index, Pearson and Miller, 1972)

$$\mathbf{RVI = PIR/R} \quad \text{où}$$

PIR : compte numérique dans la bande proche infrarouge

R : compte numérique dans la bande rouge.

- Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, Roose *et al.*, 1974)

$$\mathbf{NDVI = (PIR-R)/(PIR+R)}.$$

PIR : compte numérique dans la bande proche infrarouge et

R : compte numérique dans la bande rouge.

#### III.2.4.2. Les indices de sol

- Le (IC), l'indice de couleur (Pouget *et al.*, 1989 in Omari, 2005) Cet indice est très sensible a la couleur du sol. Sa formule est la suivante :

$$\mathbf{IC = (R-V)/(R+V)} ;$$

- Le (IR), l'indice de rougeur (Pouget *et al.*, 1991), préconisé pour les zones méditerranéennes arides, et très sensible à la couleur du sol. (Madeira *et al.*, 1991). Dont la formule est la suivante :

$$\mathbf{IR = (R - V)/(R+V) \text{ ou } IR = R^2/V^2} ;$$

- L'indice de brillance (IB) (Manière *et al.*, 1993), traduit les 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. Cet indice n'est donc que la représentation physique de la droite des sols. Cet indice varie aussi

de manière inversement proportionnelle avec l'humidité et la rugosité du sol. Dont sa formule est la suivante :

$$IB^2 = R^2 + PIR^2 \text{ (Manière et al., 1993) ;}$$

Cet indice de brillance nommé aussi l'indice de brillance classique peut s'exprimer par la formule suivante :

$$IBc^2 = V^2 + R^2 + PIR^2 \text{ (Manière et al., 1993) ;}$$

- Indice de salinité de Khan (ISKhan), (Khan et al., 2001)

$$IS \text{ (khan)} = \text{racine}(V \times R) ;$$

- Normalized Differential Salinity Index (NDSI) (Wannakomolch, 2005),

$$NDSI = (R - PIR) / (R + PIR) ;$$

- Le (IS), l'indice de salinité (Douaoui et al., 2006) est une combinaison entre les réponses spectrales des sols et de la végétation sont fonction de la salinité dans la plaine du Bas-Chéouli (Douaoui, 2005), nous avons utilisé l'indice de salinité (IS) de Douaoui et al., 2006 ;

$$IS = \text{racine}(R^2 + V^2) ;$$

- Indice de salinité visible infra rouge (IS vir) (Douaoui et Lépinard, 2010),

$$IS \text{ vir} = 2V - (R + PIR).$$

Pour tous les indices on a :

R : Rouge ; V : Vert ; PIR : proche infrarouge.

### III.2.5. Confrontation des données de télédétection aux données de salinité

La confrontation des données a été réalisée entre les données de la salinité mesurée et celles de la télédétection sur trois étapes :

- entre la salinité et les différents indices de sol et de végétation.
- entre la salinité et les comptes numériques moyenne des classes.
- entre la salinité et les comptes numériques aux points de mesure.

### III.3. Construction du modèle numérique de terrain (MNT) et traitement des données topographique

Sur la carte topographique numérisée de la zone d'étude, on a digitalisé les courbes de niveau pour avoir un fichier numérique qui contient un nombre de points représentant l'altitude pour chaque coordonnée géographique (XYZ). Ce fichier a été complété par un autre fichier qui contient les données (XYZ) des points cotés de la zone d'étude.

A la base des données de ce fichier, on a interpolé les données acquises en utilisant le krigeage ordinaire, ce qui nous a permis d'établir le MNT de la zone d'étude.

C'est à partir de ce fichier numérique estimé par krigeage, qu'il est devenu possible de calculer et de cartographier les dérivées du MNT qui sont dans notre cas l'altitude, l'intensité de la pente et son exposition.

### **III.3.1. Confrontation des paramètres dérivés du MNT et les données de la télédétection**

Dans cette étape, on a effectué une confrontation entre les données de télédétection et les différents paramètres dérivés du MNT, elle consiste à déterminer les corrélations ente :

- Les indices issus de la télédétection et l'altitude ;
- Les indices et la pente ;
- Les indices et l'orientation de la pente

### **III.3.2. Etude des relations existantes entre la salinité et les paramètres du MNT**

Par combinaison entre les différentes bandes spectrales de l'image pour calculer des indices de salinité et les différentes dérivées du MNT, on a cherché les meilleures combinaisons qui donnent les fortes corrélations avec les données CE mesurée.

### **III.4. Logiciels utilisés**

- L'établissement du MNT, la cartographie des états de surface et de la salinité ont été faits avec le logiciel Arcgis 9.3.
- Par le logiciel ERDAS 8.6. imagine, on a effectué les traitements des images satellitaires (choix de la meilleure trichromie, les différents types de classification, le choix des zones d'entraînement pour la classification supervisée, la pertinence de la classification supervisée, l'extraction des comptes numériques).
- La saisie, le filtrage et la codification des données des éléments de surfaces ont été faits par le Microsoft Excel.
- Quand le nombre des valeurs extraites à partir de l'image satellitaire est important, les calculs se font avec le surfer 8.

# *CHAPITRE IV*

## *Traitement des images satellites*

## IV. Traitement des images satellitaires

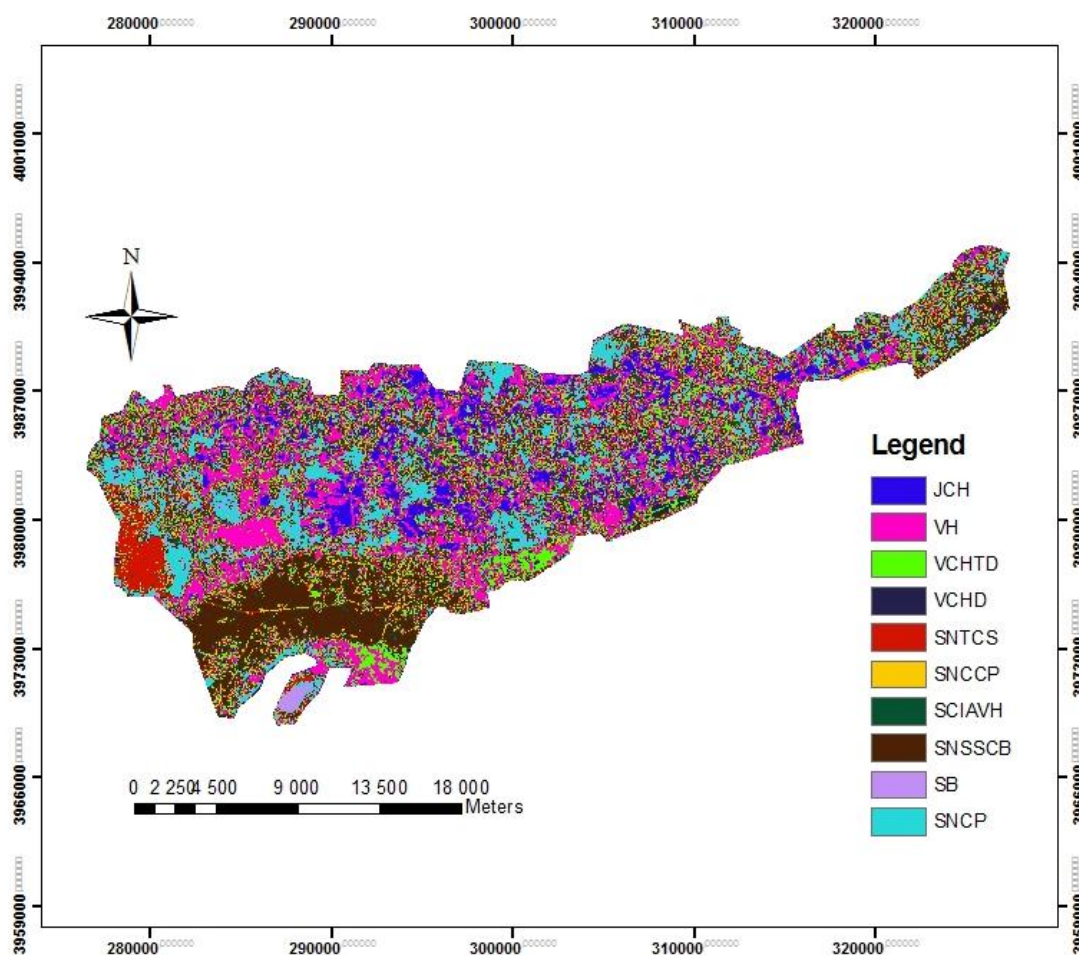
### IV.1. Détermination et identification des classes

L'analyse spectrale des deux images (SPOT2000, SPOT2001) a conduit à la possibilité de discriminer les états de surface de la plaine par la télédétection à l'aide de la cartographie des classes obtenues pour chaque image dont on a identifié les classes sur la base de la prospection du terrain et les différentes cartes établies précédemment ( Douaoui, 2005, Mokhtari, 2009, Yahiaoui, 2011).

#### IV.1.1. Image satellitaire SPOT 2000

##### IV.1.1.1. Classification supervisé

Pour cette classification, dix classes ont été proposées en tenant compte essentiellement de l'occupation du sol (densité et du type de la végétation, nature des sols nus) et de la salinité (fig.18).



**Figure 18 : Classification supervisée de l'image SPOT 2000**

*JCH* : Sols mis en jachère. *VH* : Végétation halophyte. *VCHTD* : Végétation chlorophyllienne, très dense. *VCHD* : Végétation chlorophyllienne, dense. *SNTCS* : Sols nus très claire salés. *SNCCP* : Sols nus céréaliers claire de la plaine. *SCIAVH* : Sols cultivés irrigué à dominance d'artichaut et végétation halophyte. *SNSSCB* : Sols non salés sombre cultivés de Benziane. *SB* : Sebkat Beziane. *SNCP* : Sol nu cultivé de la plaine.

Les classes sont définies comme suit :

1. **Jachère (JCH)** : ce sont des sols caractérisés par une forte salinité ce qui empêche de les cultiver régulièrement.
2. **Végétation Halophytes (VH)** : cette classe représente l'ensemble des espèces naturelles qui occupent pratiquement une grande superficie au niveau de la plaine.
3. **Végétation chlorophylliennes très dense (VCHTD)** : cette classe se concentre dans les terrains irrigués dans la plaine ou on trouve une dominance des agrumes.
4. **Végétation chlorophyllienne dense (VCHD)** : occupe particulièrement les surfaces irriguées de Ouarizane, Djediouia et oued Rhio et composé essentiellement de l'arboriculture.
5. **Sols Nus Très claire salés (SNTCS)** : ils ont une salinité extrêmes élevée puisqu'ils se situent à la périphérie de la dépression d'el Gaa ceci ne permet pas leur exploitation agricole.
6. **Sols nus céréales claire de la plaine (SNCCP)** : se retrouve dans le plateau de Benziane et se comporte différemment des classes mentionnés précédemment.
7. **Sols cultivés irrigués à dominance d'artichaut et végétation halophyte(SCIAVH)** : sont principalement les sols cultivés de l'artichaut accompagné des superficies des espèces halophytes.
8. **Sols non salés sombre cultivé de Benziane (SNSSCB)** : l'absence de la salinité dans ces sols favorise les céréalières cultures au niveau du plateau de benziane.
9. **Sols nus cultivés de la plaine (SNCB)** : sont distribués sur toute la plaine, ce sont des sols nus cultivés.
10. **Sebkhat Benziane** : cette classe présente de croûte de sel en été montre un comportement spectral d'une forme convexe, avec des valeurs de comptes numériques élevées.

#### IV.1.1.2. Classification non supervisée

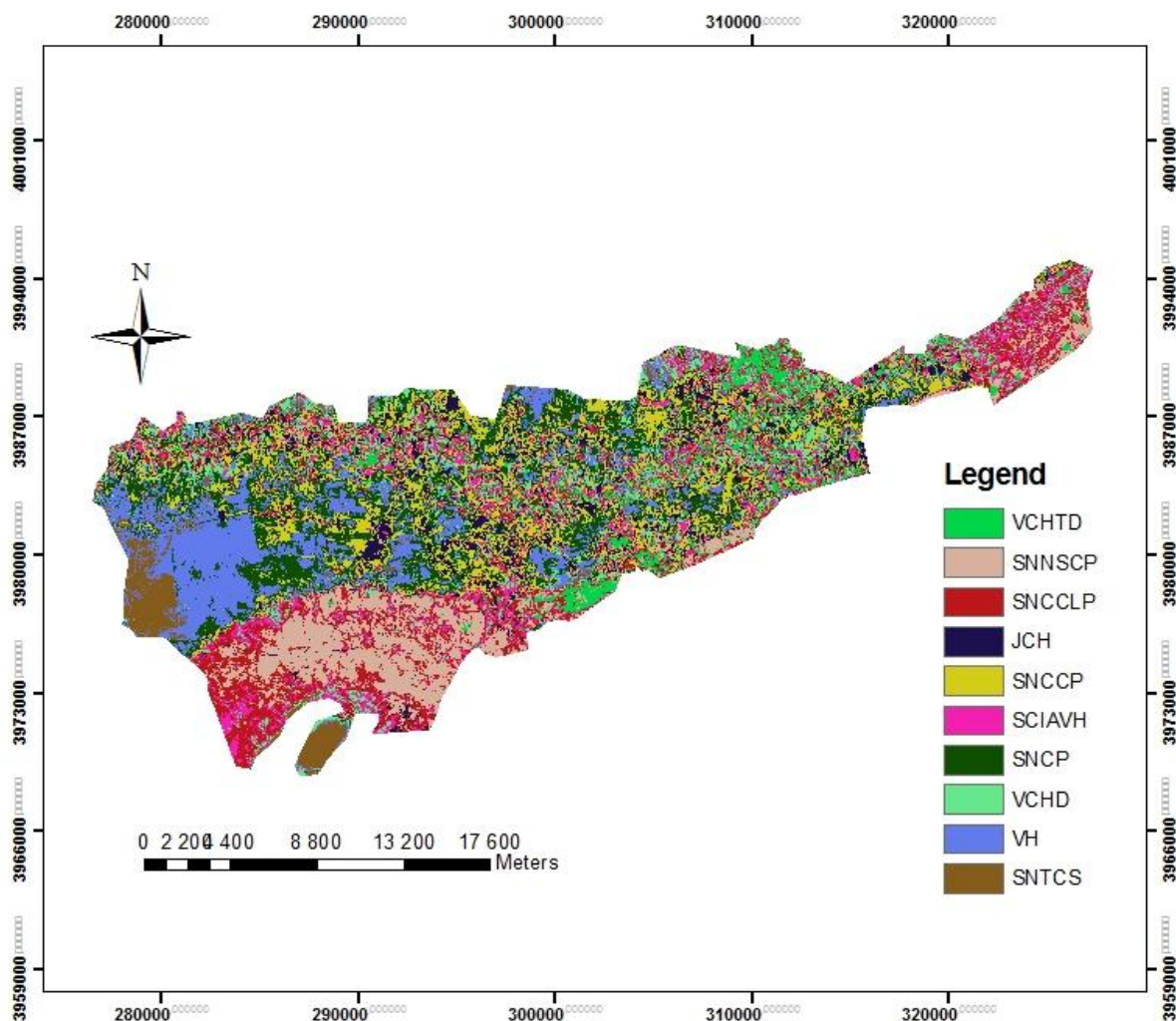
La meilleure classification non supervisée obtenue comporte dix classes. Dans cette classification (fig.19) la répartition de classes obtenues ressemble à celle de la classification supervisée au niveau des classes suivantes :

1. VCHTD; 2. JCH; 3. SCIAVH; 4. SNCCP; 5. SNCP; 6. VH ; 7. VCHD ;
8. SNTCS.

La différence réside dans 02 principales classes qui sont :

9. **Sols nus non salés sombres cultivés de la plaine (SNNSSCP)** : ils occupent la totalité des superficies du plateau de Benziane et quelques périphéries des sols de plaine. Ils sont essentiellement cultivés par de la céréaliculture.
10. **Sols nus cultivés clairs de la plaine (SNCCLP)** : se concentrent pratiquement dans les sols périphériques de la Gaâ et quelques superficies dans le périmètre de Hmadna.





**Figure 19 : Classification non supervisée de l'image SPOT 2000.**

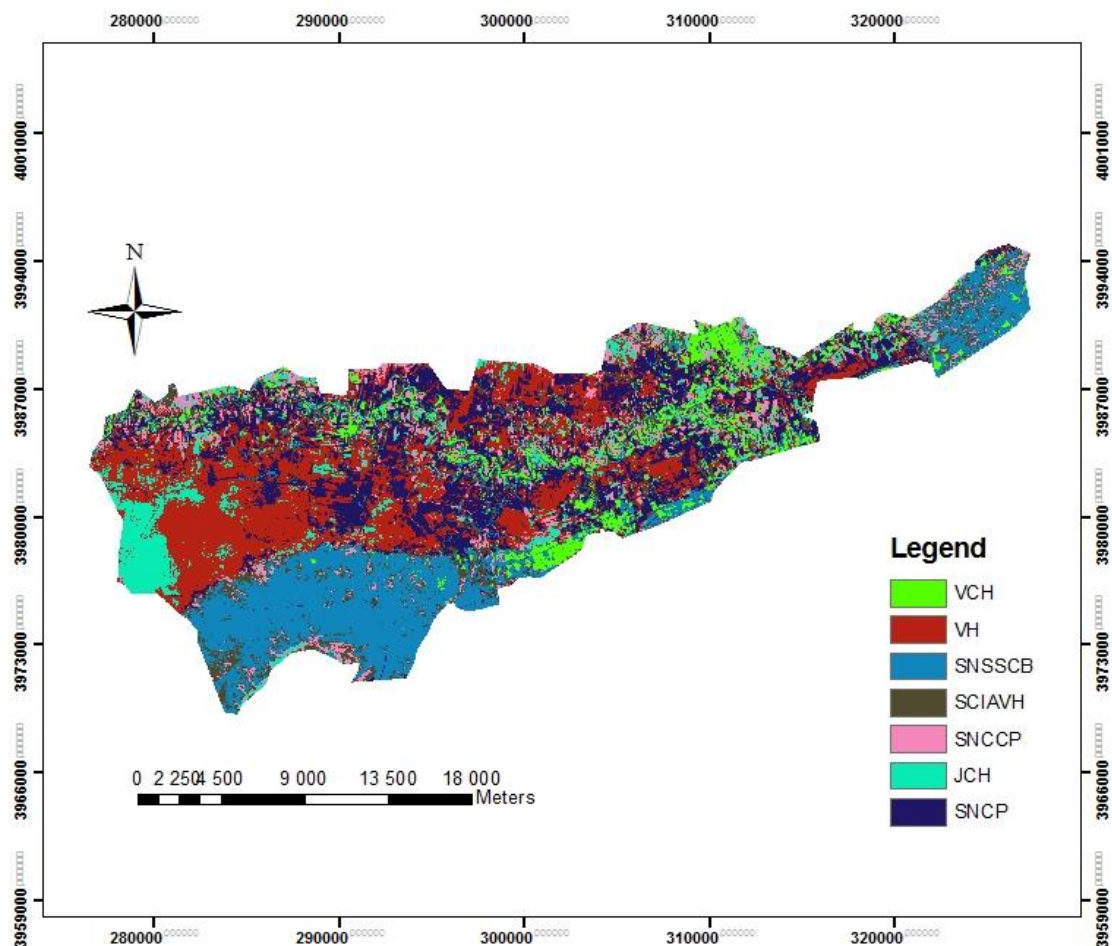
*VCHTD : Végétation chlorophyllienne, très dense. SNNSCP : Sols nus non salés sombre cultivé de la plaine. SNCCLP : Sol nus cultivés claire de la plaine. JCH : Sols mis en jachère. SNCCP : Sols nus céréaliers claire de la plaine. SCIAVH : Sols cultivés irrigué à dominance d'artichaut et végétation halophyte. SNCP : Sol nu cultivé de la plaine. VCHD : Végétation chlorophyllienne, dense. VH : Végétation halophyte. SNTCS : Sols nus très claire salés.*

#### **IV.1.1.3. Classification des images satellitaires par TD (TRANSFORMED DIVERGENCE)**

L'application de cette classification qui repose également sur la différence spectrale des états de surface a permis de discriminer 06 classes qui figuraient aussi dans les deux classifications précédentes (fig. 20) et qui sont comme suit :

- 1. VH ; 2. SNSCB ; 3. SCIAVH ; 4. SNCCP ; 5. SNCP ; 6. JCH.**

Une seule classe différente a été trouvée dans cette classification ; il s'agit de la classe Végétation Chlorophyllienne qui est un couplage des deux classes **VCHD** et **VCHTD**.



**Figure. 20: Classification par TD de l'image SPOT 2000.**

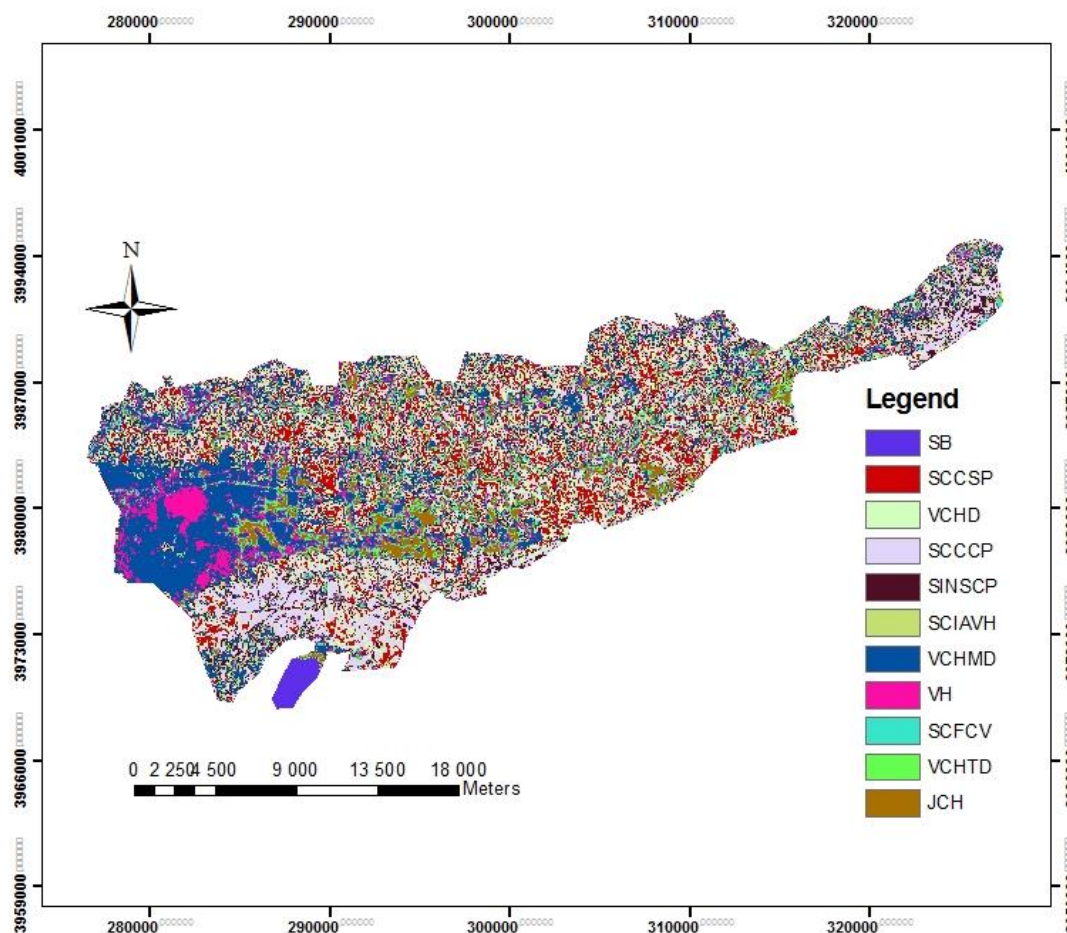
*VCH : Végétation chlorophyllienne. VH : Végétation halophyte. SNSSCB : Sols non salés sombre cultivés de Benziane. SCIAVH : Sols cultivés irrigué à dominance d'artichaut et végétation halophyte. SNCCP : Sols nus céréaliers claire de la plaine. JCH : Sols mis en jachère. SNCP : Sol nu cultivé de la plaine.*

## IV.1.2. Image SPOT 2001

### IV.1.2.1. Classification supervisée

Le nombre des classes obtenues pour cette image est de onze (11) parmi lesquelles on retrouve les mêmes classes que celles retrouvées dans l'image 2000 (fig. 21). Ces classes qui se ressemblent sont :

1. VCHD ;
2. SCIAVH ;
3. VH ;
4. VCHTD ;
5. JCH ;
6. SB ;



**Figure 21 : Classification supervisée de l'image SPOT 2001**

*SB* : Sebkhata Beziane. *SCCSP* : Sol cultivé céréaliers sombre de la plaine. *VCHD* : Végétation chlorophyllienne, dense. *SCCCP* : Sol cultivé céréaliers claire de la plaine. *SINSCP* : Sol irrigués non salés cultivé de la plaine. *SCIAVH* : Sols cultivés irrigué à dominance d'artichaut et végétation halophyte. *VCHMD* : Végétation chlorophyllienne moyennement dense. *VH* : Végétation halophyte. *SCFCV* : Sol cultivé de faible couvert végétal. *VCHTD* : Végétation chlorophyllienne, très dense. *JCH* : Sols mis en jachère.

La différence de la classification avec l'image 2000 se trouve au niveau des classes suivantes :

**7. Sols cultivés céréaliers sombres de la plaine (SCCSP)** : ils se répartissent au niveau des périmètres irrigués de la plaine essentiellement ; Ourizane, Djediouia et quelques zones de plateau Benziane.

**8. Sols cultivés céréaliers clairs de la plaine (SCCCP)** : se localisent dans les périmètres de oued Rhio, Hmadna et quelques sols à la périphérie de plateau benziane.

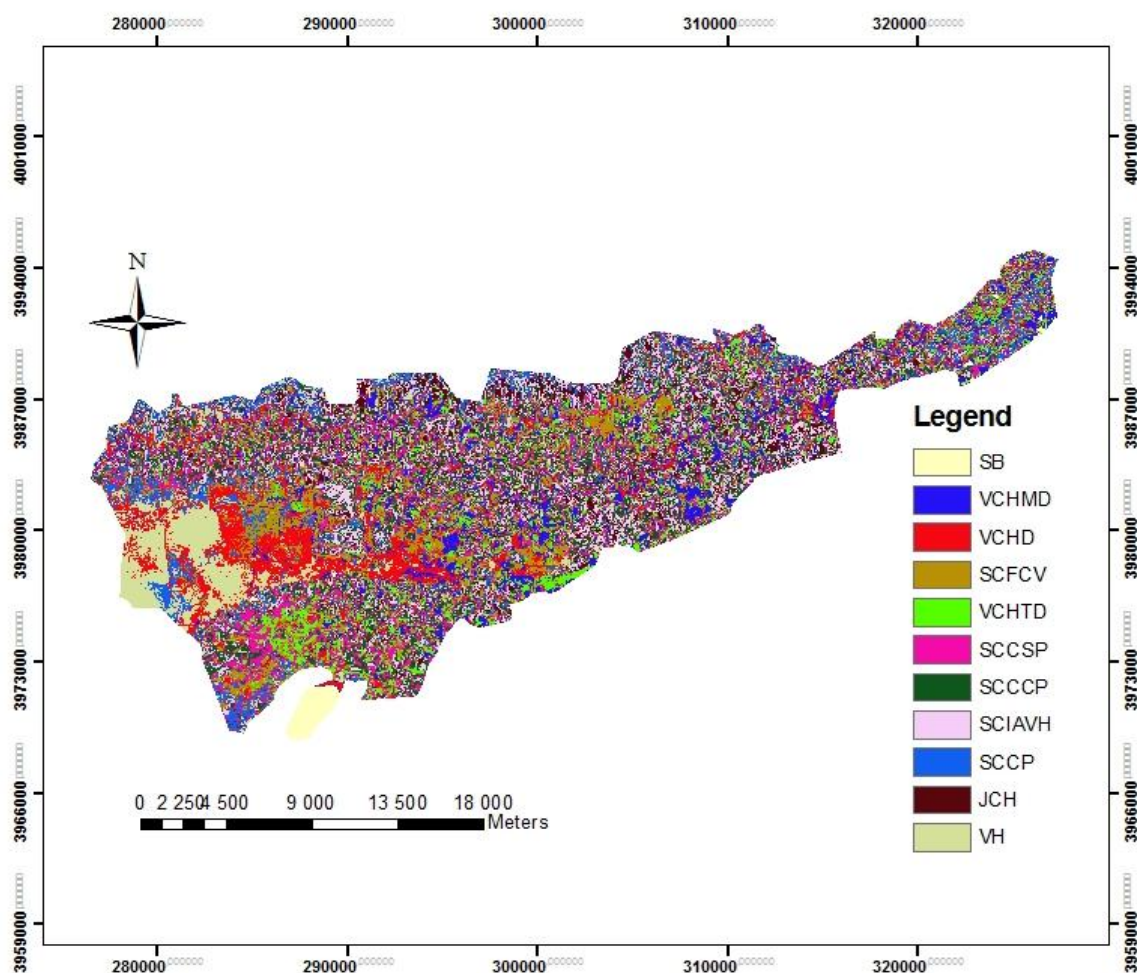
**9. Végétation chlorophyllienne moyennement dense (VCHMD)** : occupent les sols périphériques de la Gaa.

**10. Sols irrigués non salés cultivés de la plaine (SINSCP)** : existent au niveau des périmètres irrigués de Ourizane, Djediouia et Oued Rhio.

**11. Sols cultivés à faible couvert végétal (SCFCV)** : n'occupent que quelques hectares au niveau du périmètre de Ouarizane et Djediouia.

#### IV.1.2.2. Classification non supervisée

Dans cette classification les classes obtenues sont identiques à celles trouvées dans la classification supervisée. (fig. 22)



**Figure 22 : classification non supervisée de l'image 2001.**

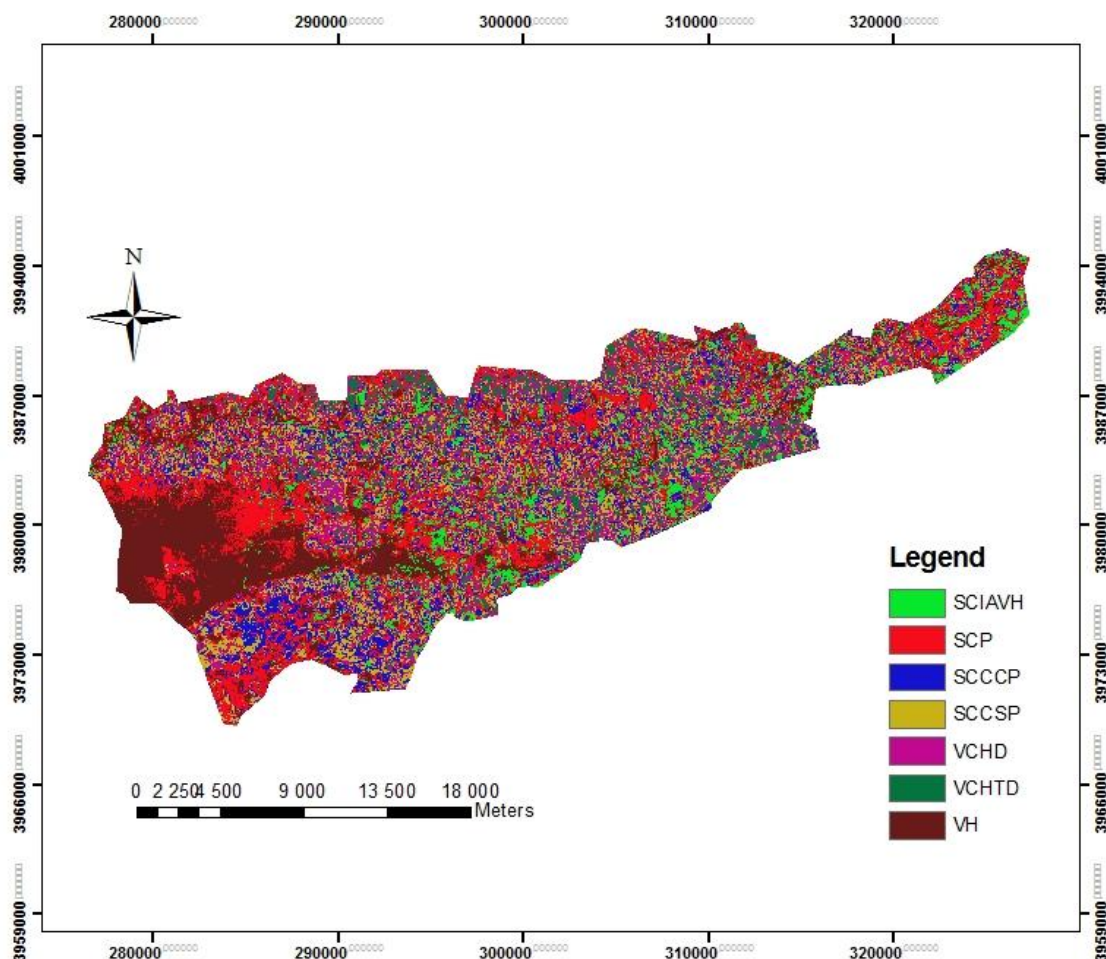
*SB : Sebkat Beziane. VCHMD : Végétation chlorophyllienne moyennement dense. VCHD : Végétation chlorophyllienne, dense. SCFCV : Sol cultivé de faible couvert végétal. VCHTD : Végétation chlorophyllienne, très dense. SCCSP : Sol cultivé céréaliers sombre de la plaine. SCCCPC : Sol cultivé céréaliers claire de la plaine. SCIAVH : Sols cultivés irrigué à dominance d'artichaut et végétation halophyte. SCCP : Sols céréaliier claire de la plaine. JCH : Sols mis en jachère. VH : Végétation halophyte.*

#### **IV.1.2.3. Classification par TD**

Pour ce type de classification et pour cette image, 07 classes ont été identifiées dont 06 se retrouvent dans la classification par la même méthode (TD) de l'image 2000 avec cependant une classe supplémentaire (fig. 23). Les classes qui se répètent ici sont :

**SCIAVH, SCCCPC, SCCSP, VCHD, VCHTD, VH.**

La nouvelle classe est définie comme faisant partie des **Sols cultivés de la plaine (SCP)** : Cette classe dont les superficies sont actuellement cultivées appartenait durant la période de la prise d'image 2000 à la classe des sols nus ; elle se localise dans les périphéries de la Gaa.



**Figure 23 : Classification par la méthode TD de l'image 2001.**

*SCIAVH : Sols cultivés irrigué à dominance d'artichaut et végétation halophyte. SCP : Sol cultivés de la plaine. SCCCP : Sol cultivé céréaliers claire de la plaine. SCCSP : Sol cultivé céréaliers sombre de la plaine. VCHD : Végétation chlorophyllienne, dense. VCHTD : Végétation chlorophyllienne, très dense. VH : Végétation halophyte.*

## IV.2 superficie des classes

On a calculé la superficie des classes établies pour chaque image classée et pour les trois types de classification utilisés.

### IV.2.1. Image SPOT 2000

#### IV.2.1.1. Classification supervisé

La répartition des superficies par classe montre une dominance des sols nus très clairs salés avec 35% d'occupation (tab.4). En deuxième position on trouve les sols nus cultivés avec 23% de couverture et son suivi par les sols en jachère qui occupent 13% de la superficie totale. La plus faible superficie revient aux sols non cultivés clairs de la plaine avec seulement 1% de la superficie totale.

**Tableau.4 : Superficie des classes issues de la classification supervisée (SPOT2000)**

Classe	superficie (Ha)	pourcentage(%)
<b>JCH</b>	7336,76	13,83
<b>SNTCS</b>	19009,2	35,84
<b>VCHTD</b>	1382,72	2,61
<b>VCHD</b>	764,56	1,44
<b>VH</b>	1608,92	3,03
<b>SNCCP</b>	653,36	1,23
<b>SCIAVH</b>	4157,88	7,84
<b>SNSSB</b>	5431,56	10,24
<b>SB</b>	180,16	0,334
<b>SNCP</b>	12511,7	23,59

#### IV.2.1.2. Classification non supervisée

Pour ce type de classification, la plus grande superficie est enregistrée pour les sols nus cultivés de la plaine avec 15% (tab.5) de couverture. On retrouve, par la suite, les sols nus clairs céréaliers de la plaine avec une superficie de 14% de la surface totale et viennent en dernière position, les sols non salés très clairs.

**Tableau. 5 : Superficie des classes de la classification non supervisée (SPOT 2000)**

classe	superficie (Ha)	pourcentage(%)
<b>VCHTD</b>	2664,88	5,02
<b>SNSCNSP</b>	5934,92	11,19
<b>SNCCLP</b>	6468,2	12,20
<b>JCH</b>	3804,44	7,17
<b>SNCCP</b>	7425,24	14,00
<b>SCIAVH</b>	5304,92	10,00
<b>SNCP</b>	8177,96	15,42
<b>VCHD</b>	4011,76	7,56
<b>VH</b>	6859,76	12,93
<b>SNSTC</b>	2384,76	4,50

#### IV.2.1.3. Classification par la méthode TD

Le tableau n° 6 montre que les superficies dominantes sont pour les trois principales classes VH (végétation halophyte), SNSSCB (sols non salés du plateau de Benziane) et SNCP (sols nus cultivés de la plaine) avec respectivement 25%, 21% et 21%. Les sols à artichaut et à végétation halophytes ne sont pas négligeables avec plus de 11%. Les trois autres classes qui restent (VCH, SNCCP, JCH) occupent des superficies équivalentes entre 7% et 8%.

**Tableau 6 : Superficie des classes de la classification TD (spot 2000)**

Classe	superficie (Ha)	pourcentage (%)
VCH	3520,16	6,71
VH	13043,2	24,88
SNSSCB	11183,9	21,33
SCIAVH	5877	11,21
SNCCP	4113,6	7,85
JCH	3821,56	7,29
SNCP	10869,8	20,73

## IV.2.2. Image SPOT 2001

### IV.2.2.1 Classification supervisée

Contrairement à l'image de l'année 2000, la plus grande superficie est occupée par la végétation. On peut en effet voir (tab. 7), pour cette image et en prenant en considération les classes dominantes, que 31% de la surface est couverte par une végétation moyennement dense, 26% est occupée par les céréalicultures qui se concentre dans les sols sombre et 23% occupe les sols céréaliers de la plaine, ce qui fait un total de 80% de sols entièrement couvert par de la végétation. Les autres classes sont également occupées par de la végétation mais avec de faibles superficies. La seule classe qui montre un très faible couvert végétal et occupe une très faible superficie se trouve sur les périphéries de la Gaâ.

**Tableau 7 : Superficie des classes issues de la classification supervisée (SPOT2001)**

Classe	superficie (Ha)	pourcentage(%)
SCCSP	14015,1	26,43
SCCCP	12363,3	23,32
VCHD	496,52	0,94
SINSCP	495,4	0,93
SCIAVH	947,8	1,79
VCHMD	16653,3	31,41
VH	934,4	1,76
SCFCV	359,8	0,68
VCHTD	468,76	0,88
JCH	5782,76	10,91
SB	506,28	0,95

### IV.2.2.2 Classification non supervisée

Les superficies des classes issues de cette classification ne montrent pas de dominances marquées entre les classes. Toutefois, les classes qui occupent les superficies les plus élevées reviennent à celles des sols à céréaliculture du plateau de Benziane, les sols sombres céréaliers de la plaine et les sols irrigués à artichaut et végétation halophyte avec en moyenne 13 à 14% (tab. 8).

**Tableau 8 : Superficie des classes issues de la classification non supervisée (SPOT2001)**

Classe	superficie (Ha)	Pourcentage (%)
<b>SB</b>	647,56	1,22
<b>VCHMD</b>	4406,36	8,31
<b>VCHD</b>	5379,72	10,15
<b>SCFCV</b>	6065,64	11,44
<b>VCHTD</b>	4749,32	8,96
<b>SCCSP</b>	7280,04	13,73
<b>SCCCP</b>	7683,76	14,49
<b>SCIAVH</b>	6427,6	12,12
<b>SCCP</b>	3978,32	7,50
<b>JCH</b>	2670,24	5,04
<b>VH</b>	3734,88	7,04

#### IV.2.2.3 Classification par la méthode TD

Cette classification montre une nette dominance de la végétation dans toute la plaine. La classe dominante avec plus de 25% est celle des sols cultivés de la plaine ; elle est suivie par une végétation halophyte dense dépassant les 17%. La végétation chlorophyllienne dense occupe 13% alors que celle qui est très dense qui présente la plus faible superficie n'occupe que près de 7% (tab.9).

**Tableau 9 : Superficie des classes issues de la classification par TD (SPOT2001)**

Classe	superficie (Ha)	Pourcentage (%)
<b>SCIAVH</b>	4465,64	8,52
<b>SCP</b>	13328,8	25,43
<b>SCCCP</b>	7321,12	13,97
<b>SCCSP</b>	7947,84	15,16
<b>VCHD</b>	6877,68	13,12
<b>VCHTD</b>	3422,08	6,53
<b>VH</b>	9047,92	17,26

### IV.3. Pertinence de classification supervisée

Pour voir la pertinence de classification supervisée des deux images (SPOT2000, SPOT2001) et à fin de valider ces classifications, nous avons établi la matrice de confusion et calculer l'indice Kappa.

#### IV.3.1. Image satellitaire SPOT2000

La matrice de confusion montre que presque la totalité des pixels ont été bien classés pour cette classification. La confusion la plus élevée est trouvée pour la classe (VCHTD) et la classe (VCHD) dont les caractéristiques sont presque identiques mais même dans ce cas, cette confusion ne concerne que moins de 7% (tab. 10).



**Tableau 10 : matrice de confusion pour les dix classes de l'image SPOT2000**

les classes	SNTCS	VCHTD	SNCCP	JCH	VH	SCIAVH	SNCP	VCHD	SNSSCB	SB	Total
SNTCS	99.54	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	436
VCHTD	0.00	93.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.68	0.00	0.00	411
SNCCP	0.23	0.00	99.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	362
JCH	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	397
VH	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	551
SCIAVH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.30	0.00	0.00	0.00	443
SNCP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.70	0.00	0.00	0.08	335
VCHD	0.23	6.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	94.32	0.08	0.00	461
SNSSCB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.92	0.00	1229
SB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.87	2354
Total	437	412	362	397	550	442	334	458	1230	2357	6979

Les erreurs associées à la matrice de confusion expriment la précision pour le réalisateur et la précision pour l'utilisateur (tab.11). On remarque que la précision dont les valeurs sont toutes supérieures à 93% est très élevée et ce pour le réalisateur et pour l'utilisateur, ce qui donne un risque d'erreur très faible dans les deux cas.

**Tableau 11 : qualité de précision des classes de l'image SPOT2000**

les classes	Précision pour le réalisateur (%)	Erreur d'excédents (%)	Précision pour l'utilisateur (%)	Erreur de déficits (%)
SNTCS	99,54	1,00	99,77	0,23
VCHTD	93,45	1,00	93,68	6,32
SNCCP	99,72	1	99,72	0,28
JCH	100	1	100	0
VH	100	0,99	99,82	0,18
SCIAVH	100	0,99	99,77	0,22
SNCP	99,7	0,99	99,4	0,59
VCHD	94,32	0,99	93,71	6,29
SNSSCB	99,92	1,00	100,0013	-0,0013
SB	99,88	1,00	100,0072	-0,0072

La valeur du coefficient Kaapa estimé pour la classification supervisée de cette image est de 98.58 %, ce qui représente une valeur nettement plus élevée que la valeur critique acceptable de 75% (Girard *et al*, 1999).

### IV.3.2. Image satellitaire SPOT2001

Comme pour l'image SPOT2000, la matrice de confusion montre que la quasi-totalité des pixels sont bien classés avec des pourcentages avoisinant les 100% (tab. 12).

**Tableau 12 : matrice de confusion pour les dix classes de l'image SPOT2001**

les classes	VCHD	SCCCP	SINSCP	SCIAVH	SCCSP	VCHTD	SCFCV	VH	VCHMD	JCH	SB	Total
VCHD	99,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	494
SCCCP	0,2	95,98	0	0	3,45	0	0,38	0	0	0,38	0	373
SINSCP	0	0	100	0	0	0	0,38	0	0	0	0	471
SCIAVH	0	0	0	99,79	0	0	0	0	0	0	0	474
SCCSP	0	3,75	0	0,21	96,55	0	0	0	0	0	0	351
VCHTD	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	328
SCFCV	0	0	0	0	0	0	99,24	0	0	0	0	261
VH	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	301
VCHMD	0	0,27	0	0	0	0	0	0	100	0	0	702
JCH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,62	0	264
SB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	8510
Total	495	373	470	475	348	328	263	301	701	265	8510	12529

De la même manière que pour l'image Spot 2000, on remarque que les précisions pour les réalisateurs et les utilisateurs sont très élevées avec des risques de se tromper très faibles (tab. 13).

**Tableau 13 : qualité de précision des classes de l'image SPOT2001**

Les classes	précision pour le réalisateur	Erreur d'excédents (%)	précision pour l'utilisateur (%)	Erreur déficits (%)
VCHD	99,8	1,002	100,002	-0,002
SCCCP	95,98	1	95,98	4,02
SINSCP	100	0,99	99,78	0,21
SCIAVH	99,79	1,002	100,00	-0,0005
SCCSP	96,55	0,99	95,72	4,27
VCHTD	100	1	100	0
SCFCV	99,24	1,007	100,00	-0,0004
VH	100	1	100	0
VCHMD	100	0,99	99,85	0,14
JCH	99,62	1,003	99,99	0,0026
SB	100	1	100	0

La valeur du coefficient Kaapa estimé pour la classification supervisée de cette image (SPOT2001) est de 99.21 %, ce qui montre la pertinence de cette classification. Et sa validation par conséquence.

#### IV.4. Comparaison statistique entre les trois classifications

Cette comparaison entre les différentes méthodes de classifications appliquées aux deux images satellitaires repose sur la validation statistique autre que celle proposée par les logiciels de télédétections telles que la matrice de confusion et le coefficient de Kappa. Cette validation est une analyse statistique basée sur l'application du test de la différence significative minimale (test-z) qui donne une signification à la différence minimale qui existe entre deux populations approximativement différentes.

On a appliqué ce test sur les différentes classes issues des trois classifications (supervisée, non supervisée, TD) pour mesurer l'apport individuel des deux bandes rouges (b2) proche infrarouge (b3) qui sont les deux bandes les plus utilisés dans la détermination des

différents indices de brillance et de végétation comme ils sont également les plus utilisés dans la discrimination entre les états de surface (Girard et Girard, 1999 ; Douaoui , 2005).

#### IV.4.1. Image Spot 2000

##### IV.4.1.1. Classification supervisée

- 1 exprime que les deux classes sont différentes
- 0 exprime que les deux classes se ressemblent.

L'application du test sur les classes obtenues à partir des deux bandes rouge et Proche infrarouge montre un nombre de 20 paires de classe pour la bande B2 et 31 pour la bande B3 qui est effectivement différentes sur un total de 45 paires (tab. 14), ce qui donne des pourcentages respectifs de 44 % et 69 %. Il en ressort que la bande dans le proche infrarouge est celle qui discrimine mieux dans ce cas en concordance avec ce qui existe en bibliographie (Soudani, 2005).

**Tableau 14 : Résultat du test-z pour la classification supervisée de l'image Spot 2000**

B2										
	SNCCP	VH	VCHD	SCIAVH	SNTCHS	VCHTD	JCH	SCBNS	SB	SNCP
SNCCP		0	0	0	1	0	0	0	1	0
VH			1	1	0	1	0	0	0	0
VCHD				1	1	0	1	1	1	1
SCIAVH					1	0	1	1	1	1
SNTCHS						0	0	0	1	0
VCHTD							0	1	0	0
JCH								0	1	0
SCBNS									0	0
SB										1
SNCP										
B3										
	SNCCP	VH	VCHD	SCIAVH	SNTCHS	VCHTD	JCH	SCBNS	SB	SNCP
SNCCP		1	0	0	1	1	1	0	1	1
VH			1	1	0	1	0	1	1	0
VCHD				0	1	1	1	0	1	1
SCIAVH					1	1	1	0	1	1
SNTCHS						1	0	0	1	1
VCHTD							1	1	1	1
JCH								0	1	0
SCBNS									1	0
SB										1
SNCP										

##### IV.4.1.2. Classification non supervisée

Dans cette classification, l'application du test (tab.15) a montré une légère augmentation dans la différences entre les paires de classes en passant de 20 à 24 paires et une très légère diminution dans la bande 3 en passant de 31 à 30 paires avec une plus grande différence pour la bande 3. Les pourcentages sont pour les bandes 2 et 3 respectivement de 53% et 67%.

**Tableau 15 : résultat du test-z pour la classification non supervisé de l'image Spot 2000**

B2										
	JCH	SNSTC	SNCNSP	SNSNSP	SCIAVH	SNCCP	SNCP	VCHD	VCHTD	VH
JCH	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
SNSTC		0	0	0	1	0	0	1	1	1
SNCNSP			0	0	1	0	0	1	1	1
SNSNSP				0	1	0	0	1	0	1
SCIAVH					0	0	0	1	1	1
SNCCP						0	0	1	0	1
SNCP							0	1	0	1
VCHD								0	0	1
VCHTD									0	1
VH										0
B3										
	JCH	SNSTC	SNCNSP	SNSNSP	SCIAVH	SNCCP	SNCP	VCHD	VCHTD	VH
JCH	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
SNSTC		0	0	0	1	0	0	1	1	1
SNCNSP			0	0	1	0	0	1	1	1
SNSNSP				0	1	0	1	1	1	1
SCIAVH					0	0	0	1	1	0
SNCCP						0	0	1	1	1
SNCP							0	1	1	1
VCHD								0	1	1
VCHTD									0	1
VH										0

#### IV.4.1.3. Classification par TD

Cette classification fait apparaître un nombre de paires de classes différentes égal à 15 sur 21 paires au total pour la bande rouge (b2) avec 71% et 18 paires de classes différentes pour la bande proche infrarouge (b3) avec 86%. C'est encore la bande 3 qui discrimine mieux entre les classes (tab.16).

**Tableau 16 : résultat du test-z pour la classification par TD de l'image Spot 2000**

B2							
	VCH	VH	SNSSBZ	SCIAVH	SNCCP	JCH	SNCP
VCH		1	1	1	1	1	1
VH			1	0	0	1	0
SNSSBZ				1	1	1	0
SCIAVH					0	1	1
SNCCP						1	0
JCH							1
SNCP							
B3							
	VCH	VH	SNSSBZ	SCIAVH	SNCCP	JCH	SNCP
VCH		1	1	1	1	1	1
VH			1	1	1	0	1
SNSSBZ				1	1	0	0
SCIAVH					1	1	1
SNCCP						1	1
JCH							1
SNCP							

## IV.4.2. Image spot 2001

### IV.4.2.1 Classification supervisée.

Pour cette image, la classification supervisée a abouti à un nombre de différence entre les paires de classes égal à 30/55 pour la bande rouge et de 31/55 pour la bande proche infrarouge montrant dans ce cas une légère différence entre les deux bandes (tab. 17).

**Tableau 17: résultat du test-z pour la classification supervisée de l'image Spot 2001**

B2											
	SB	SCNSSP	VCHMD	SCNSCP	SINSCP	VCHD	SCIAVH	VH	SCFCV	VCHTD	JCH
SB		0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
SCNSSP			0	1	0	0	1	1	1	0	1
VCHMD				1	1	0	1	1	1	0	1
SCNSCP					0	0	1	1	1	0	1
SINSCP						0	1	1	1	0	1
VCHD							1	1	1	1	1
SCIAVH								1	0	0	0
VH									0	0	0
SCFCV										1	1
VCHTD											0
JCH											
B3											
	SB	SCNSSP	VCHMD	SCNSCP	SINSCP	VCHD	SCIAVH	VH	SCFCV	VCHTD	JCH
SB		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SCNSSP			0	0	0	1	0	0	0	1	0
VCHMD				1	0	1	1	1	0	1	0
SCNSCP					0	1	0	0	0	1	0
SINSCP						1	1	1	0	1	0
VCHD							1	0	1	1	0
SCIAVH								0	0	1	0
VH									1	1	0
SCFCV										0	1
VCHTD											1
JCH											

### IV.4.2.2. Classification non supervisée.

Dans cette classification le test z montre une différence élevée dans la discrimination entre les paires de classes pour la bande PIR qui donne un rapport de 48/55 et 21/55 pour la bande rouge avec respectivement 87% et 38% (tab.18).

**Tableau 18 : résultat du test-z pour la classification non supervisé de l'image Spot 2001**

B2											
	SB	SCFCV	JCH	SINSCP	VCHMD	SCNSCP	SCNSSP	VCHD	SCIAVH	VCHTD	VH
SB		0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
SCFCV			1	0	0	0	0	0	1	0	1
JCH				0	0	0	0	0	0	0	1
SINSCP					0	0	0	0	1	0	1
VCHMD						1	0	0	1	0	1
SCNSCP							0	0	1	0	1
SCNSSP								0	1	1	1
VCHD									0	1	1
SCIAVH										0	1
VCHTD											1
VH											
B3											
	SB	SCFCV	JCH	SINSCP	VCHMD	SCNSCP	SCNSSP	VCHD	SCIAVH	VCHTD	VH
SB		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SCFCV			1	1	1	1	1	1	1	1	1
JCH				1	1	1	1	1	1	1	1
SINSCP					0	1	1	1	1	1	1
VCHMD						1	1	1	1	1	1
SCNSCP							1	1	1	1	0
SCNSSP								1	0	1	0
VCHD									1	1	0
SCIAVH										1	0
VCHTD											0
VH											

#### IV.4.2.3. Classification par TD

Les paires de classes différentes pour cette classification sont de 14/21 pour b2 et 16/21 pour b3 avec respectivement 67% et 76%. Dans ce cas aussi, c'est la bande dans le proche infrarouge qui montre la discrimination la plus élevée (tab. 19).

**Tableau 19 : résultat du test-z pour la classification Par TD de l'image Spot 2001**

B2							
	SCIAVH	SCP	SCCCP	SCCSP	VCHD	VCHTD	VH
SCIAVH		0	1	1	0	1	0
SCP			0	0	1	1	0
SCCCP				0	1	1	1
SCCSP					1	1	1
VCHD						1	1
VCHTD							1
VH							
B3							
	SCIAVH	SCP	SCCCP	SCCSP	VCHD	VCHTD	VH
SCIAVH		1	1	0	1	1	0
SCP			0	1	1	1	0
SCCCP				1	1	1	1
SCCSP					0	1	1
VCHD						1	1
VCHTD							1
VH							

### IV.4.3. Récapitulation des résultats de la comparaison entre les différentes classifications

La comparaison entre les classifications exprime la fiabilité d'une classification par rapport aux deux autres en se basant sur la valeur de la différence minimale obtenue par le test des aptitudes des deux bandes rouge et proche infrarouge à discriminer entre des paires de classes.

Le tableau n° 20 montre d'une part que les plus grandes discriminations pour une même classification entre les paires de classes sont toujours obtenues pour la bande dans le proche infrarouge et d'autre part, le meilleur pourcentage de différence entre les paires de classes a été trouvé pour la classification effectuée par la méthode TD.

**Tableau 20 : Comparaison entre les classifications de l'image SPOT2000.**

SPOT2000						
	Classification supervisé Nombre de classes :		Classification non supervisé Nombre de classes :		Classification par TD Nombre de classes :	
	B2	B3	B2	B3	B2	B3
Nombre de différences	20	31	24	30	15	18
Fréquence de différence en %	44,44	68,88	53,33	66,66	71,42	85,71

Dans le tableau n° 21 on retrouve les mêmes résultats trouvés pour l'image Spot2000 avec d'une part, une plus grande discrimination pour une même classification entre les paires de classes pour la bande dans le proche infrarouge et d'autre part, le meilleur pourcentage de différence entre les paires de classes dans le cas de la méthode TD.

**Tableau 21 : Comparaison entre les classifications de l'image SPOT2001.**

SPOT2001						
	Classification supervisée Nombre de classes :		Classification non supervisée Nombre de classes :		Classification par TD Nombre de classes :	
	B2	B3	B2	B3	B2	B3
Nombre de différence	30	31	21	48	14	16
Fréquence de différence en %	54,54	56,36	38,181	87,27	66,66	76,19

## IV.5. Confrontation des données de télédétection aux données de salinité

### IV.5.1 confrontation avec les données de l'image SPOT2000

#### IV.5.1.1. Classification supervisée

##### IV.5.1.1.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection

Le tableau 22 montre 02 sortes de corrélations entre les indices numériques et la salinité mesurée. Les indices de brillances qui sont liés aux sols nus (IB) ont une bonne corrélation avec la salinité contrairement aux indices de végétation qui montrent de faibles corrélations. L'indice de rougeur ne montre aucune corrélation avec la conductivité électrique (CE). On peut toutefois remarquer que la salinité est positivement corrélée aux indices de briallance alors qu'elle est négativement corrélée aux indices de végétation, ce qui indique que les sols nus sont souvent salés et les sols cultivés le sont de façon moindre.

**Tableau 22 : Matrice de corrélation entre les différents indices et la conductivité électrique (CE).**

	<b>IB<sup>2</sup></b>	<b>IBc<sup>2</sup></b>	<b>IR</b>	<b>NDVI</b>	<b>RVI</b>
<b>CE</b>	<b>0,89</b>	<b>0,94</b>	0,09	-0,42	-0,34

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

##### IV.5.1.1.2. La salinité et les comptes numériques moyens

Les points échantillonnés dont nous disposons ont été utilisés pour évaluer l'apport de la télédétection dans la cartographie de la salinité en tenant compte des classes définies. Les caractéristiques statistiques de la conductivité électrique pour les différentes classes est illustré dans le tableau 23. Les classes de jachère et des sols cultivés irrigués a dominance d'artichaut et végétation halophyte montrent des valeurs moyenne de CE plus élevées que les classes des sol cultivés et de végétation chlorophyllienne avec respectivement des moyennes élevées de 10 dS/m et des valeurs moyennes faibles de 4 dS/m. Les valeurs de salinité les plus élevées sont enregistrées dans les classes à végétation halophyte et la jachère (tab. 23).

**Tableau 23 : Valeurs de conductivité électrique des classes de télédétection**

	<b>SNCCP</b>	<b>VH</b>	<b>VCHD</b>	<b>SCIAVH</b>	<b>SNTCS</b>	<b>VCHTD</b>	<b>JCH</b>	<b>SNCBNS</b>	<b>SNCP</b>
<b>moy</b>	<b>4,86</b>	<b>13,24</b>	<b>2,13</b>	<b>10,09</b>	<b>8,90</b>	<b>2,54</b>	<b>13,09</b>	<b>2,30</b>	<b>9,39</b>
<b>e-t</b>	<b>6,10</b>	<b>5,07</b>	<b>0,03</b>	<b>12,41</b>	<b>12,57</b>	<b>0,81</b>	<b>15,70</b>	<b>0,83</b>	<b>8,68</b>
<b>max</b>	<b>15,78</b>	<b>17,25</b>	<b>2,15</b>	<b>47,50</b>	<b>67,41</b>	<b>4,36</b>	<b>68,32</b>	<b>4,49</b>	<b>31,38</b>
<b>min</b>	<b>1,96</b>	<b>2,27</b>	<b>2,11</b>	<b>1,75</b>	<b>0,92</b>	<b>1,94</b>	<b>1,84</b>	<b>1,22</b>	<b>0,75</b>

Cette bonne corrélation montre la pertinence de la représentativité de l'échantillonnage de CE pour une meilleure discrimination des états de surface qui sont influencés par la salinité des sols (fig.24).



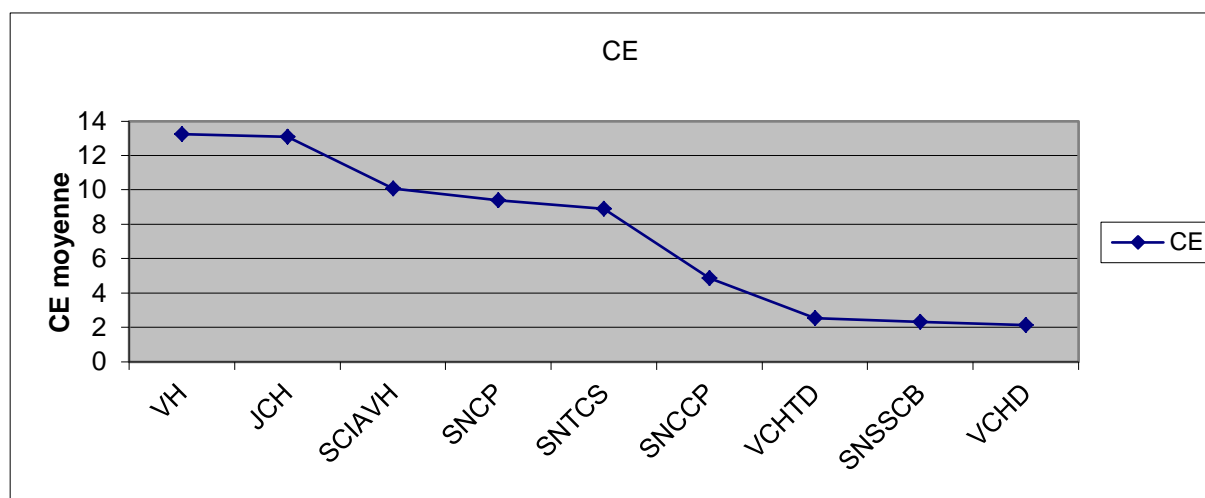


Figure. 24 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification supervisée de l'image SPOT2000.

#### IV.5.1.2. Classification non supervisée

##### IV.5.1.2.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection

Les corrélations obtenues entre la salinité des sols et les différents indices montrent cette fois, contrairement à la classification supervisée que les relations sont plus fortes pour les indices de végétation que les indices de brillance (tab. 24). Cette classification semble être plus représentative de la végétation naturelle ou cultivée dont la densité de la chlorophylle et sa couverture est dépendante de la teneur en sels.

Tableau 24 : Matrice de corrélation entre les différents indices et la conductivité électrique

	IB <sup>2</sup>	IBc <sup>2</sup>	IR	NDVI	RVI
CE	0,34	0,45	-0,01	<b>-0,69</b>	<b>-0,65</b>

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

##### IV.5.1.2.2 La salinité et les comptes numériques moyens

En comparaison avec la classification supervisée, il n'y a pas une grande différence pour cette classification dans la distribution de la salinité par rapport aux différentes classes de télédétection. On retrouve toujours que les valeurs les plus élevées de salinité sont enregistrées pour les trois classes à jachère, à végétation halophyte et la classe cultivée en artichaut alors que les valeurs les plus faibles de CE sont enregistrées dans les classes cultivées à végétation chlorophyllienne dense et très dense où cette dernière montre une valeur très faible de CE = 2.8 dS/m (tab. 25).

Tableau 25 : Valeurs de conductivité électrique des classes de télédétection issues de la classification non supervisée

	JCH	SNCCLP	SNSCNSP	SCIAVH	SNCCP	SNCP	VCHD	VCHTD	VH	SNTCS
moy	15,39	7,38	2,98	10,52	9,31	9,43	6,12	2,80	13,09	10,76
e-t	14,32	11,42	3,27	17,84	14,26	9,56	6,25	1,05	9,14	6,49
max	55,20	35,05	15,78	67,41	68,32	47,40	21,83	5,82	31,38	18,58
min	2,05	1,83	1,22	0,75	1,75	1,21	2,01	1,96	2,09	2,27

Cette distribution de la CE par classe de télédétection montre une bonne discrimination de la salinité en fonction des états de surface et par conséquent l'impact de la salinité sur l'état de surface des sols (fig.25) et constitue une façon de valider cette classification non supervisée.

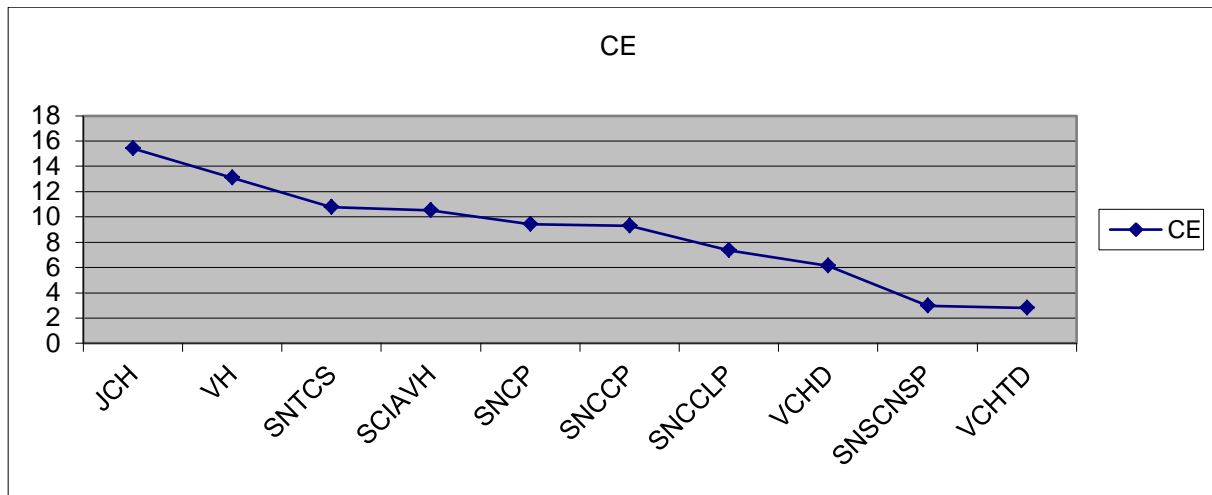


Figure. 25 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification non supervisée de l'image SPOT2000.

#### IV.5.1.3. Classification par TD

##### IV.5.1.3.1 Aux point échantillonnés par classe de télédétection

Pour cette méthode de classification basée sur la TD, les valeurs des corrélations obtenues entre la salinité des sols et les indices pris en compte montrent des différences de comportement avec les deux classifications supervisées et non supervisées (tab. 26). En effet, les corrélations sont ici élevées à la fois pour les indices de brillance et les indices de végétation. Ceci pourrait indiquer une amélioration dans la classification qui a tenu compte des sols nus et de la végétation.

Tableau 26 : matrice de corrélation entre les différents indices et la conductivité électrique

	<i>IB<sup>2</sup></i>	<i>IBc<sup>2</sup></i>	<i>IR</i>	<i>NDVI</i>	<i>RVI</i>
CE	0,61	<b>0,68</b>	0,23	<b>-0,70</b>	-0,64

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

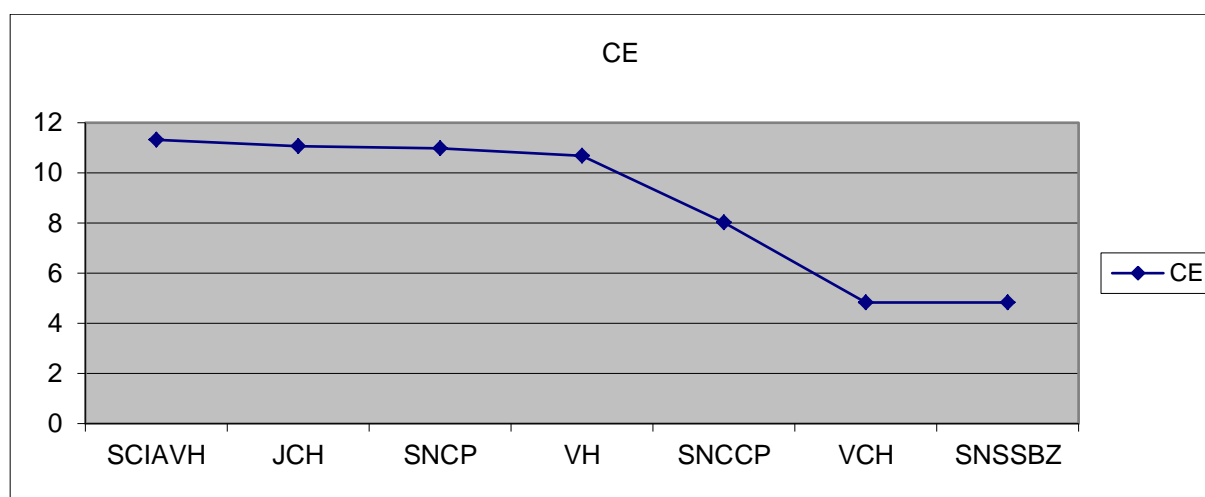
##### IV.5.1.3.2 La salinité et les comptes numériques moyens

Il n'y a pas un grand changement dans la distribution de la salinité par rapport aux principales classes qui se répètent dans toutes les classifications. Les valeurs de CE élevée se trouvent également pour cette méthode de classification dans les classes à végétation halophyte, à jachère et celle qui est cultivée par l'artichaut avec d'autres classes telles que les sols nus cultivés. Les valeurs les plus faibles de CE se trouvent dans la classe de la végétation chlorophyllienne (tab. 27).

**Tableau 27 : Valeur de conductivité électrique des classes de télédétection de la classification par TD**

	VCH	VH	SNSSCB	SCIAVH	SNCCP	JCH	SNCP
<b>moy</b>	4,83	10,67	4,83	11,32	8,02	11,06	10,98
<b>e-t</b>	7,86	9,61	8,10	17,94	8,07	6,80	14,11
<b>max</b>	35,05	47,40	35,19	67,41	29,90	21,05	68,32
<b>min</b>	1,96	1,21	1,22	0,75	2,01	2,27	1,75

La variabilité de la CE est exprimée par cette classification en 03 niveaux : le premier niveau représente l'ensemble des classes où la salinité est élevée (SCIAVH, JCH, SNCP) ; le deuxième niveau représente une CE moyenne (SNCCP) ; le niveau le plus faible de la CE est représenté par la végétation sols sombres non salés du plateau de Benziane (VCH, SNSSBZ) (fig. 26). Cette distribution semble être concordante avec le terrain où la salinité est élevée dans les sols occupés par la végétation halophyte, les sols en jachère et les sols cultivés en artichaut alors que les autres cultures se font généralement sur des sols à faible salinité.



**Figure.26 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification par TD.**

## IV.5.2 Confrontation avec les données de l'image SPOT2001

### IV.5.2.1. Classification supervisée

#### IV.5.2.1.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection

Pour cette classification supervisée et pour cette image Spot2001, les coefficients de corrélations obtenus entre la salinité des sols et les indices de télédétection sont tous faibles, ce qui indique un faible lien entre la salinité des sols et les classes des états de surface issus de cette classification (tab. 28).

**Tableau 28 : Matrice de corrélation entre les différents indices de la classification supervisé et la conductivité électrique**

	IB <sup>2</sup>	IBc <sup>2</sup>	IR	NDVI	RVI
<b>CE</b>	0,17	0,37	0,50	-0,47	-0,28

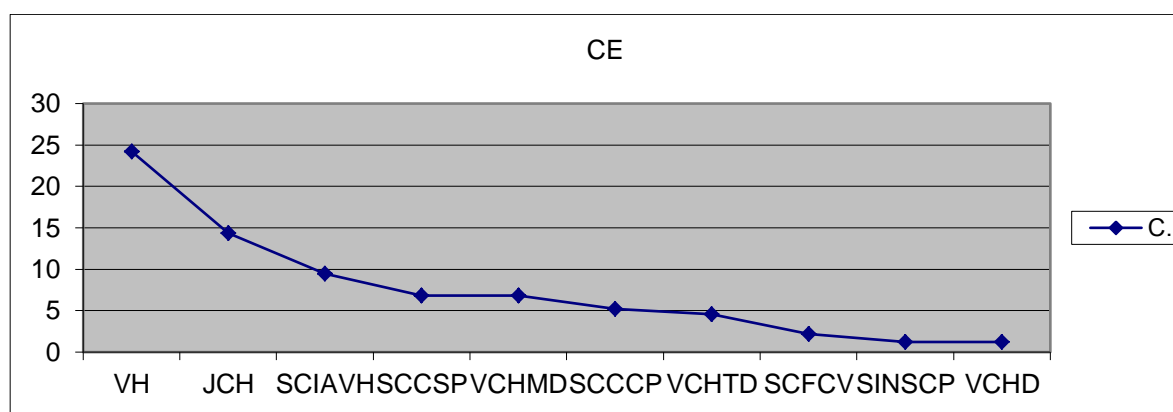
### IV.5.2.1.2 La salinité et les comptes numériques moyenne

La distribution de la salinité des sols par classe de télédétection montre la même répartition que celle obtenue dans les autres classifications avec toujours les valeurs les plus élevées de CE pour les trois classes de végétation halophyte, de jachère et des sols cultivés en artichaut et les valeurs de CE les plus faibles pour la végétation chlorophyllienne (tab. 29).

**Tableau 29 : Valeur de conductivité électrique des classes de télédétection de la classification supervisé**

	SCCSP	VCHD	SCCNSCP	SINSCP	SCIAVH	VCHMD	VH	JCH	VCHTD	SCFCV
<b>moy</b>	6,85	1,21	5,23	1,24	9,48	6,81	24,23	14,33	4,60	2,17
<b>e-t</b>	9,96		5,96	0,81	7,19	5,99	29,31	14,41		1,24
<b>max</b>	55,20		35,05	3,15	19,55	18,95	67,41	47,40		4,04
<b>min</b>	1,22		0,75	0,73	1,84	2,01	2,10	1,92		0,81

Malgré les faibles corrélations obtenues entre les indices de brillance et de végétation, cette classification a permis de montrer l'existence d'une indépendance entre la salinité et les états de surface.(fig. 27).



**Figure.27 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection par la classification supervisée (SPOT2001).**

### IV.5.2.2. Classification non supervisée

#### IV.5.2.2.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection

Pour cette classification, la confrontation des points échantillonnés entre les différents indices issus de classes de télédétection et la CE montrent également des faibles corrélations avec une légère hausse pour les indices de brillance (tab.30).

**Tableau 30 : matrice de corrélation entre les différents indices de la classification non supervisé et la conductivité électrique (SPOT2001)**

	IB <sup>2</sup>	IBc <sup>2</sup>	IR	NDVI	RVI
CE	<b>0,56</b>	<b>0,60</b>	-0,23	0,27	0,36

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

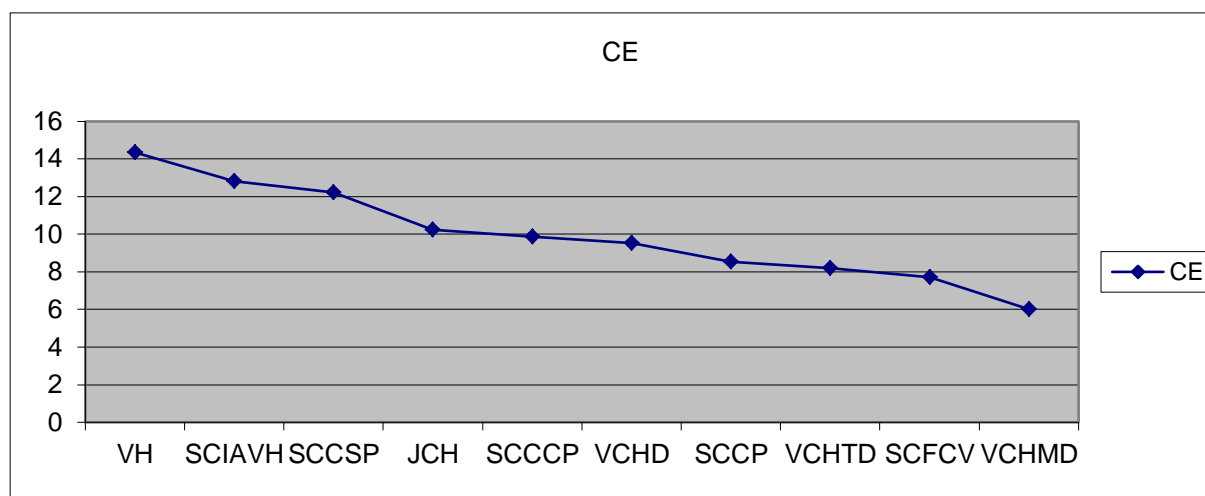
#### IV.5.2.2 La salinité et les comptes numériques moyens

En plus de la classe des sols cultivés salés clairs de la plaine, ce sont toujours les classes des sols à végétation halophyte, à jachère et celle qui est cultivée par l'artichaut qui sont les plus salées alors que ce sont les classes à végétation chlorophyllienne qui en sont les moins salées (tab. 31).

**Tableau 31 : Valeur de conductivité électrique des classes de télédétection de la classification non supervisée (SPOT2001)**

	SCFCV	JCH	SCCP	VCHMD	SCCCP	SCCSP	VCHD	SCIAVH	VCHTD	VH
<b>moy</b>	7,71	10,23	8,52	6,01	9,87	12,23	9,53	12,83	8,21	14,35
<b>e-t</b>	10,26	8,97	7,77	5,44	10,31	17,13	14,90	13,38	8,59	9,87
<b>max</b>	55,20	29,90	25,13	19,10	41,50	67,41	68,32	47,40	35,19	47,50
<b>min</b>	0,92	2,01	2,10	1,22	0,75	2,01	1,84	1,22	1,92	5,49

La figure 28 montre l'existence de la relation entre la salinité des sols et les états de surface issus de cette classification.



**Figure.28 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification non supervisée (SPOT2001).**

#### IV.5.2.3. Classification par TD

##### IV.5.2.3.1 Aux points échantillonnés par classe de télédétection

Tout comme pour la classification de l'image Spot 2000, la méthode de la TD appliquée à l'image Spot2001 montre des corrélations élevées pour les différents indices de brillance et de végétation avec toutefois des valeurs particulièrement élevées pour les indices de végétation (tab. 32).

**Tableau 32 : matrice de corrélation entre les différents indices de la classification par TD et la conductivité électrique (SPOT2001)**

	<i>IB<sup>2</sup></i>	<i>IBc<sup>2</sup></i>	<i>IR</i>	<i>NDVI</i>	<i>RVI</i>
CE	-0,47	-0,19	<b>0,96</b>	<b>-0,92</b>	<b>-0,86</b>

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

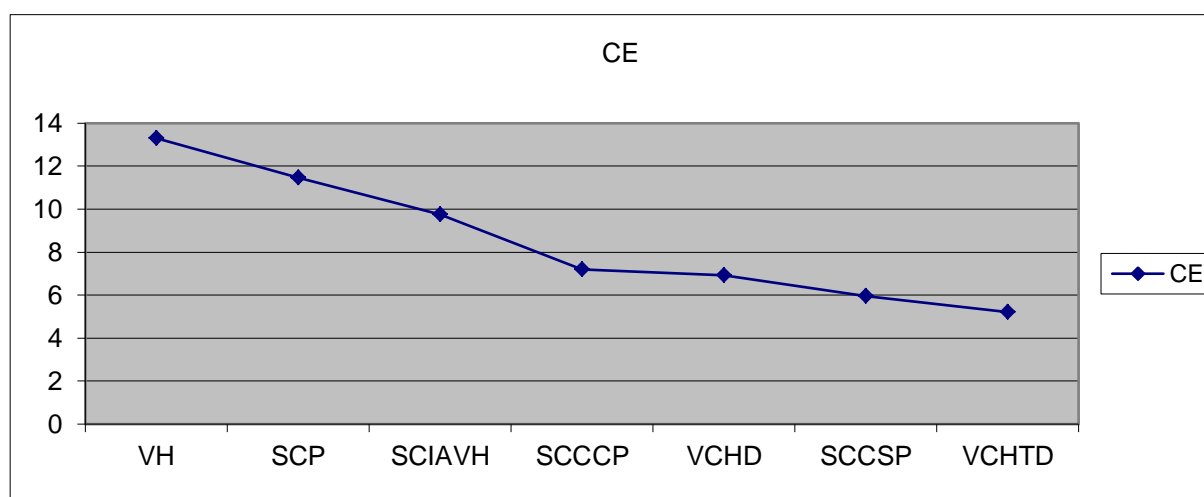
### IV.5.2.3.2 La salinité et les comptes numériques moyenne

L'absence de la jachère dans cette classification limite les valeurs de CE les plus élevées aux deux classes à végétation halophyte et aux superficies cultivées par l'artichaut comme cela a été montré pour toutes les classifications précédentes. La classe à végétation chlorophyllienne très dense montre la valeur de CE la plus faible (tab. 33).

**Tableau 33 : Valeur de conductivité électrique des classes de télédétection de la classification par TD (SPOT2001)**

	SCIAVH	SCP	SCCCP	SCCSP	VCHD	VCHTD	VH
<b>moy</b>	9,74	11,47	7,20	5,95	6,92	5,22	13,31
<b>e-t</b>	12,43	11,73	7,47	8,63	10,09	4,45	15,95
<b>max</b>	47,40	47,50	35,05	35,19	55,20	15,01	68,32
<b>min</b>	1,92	0,92	2,08	0,75	1,22	1,84	1,21

La figure 29 montre une diminution progressive de la salinité en fonction des classes de télédétection issues de cette classification indiquant dans ceci l'impact de la salinité sur les états de surface des sols de la plaine.



**Figure. 29 : Evolution de la conductivité électrique moyenne par classe de télédétection de la classification par TD (SPOT2001).**

## IV.6. Confrontation des indices de salinité par classes de télédétection aux points échantillonnés de la conductivité électrique mesurée.

La salinité est l'un des principaux objets constituant une surface élémentaire et dont l'influence est très apparente sur les états de surface de façon générale (Metternicht et Zink, 2003 ; Fernandez-Buces et al., 2006) et de la plaine du Bas-Chéiff de façon particulière (Douaoui, 2005 ; Douaoui et al., 2006).

Dans la continuité de l'étude des relations existantes entre les états de surface et les données de télédétection, on s'est intéressé de façon particulière à la corrélation entre les indices de salinité issus de l'image satellitaire et de la salinité expérimentale. On a retenu pour cela, les principaux indices de salinité qui sont des combinaisons entre les différents canaux des images satellitaires.

- Indice de salinité de khan (IS(khan)), (khan et al, 2001),  
**IS (khan) = racine (VxR) ;**
- Normalized Differential Salinity Index(NDSI) (wannakomolch, 2005),  
**NDSI = (R-PIR)/(R+PIR) ;**
- Indice de salinité (IS) (Douaoui *et al.*, 2006),  
**IS = racine (R<sup>2</sup>+V<sup>2</sup>) ;**
- Indice de salinité visible infra rouge (ISvir) (Douaoui et Lépinard, 2010),  
**ISvir = 2V-(R+PIR)**

La corrélation entre les différents indices de salinités et les données de la CE, pour les trois classifications sur les deux images, montre des différences dans les corrélations qui varient selon les dates de prise d'image et les types de classification (tab. 34).

Pour l'image SPOT 2000, les indices de salinité montrent généralement une bonne corrélation avec les données de la salinité. Les meilleures corrélations sont obtenues pour la classification supervisée avec des corrélations élevées pour l'IS et l'IS (khan) qui ont des valeurs respectives égales à  $r=0.89$  et  $r=0.88$ . Les autres indices, en l'occurrence ISvir et NDSI montrent des corrélations relativement plus faibles ( $r= 0.56$ ,  $r=0.42$ ).

Pour l'image SPOT2001, les meilleures corrélations sont obtenues par la classification TD où on peut voir des coefficients de corrélations très élevées pour tous les indices allant de 0,82 à 0,92. Les deux autres classifications supervisée et non supervisée montrent des corrélations nettement plus faibles que la classification TD où la seule valeur relativement élevée est enregistrée pour l'indice IS\_CE au niveau de la classification supervisée.

Entre les deux images et pour tous les indices de salinité, les meilleures corrélations sont obtenues pour l'image Spot 2000 prise durant la période estivale. Ce résultat, en plus de sa logique, et en concordance avec la bibliographie ; il peut être expliqué d'une part, par le faible couvert végétal qui met directement en contact le sol et par conséquent les teneurs en sel avec le spectre électromagnétique est logique et d'autre part, par l'existence des sels à la surface suite aux irrigations et leur remontés à la surface après avoir été ramenés en profondeur durant la période pluvieuse.

En prenant en compte les deux images, la classification TD s'avère être celle qui conviendrait le plus par les valeurs des coefficients de corrélation qui sont au minimum moyennement élevés dans tous les cas. Vient en deuxième position la classification supervisée qui a donné des bons coefficients de corrélation pour l'image Spot 2000 prise en été.

**Tableau 34 : Corrélations entre les indices de salinité et la conductivité électrique expérimentalement mesurée**

	SPOT2000			SPOT2001		
	Classification supervisée	Classification non supervisée	Classification par TD	Classification supervisée	Classification non supervisée	Classification par TD
ISvir_CE	0,56	<b>0,67</b>	0,56	0,25	-0,38	<b>0,82</b>
IS(khan)_CE	<b>0,88</b>	<b>0,60</b>	<b>0,77</b>	0,36	0,003	<b>0,92</b>
NDSI_CE	0,42	<b>0,69</b>	<b>0,70</b>	0,46	0,034	<b>0,92</b>
IS_CE	<b>0,89</b>	<b>0,60</b>	<b>0,77</b>	<b>0,76</b>	0,11	<b>0,91</b>

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5%.

## IV.7. Confrontation ponctuelle entre les données numériques de télédétection et la conductivité électrique mesurée

La confrontation est effectuée ici, d'une façon ponctuelle sur la totalité des points échantillonnés (les indices au niveau des pixels) avec leurs données de la CE mesurés.

### IV.7.1. SPOT2000

Le tableau n° 35 montre des corrélations très faibles de la CE mesurée avec les indices de sol et de végétation y compris pour les indices de salinité.

**Tableau 35 : corrélation entre les données de la conductivité électrique mesuré et les indices de l'image SPOT2000.**

	<i>IB<sup>2</sup></i>	<i>IBc<sup>2</sup></i>	<i>IR</i>	<i>Ic</i>	<i>NDVI</i>	<i>RVI</i>	<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>
<b>CE</b>	0,08	0,13	-0,03	-0,04	-0,18	-0,18	0,18	<b>0,23</b>	0,17	0,17

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

### IV.7.2. SPOT2001

L'image SPOT2001, comme la précédente présente des corrélations très faible à faible ente la CE mesurée et les différents indices issus de l'image (tab. 36).

**Tableau 36 : Corrélation entre les données de la conductivité électrique mesuré et les indices de l'image SPOT2001**

	<i>IB<sup>2</sup></i>	<i>IBc<sup>2</sup></i>	<i>IR</i>	<i>Ic</i>	<i>NDVI</i>	<i>RVI</i>	<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>
<b>CE</b>	-0,03	0,07	0,10	0,09	-0,18	-0,15	0,18	<b>0,22</b>	<b>0,26</b>	<b>0,27</b>

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

## IV.8. Conclusion

La discrimination des états de surface de la plaine du Bas Cheliff, par les trois types de classification (supervisée, non supervisée et Transformed Divergence (TD)) pour les deux images (SPOT2000 et SPOT2001) montre que les meilleures discriminations pour une même classification entre les paires de classes sont toujours obtenues pour la bande dans le proche infrarouge (PIR). Il en ressort donc que le PIR est la bande la plus discriminante entre les états de surface et leurs principales composantes à savoir la végétation, le sol et l'eau. Parmi les trois classifications utilisées, la classification par la méthode TD est celle qui a permis d'obtenir les plus grandes différences entre les classes avec toutefois un nombre de classes nettement inférieur à ceux obtenus par les classifications supervisée et non supervisée.

Les différents états de surface pour les trois classifications ont été bien corrélés aux différents niveaux de salinité, ce qui explique l'impact de la salinité sur les éléments composant ces états de surface tels que la végétation et les caractéristiques du sol.

Dans le cas de la classification supervisée, les meilleures corrélations entre les indices et la CE sont obtenues pour les indices de brillance de l'image SPOT 2000 prise en été, alors



que dans le cas de la classification non supervisée, les meilleures corrélations sont obtenues pour les indices de végétation l'image SPOT2001 prise en hivers.

Le calcul des indices de salinité a permis d'améliorer les corrélations avec la salinité en obtenant des corrélations élevées pour l'image SPOT2000 dans le cas de la classification supervisée et pour l'image SPOT2001 dans la classification TD. Par ailleurs, la confrontation ponctuelle entre les données numériques de télédétection et la CE mesurée montre des corrélations faibles.

# *CHAPITRE V*

*Traitement des données  
topographiques.*

## V. Traitement des données Topographiques

### V.1. Etablissement d'un Modèle numérique de Terrain (MNT)

La digitalisation des deux fichiers (courbes de niveaux + points cotés) a abouti à la création d'un nouveau fichier à la base de la carte topographique de la plaine qui contient l'information nécessaire concernant les paramètres d'un modèle numérique de terrain (MNT) (fig.30).

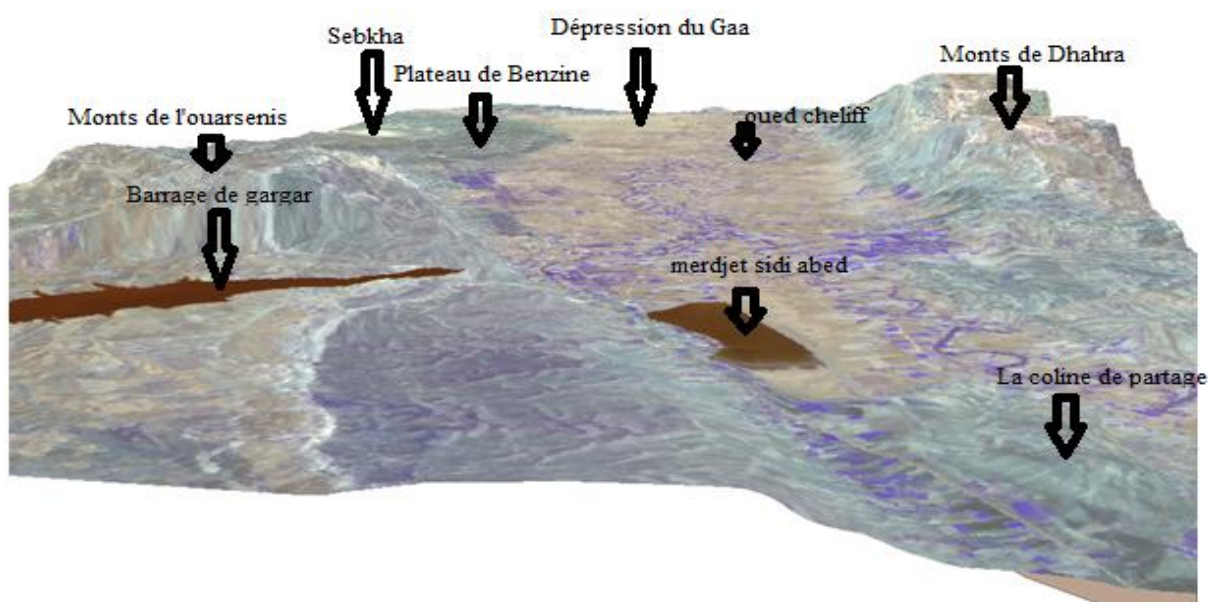
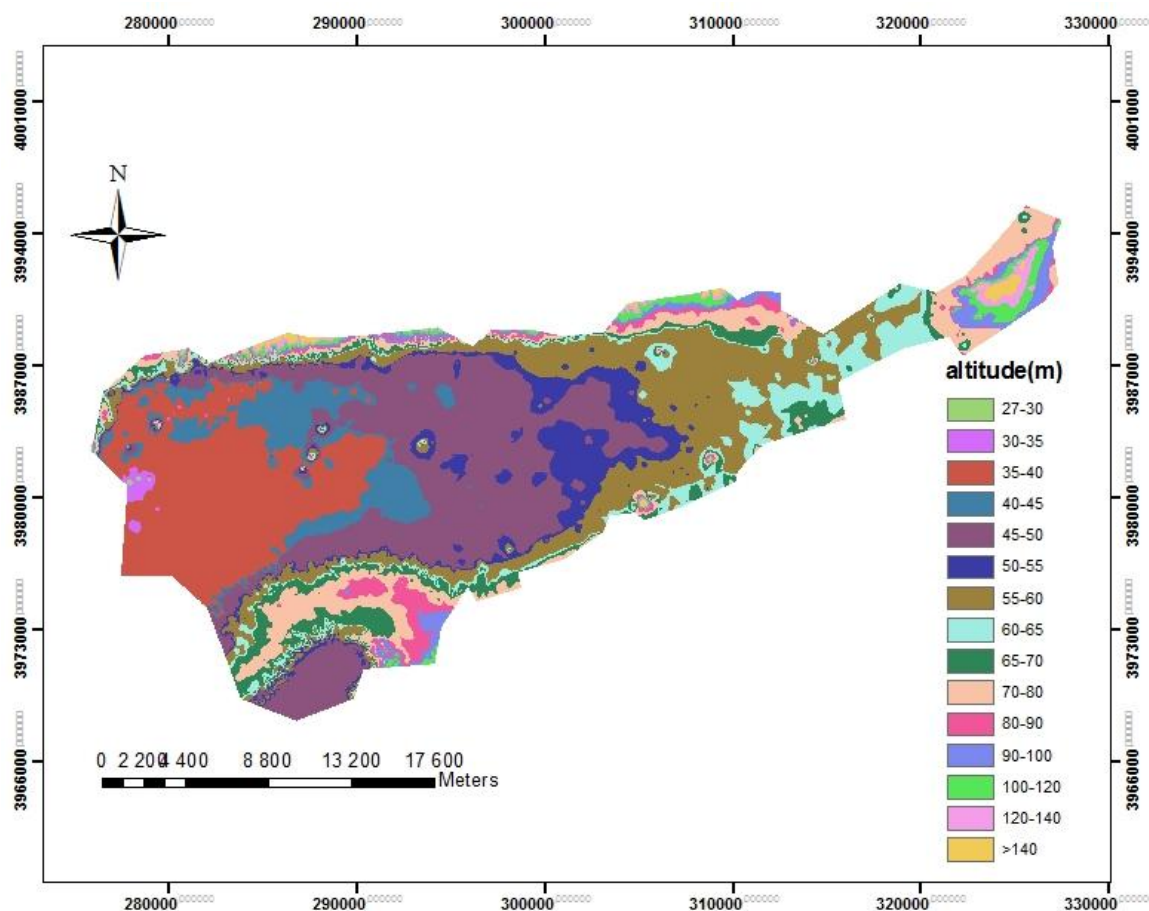


Figure. 30 : MNT du Bas Cheliff (vue en 3 dimensions).

### V.2. Les paramètres du MNT

#### V.2.1. L'altitude

Tout objet de surface se caractérise par une hauteur physique verticale vis-à-vis du niveau de la mer (point d'origine) ; cette hauteur nommée « altitude » est considérée comme un élément topographique qui nous renseigne sur la morphologie d'un terrain donné calculé en unité de distance (mètre). Le modèle numérique de terrain nous permet de visualiser ce paramètre essentiel (fig.31).



**Figure. 31 : Carte des altitudes (Bas-Chélif)**

La plaine du Bas-Chélif présente des altitudes faibles avec une dominance dans la dépression de la Gaa (30-40m) et quelques superficies du côté de Hmadna (45-55m), Djediouia et même Ouarizane (50-60m). A l'est de la plaine et sur ses périphéries, l'altitude augmente pour atteindre les 140 m au niveau de la colline de partage. Le plateau de Benziane atteint des altitudes qui varient entre 70-120 m. De façon générale, Excepté la zone du plateau de Benziane, l'altitude est faible dans la partie ouest de la plaine et augmente proportionnellement vers l'est.

### V.2.2 La Pente

La pente qui est le rapport entre l'altitude et la distance est à un paramètre principal dans la compréhension du terrain et son extension spatiale en donnant une signification à la morphologie des différents états de surface. La pente a été déterminée en pourcentage à partir du MNT (fig.32)

L'allure de la pente dans la plaine du Bas-Chélif varie entre 0 à presque 18%. Les valeurs les plus faibles se localisent dans la dépression naturelle de la Gaa (0-2%) avec de légères augmentations vers les périphéries de Hmadna et Oued Rhio en atteignant les 6 à 7 % sous forme de Glaçis. Le plateau de Benziane et les terres de Garouaou et Djediouia montrent des valeurs qui varient entre 9 à 12 %. La colline de partage à l'extrême de la plaine est formée par des pentes dépassant les 12%.

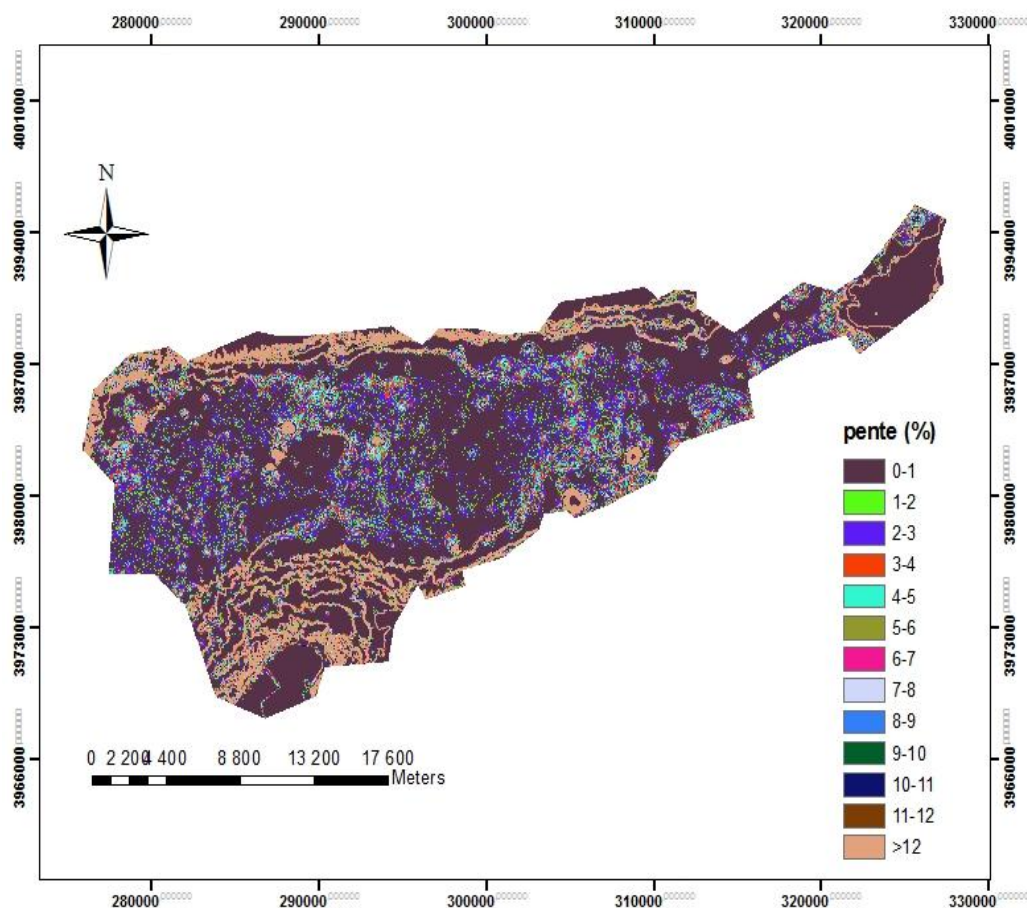


Figure 32: Carte des pentes (Bas-Chélif)

### V.2.3. L'orientation de la pente

Le calcul de la pente nécessite de comprendre son exposition géographique donnant une classification à la morphologie du terrain de point de vue direction. Chaque type de pente possède une direction donnée appelée : orientation ou exposition. A l'aide la carte des pentes et le MNT établis, on a attribué l'orientation des différentes classes de la pente dans notre région d'étude pour ensuite reclasser la pente géographiquement (fig.33).

La carte des expositions des pentes montre que les pentes à faible pourcentage (0-8%) s'orientent préférentiellement vers le nord et le nord ouest de la plaine ; les zones à moyenne pentes (9 à 12%) sont orientés du sud-est vers le sud de la plaine ; les fortes pentes s'exposent à la direction est et ouest de la plaine.

Il apparaît donc que l'exposition varie proportionnellement avec la pente. A titre d'exemple les parties planes telles que la Gaa s'orientent le plus souvent vers l'ouest et le nord ouest de la région ; le plateau de Benziane s'expose vers le sud de la plaine ; la colline de partage qui est la zone la plus élevée s'oriente vers l'est de la plaine.

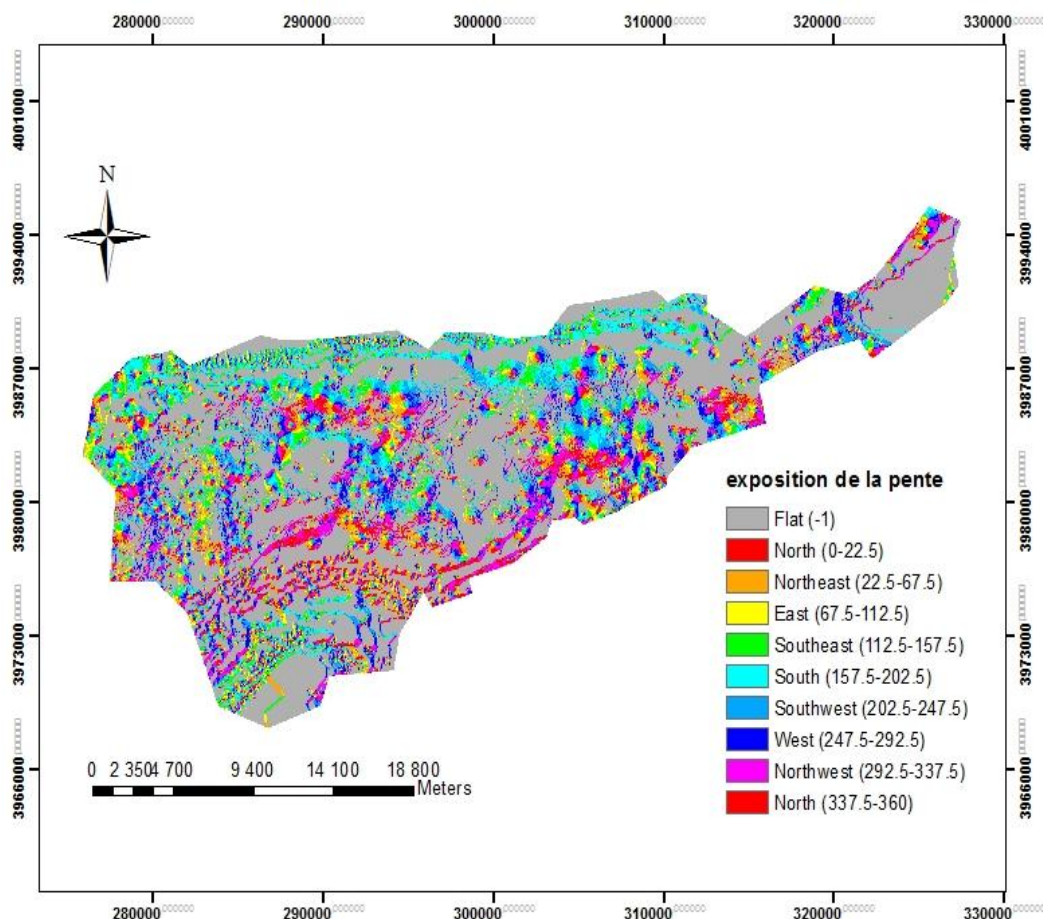


Figure. 33 : Carte de l'exposition des pentes (Bas-Chélif)

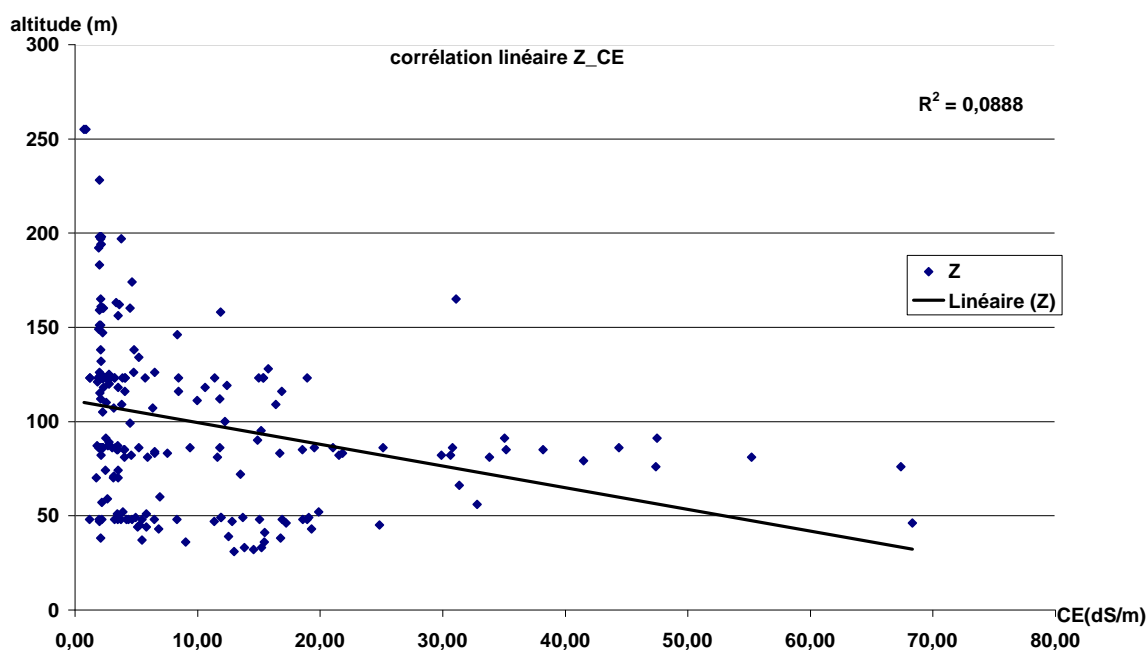
### V.3. Confrontation des données topographiques aux données de télédétection

L'amélioration de la discrimination des états de surface et de la salinité au niveau de la plaine à l'aide des données MNT (altitude, pente, exposition) pour en faire par la suite un modèle cartographique de la salinité à base topographique est l'un des principaux objectifs. Pour cela, on a effectué une confrontation des données topographiques extraites du MNT aux données terrains de la CE mesurée et aux données numériques de la télédétection sous forme d'indices de sol et de végétation dérivés des deux images SPOT

#### V.3.1. Confrontation de la conductivité électrique aux données MNT

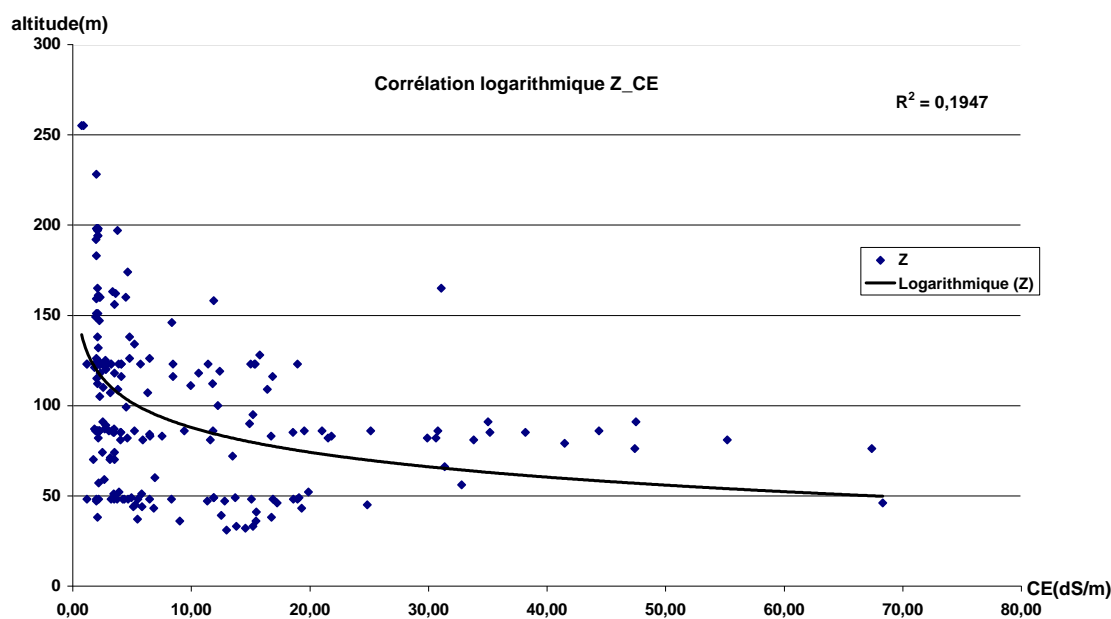
##### V.3.1.1. Corrélation de la conductivité électrique avec l'altitude (Z)

La combinaison des valeurs de la CE mesurée aux valeurs de l'altitude correspondantes montre une faible corrélation linéaire (fig. 34) avec une tendance opposée exprimée par un faible coefficient de corrélation ( $r = -0.30$ ) mais qui est significatif.



**Figure. 34 : Corrélation linéaire de la conductivité électrique mesurée avec l'altitude.**

Cette faible corrélation linéaire, nous amené à faire un ajustement logarithmique (fig. 35) qui montre une amélioration de la corrélation entre l'altitude et la CE mesurée avec un coefficient de détermination,  $r^2 = 0.19$  et une corrélation toujours de tendance opposée ( $r = -0.44$ ) qui encore plus significative. On peut voir, toutefois, sur cette régression non linéaire, que cette dépendance est encore plus forte à partir d'une valeur de CE 5 dS/m, pour devenir nettement dépendante à partir de 20 dS/m.



**Figure. 35 : Corrélation logarithmique de la conductivité électrique mesurée avec l'altitude.**

### V.3.1.2. Corrélation de la conductivité électrique avec la pente

La figure n° 36 exprime la nature de la tendance entre la CE et les valeurs de la pente ( $r = -0.11$ ), ce qui indique une très faible relation entre elles.

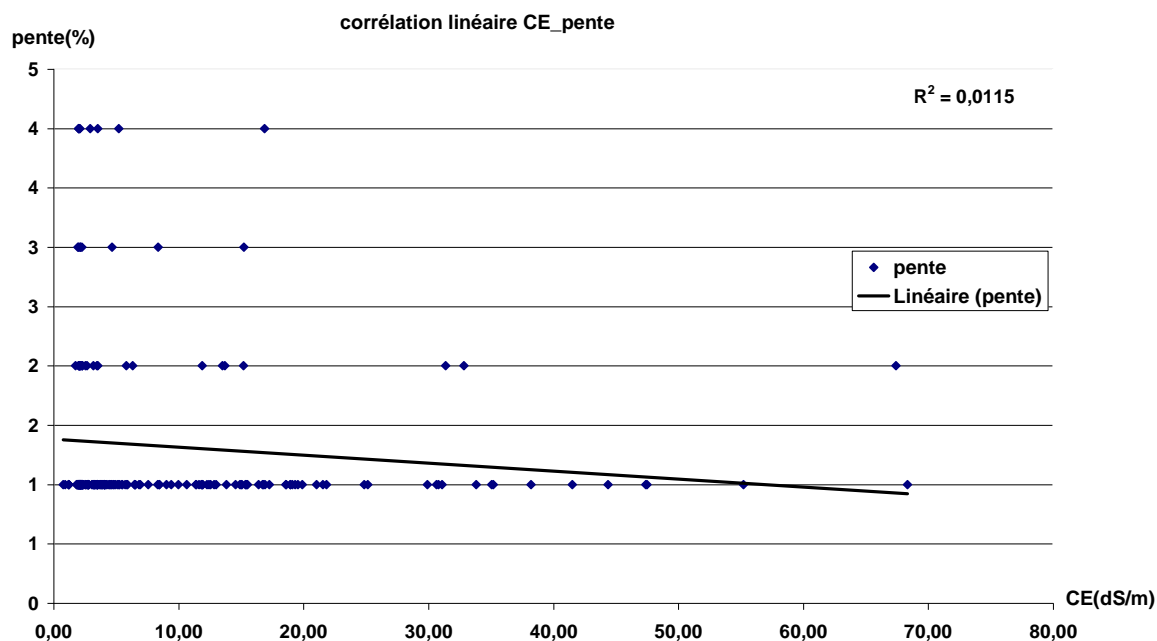


Figure. 36 : Corrélation linéaire de la conductivité électrique mesurée avec la pente.

Cette corrélation est toujours faible, même avec d'autres types d'ajustement et la corrélation logarithmique présente une légère amélioration dont  $r = -0.14$ . (Fig.37).

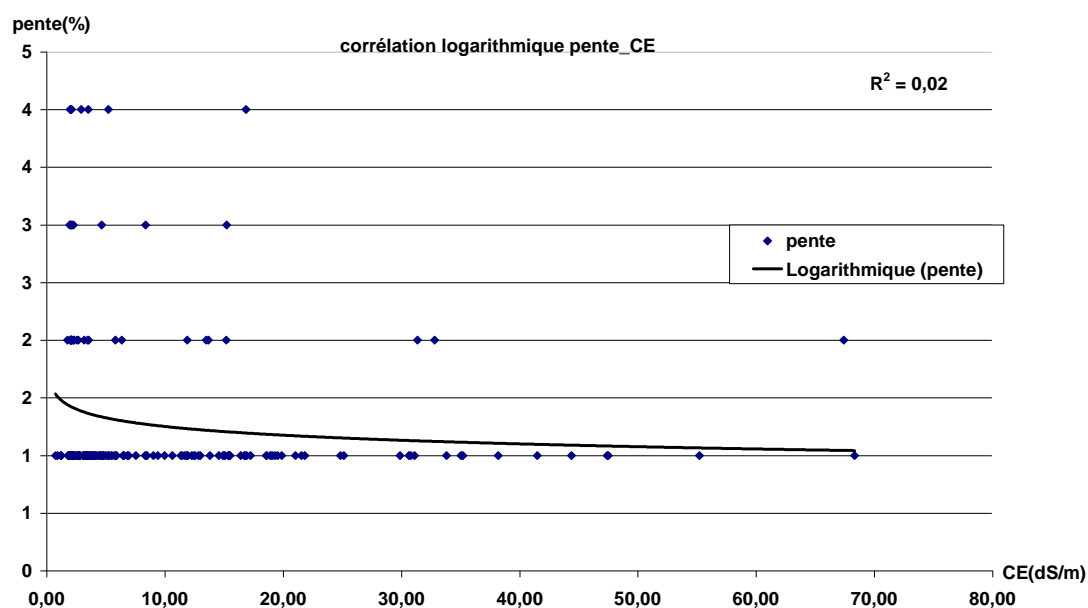


Figure. 37 : Corrélation logarithmique de la conductivité électrique mesurée avec la pente.



### V.3.1.3. Corrélation de l'exposition avec la conductivité électrique

La relation entre l'exposition est la salinité apparaît être encore plus faible que dans le cas de l'altitude et l'intensité de la pente (fig. 38). La distribution du nuage de points entre la salinité et l'exposition de la pente montre qu'il n'y a aucune relation entre elles et ce quelque soit la nature de l'ajustement (linéaire ou autre).

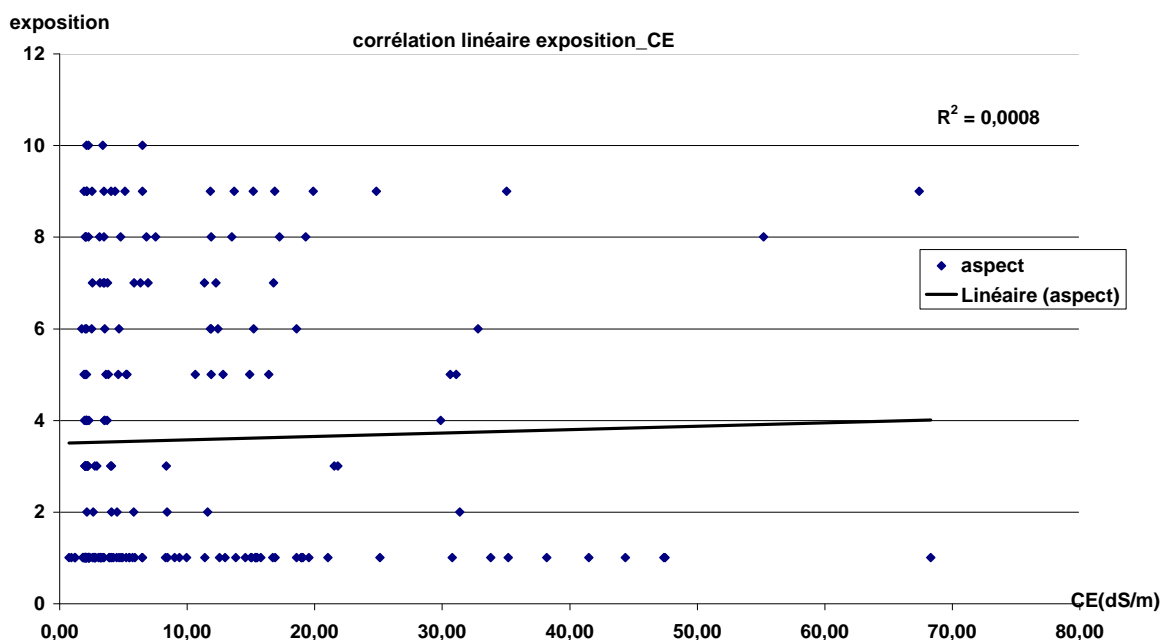


Figure. 38 : Corrélation linéaire de la conductivité électrique mesurée avec l'exposition.

Les trois dérivées du MNT (pente, altitude et exposition) montrent, avec certaines différences, des faibles corrélations avec la salinité. L'exception est toutefois faite pour l'altitude qui a une certaine influence sur la salinité surtout au niveau de ses valeurs élevées. Ce résultat explique la distribution de la salinité au niveau de la plaine qui a tendance à augmenter de l'est où l'altitude est élevée vers l'ouest où l'altitude est faible.

### V.3.2. Confrontation des indices numériques de télédétection à la topographie

Il s'agit d'étudier les différentes relations entre les trois dérivées topographiques et les indices de sol et de la végétation pour les deux images Spot traitées.

#### V.3.2.1. Confrontation de la pente aux indices de sols et de végétation

On a corrélé les dérivées topographiques aux différents indices de sol et de végétation calculés à partir des deux images Spot (2000 et 2001).

Le tableau n°37 montre des valeurs négatives avec les indices de brillance et de végétation, ce qui indique une relation opposée des ces indices avec la pente. Des valeurs de corrélations positives sont obtenues avec les deux indices de rougeur (IR) et de couleur (IC). Toutefois et dans tous les cas, ces corrélations restent faibles.

**Tableau. 37 : Corrélation entre les indices des deux images et la pente.**

		<b>IB<sup>2</sup></b>	<b>IBc<sup>2</sup></b>	<b>IR</b>	<b>IC</b>	<b>NDVI</b>	<b>RVI</b>
<b>SPOT2000</b>	<b>pente %</b>	-0,11	-0,15	<b>0,24</b>	<b>0,26</b>	-0,02	-0,02
<b>SPOT2001</b>	<b>pente%</b>	-0,05	-0,06	0,11	0,13	-0,05	-0,06

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

### V.3.2.2. Corrélation entre l'exposition et les indices des deux images.

Les faibles corrélations obtenues montrent qu'aucune liaison n'est observée entre l'exposition et les indices numériques et ce pour les deux images Spot 2000 et 2001 (tab 38).

**Tableau. 38 : Corrélation entre les indices des images et l'exposition de la pente.**

		<b>IB<sup>2</sup></b>	<b>IBc<sup>2</sup></b>	<b>IR</b>	<b>Ic</b>	<b>NDVI</b>	<b>RVI</b>
<b>SPOT2000</b>	<b>exposition</b>	0,05	0,05	0,03	0,03	0,00	0,00
<b>SPOT2001</b>	<b>exposition</b>	-0,01	0,01	0,05	0,05	-0,04	-0,05

### V.3.2.3. Corrélation entre l'altitude et les indices

La confrontation de l'altitude aux différents indices calculés n'a pas pris la même allure que les deux premières dérivées (pente et son exposition).

#### V.3.2.3.1. Image SPOT 2000

Le couvert végétal qui est naturellement faible durant la saison sèche montre des corrélations faibles avec l'altitude mais qui sont significatives et plus élevées que dans les cas de la pente et de son exposition (NDVI=0.24 et RVI = 0.23), Cette corrélation augmente légèrement avec les indices de brillance (IB = 0.30 et IBc = 0.39).

**Tableau 39 : Corrélation des indices de l'image SPOT2000 avec l'altitude.**

	<b>IB<sup>2</sup></b>	<b>IBc<sup>2</sup></b>	<b>IR</b>	<b>Ic</b>	<b>NDVI</b>	<b>RVI</b>
<b>Z</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,39</b>	0,15	<b>0,20</b>	<b>0,24</b>	<b>0,23</b>

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

#### V.3.2.3.2. Image SPOT 2001

La caractéristique de l'image de l'hiver 2001 réside dans la dominance du couvert végétal à travers toute la plaine dont la saison était fortement favorable pour la croissance de la végétation ou les précipitations seulement pour le mois de janvier on atteint les 80 mm (ABH, 2002). Les inondations enregistrées à travers le pays au cours de cette année en sont le meilleur exemple.

Le tableau n°40 montre la nature de la tendance entre l'altitude et les indices numériques de cette image prise en hiver. Les corrélations obtenues dans ce cas sont

nettement plus faibles que dans le cas de la saison sèche et ce pour tous les indices. L'impact de l'altitude sur la distribution de la végétation n'a aucun effet ; celle-ci semble être influencée en premier lieu par la pluviométrie plutôt que pas les autres paramètres du milieu physique.

**Tableau 40 : Corrélation des indices de l'image SPOT2001 avec l'altitude.**

	<i>IB<sup>2</sup></i>	<i>IBc<sup>2</sup></i>	<i>IR</i>	<i>Ic</i>	<i>NDVI</i>	<i>RVI</i>
<b>Z</b>	-0,11	<b>-0,27</b>	-0,06	-0,05	0,18	0,15

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

#### V.3.2.4. Corrélation des indices de salinité des deux images avec les données du MNT

Les résultats obtenus n'ont pas montré de relations entre la morphologie du terrain (paramètres du MNT) et les indices numériques de télédétection exceptée pour l'altitude où les corrélations, certes significatives, sont restées faibles à moyennes. Ce raisonnement est appliqué aux indices de salinité pour voir si on peut retrouver certaines corrélations en combinant autrement les bandes des images Spot.

##### V.3.2.4.1. Corrélation entre la pente et les indices de salinité.

Les indices de salinités ne présentent pas des corrélations qui méritent d'être signalées avec la pente pour les deux images (tab. 41).

**Tableau 41 : Corrélation des indices de salinités des deux images avec la pente.**

SPOT2000					SPOT2001				
	<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>		<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>
<b>pente %</b>	0,02	<b>-0,20</b>	-0,13	-0,13	<b>pente %</b>	0,05	0,00	0,00	-0,01

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

##### V.3.2.4.2. Corrélation entre l'exposition de la pente et les indices de salinité.

Comme pour la pente, l'exposition de la pente montre des corrélations très faibles entre les indices de salinité et l'exposition pour les deux images et avec des valeurs presque similaires (tab.42). La densité du couvert végétal n'influence n'a donc pas d'effet sur la corrélation exposition-indices de salinité.

**Tableau 42 : Corrélation des indices de salinités des deux images avec l'exposition de la pente.**

SPOT2000					SPOT2001				
	<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>		<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>
<b>exposition</b>	0,00	-0,01	0,04	0,04	<b>exposition</b>	0,04	0,05	0,03	0,03

**V.3.2.4.3. Corrélation entre l'altitude et les indices de salinité.**

Le tableau 43, montre que l'altitude présente la corrélation la plus élevée avec les indices de salinité. Cette corrélation opposée confirme la présence d'une relation inversée entre l'altitude et la salinité, ce qui conforte les corrélations déjà obtenues directement entre l'altitude et la salinité. Cette tendance permettrait d'avoir plus de renseignements sur la possibilité de caractériser le processus de salinisation que connaît la plaine du Bas Chélif (Boulaine, 1956, Douaoui, 2006).

D'une façon générale, les corrélations « indices de salinité-altitude », sont semblables pour les deux images et sont toutes significatives. L'indice de salinité qui fonctionne le plus dans les deux images est l'IS avec  $r = - 0.43$ . La meilleure valeur est obtenue pour l'indice ISvir pour l'image Spot 2000.

**Tableau 43 : Corrélation des indices de salinités des deux images avec l'altitude.**

SPOT2000					SPOT2001				
	<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>		<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>
<b>Z</b>	<b>-0,24</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,43</b>	<b>Z</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,24</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,43</b>

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

Les corrélations qui étaient certes significatives mais avec des valeurs faibles à moyenne entre la salinité nous ont amené à pousser ce raisonnement d'avantage en ne prenant en compte que les valeurs de salinité élevée (CE > 8 dS/m).

Le tableau n°44 montre qu'il y a effectivement une amélioration des corrélations entre les indices de salinité calculés uniquement pour les valeurs de CE > 8 dS/m et l'altitude et ce pour les deux images. Il apparait aussi, que cette amélioration est plus élevée pour l'image SPOT2001 où les coefficients de corrélation sont compris entre 0.54 et 0.68.

**Tableau 44 : Corrélation des indices de salinités de la CE > 8dS/m des deux images avec l'altitude.**

SPOT2000					SPOT2001				
	<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>		<i>NDSI</i>	<i>ISvir</i>	<i>IS(khan)</i>	<i>IS</i>
<b>Z</b>	<b>-0,12</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,52</b>	<b>Z</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,64</b>

En gras les coefficients de corrélation significative au seuil de 5% (n=225).

#### **V.4. conclusion**

Le modèle numérique de terrain (MNT) a été fait pour étudier les relations existantes entre les dérivées du MNT d'une part avec la salinité et d'autres part, avec les données des images satellitaires.

La confrontation des données topographiques extraites du MNT (pente, exposition de la pente et l'altitude) aux données terrains de la CE mesurée et aux données numériques de la télédétection sous forme d'indices de sol et de végétation issus des deux images SPOT, montre des corrélations non significatives faibles avec la pente et son exposition. Ce n'est pas le cas pour l'altitude où les corrélations, certes faibles, sont significativement corrélées à la salinité, en particulier pour un ajustement logarithmique dont le coefficient de corrélation  $r = -0.44$ .

La confrontation des données de télédétection exprimées par les indices de salinité montrent des corrélations équivalentes à ceux obtenus entre la CE et les paramètres du MNT. C'est uniquement l'altitude qui présente les corrélations significatives avec ces indices. Ces corrélations se sont révélées meilleures quand on tient compte uniquement des valeurs de  $CE > 8$  dS/m et particulièrement pour l'image Spot 2001 où  $r = -0.64$ , ce qui montre que la salinité est inversement proportionnelle à l'altitude dans la plaine du Bas-Chélif.

# *Conclusion générale*

## **Conclusion générale**

Les objectifs de ce mémoire étaient d'une part, la connaissance et l'étude des états de surface et de la salinité des sols par l'application de la télédétection et d'autre part, la cartographie et l'études des relations spatiales entre la salinité, les états de surface et la morphologie des terrains dans la plaine du Bas-Chéiff.

Pour une étude assez exhaustive des états de surface, trois différentes classifications ont été appliquées à deux images satellitaires prises à des dates différentes correspondant à deux périodes successives l'une sèche (SPOT 2000) et l'autre pluvieuse (SPOT 2001).

La validation statistique basée sur la valeur de la différence minimale obtenue par le test-z de ces classifications a montré que les meilleures discriminations ont été obtenues avec l'image Spot 2000 prise en été où les fréquences des différences pour la bande rouge (B2) et la bande proche infrarouge (B3) sont toujours plus élevées. De la même façon, la meilleure classification est la méthode Transformed Divergence (TD) où à chaque fois les différences sont maximales pour B2 et B3. Concernant les deux bande, c'est toujours la B3 qui permet les meilleures discriminations et ce pour toutes les classifications et pour les deux images.

Les différents états de surface pour les trois classifications ont été bien corrélés aux différents niveaux de salinité, ce qui a montré l'impact de la salinité sur les éléments composant ces états de surface tels que la végétation et les caractéristiques du sol. Par ailleurs, la confrontation des données de télédétection avec les données de la CE mesurée par classe de télédétection montre que la période estivale (Spot2000) présente les meilleures corrélations. Concernant les classifications, les corrélations de la CE aux données de télédétection ont été les plus élevées dans le cas de la classification par TD et ce pour les deux images. Ces types de corrélations n'ont pas été conséquents aux valeurs ponctuelles.

Le modèle numérique de terrain (MNT) a été fait pour étudier les relations existantes entre les dérivées du MNT d'une part avec la salinité et d'autres part, avec les données des images Satellitaires.

La confrontation des données du MNT (altitude, pente et exposition de la pente), avec les données ponctuelles de la CE mesurée a montré l'inexistence de relations significatives avec la pente et son exposition. Ce n'est pas le cas pour l'altitude où des corrélations, certes faibles, mais significatives ont été observée avec la salinité surtout pour un ajustement logarithmique où le coefficient de corrélation est égal à  $r = -0.44$  et semble encore être plus élevé aux teneurs en sels plus importantes.

C'est également avec l'altitude que les corrélations les plus élevées ont été trouvée pour les indices de salinité qui étaient tous significatifs avec une valeur moyenne égale à 4. Ces corrélations se sont révélées meilleures quand on tient compte uniquement des valeurs de CE  $> 8$  dS/m et particulièrement pour l'image Spot 2001 où  $r = -0.64$ , ce qui montre que la salinité est inversement proportionnelle à l'altitude dans la plaine du Bas-Chéiff.

Comme perspectives, il serait intéressant d'utiliser la télédétection à très haute résolution (moins d'un mètre) pour une connaissance plus approfondie de la corrélation entre

les strates de la végétation halophytes et les dérives du MNT à fin de mieux caractériser les états de surface et améliorer la cartographie de la salinité des sols.



## Références bibliographiques

**ABH–CZ., 2002.** Bulletin de la qualité des eaux souterraines des nappes du Chélif Zahrez. Ministère des ressources en eau, 19P.

**Arrighi., A et Soille., P., 1999.** From scanned topographic maps to digital elevation models. In Proceedings of Geovision, p196.

**Bagnouls F. & Gaussen H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc.Hist. Nat. Toulouse., 88, 193-239.

**Barry J.P., Celles J.C., Faurel L.,1974 .-** Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Feuille d'Alger au 1/ 1000.000. CRBT/Ex ONRS., Université d'Alger, 42 p.

**Belouazni A., 2010.** Bilan hydrosalin à l'échelle de la parcelle et d'une zone homogène drainée dans le Bas-Chélif. Thèse de Magister, Université de Chlef, 145 p.

**Boettinger, J.L., Hartemink, A. McBratney, et Mendonca., S, 2008.** Landsat Spectral Data for Digital Soil Mapping, in Digital Soil Mapping with Limited Data, A.E., Editors. Springer. p. 193-202.

**Boukli Hacène F., Kasbadji Merzouk N., Loukarfil L., 2007.** Analyse statistique et élaboration d'un atlas éolien de la vallée du Cheliff, Revue des Energies Renouvelables Vol.10 N°4 (2007) 583 – 588.

**Boulaine J., 1957.** Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'état de l'Université d'Alger, 582 p.

**Bradaï A. H., Douaoui, AEK., Marlet S., 2008.** Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Chélif. 4ème colloque international SIRMA : Economie d'eau des les système irrigués. Mostaganem 26-29 Mai 2008. 8p.

**Browing., M et Duniway., M., 2011.** Digital soil mapping in the absence of field training data: A case study using terrain attributes and semi-automated soil signature derivation to distinguish ecological potential.

**Burrough., P. 1986.** Principes des systèmes d'information géographiques pour les l'évaluation des ressources naturels. SIGGRAPH, p173-194.

**Casenave A., Valentin C., 1989.** Les états de surface de la zone sahélienne-Influence sur l'infiltration. Ed ORSTOM, Paris, 229p.

**Daoud Y., Cheverry C., Robert M., 1993.** Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols des plaines du Chélif (Algérie). *Science du Sol*, Vol. 31, 4 : 281-293.

**Douaoui A., Gascuel-Oudou C., Walter Ch., 2004 :** Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. *EGS*, Vol. 11, N°4, 379-39.

**Douaoui A., Hartani T. Lakehal M., 2006.** Deuxième atelier régional scientifique et technique sur les systèmes irrigués dans les pays maghrébins. IAV Hassan II et l'ENA de Meknes. Marrakech, Maroc, SIRMA 29-31 mai 2006.

**Douaoui A., Lépinard P., 2010.** - Télédétection et salinité des sols, *Géomatique Expert*, 76 – 2010.

**Douaoui A., Nicolas H., Walter Ch., 2006.** Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *GEODERMA*,134(2006).

**Douaoui A.,Hartani T.,2007 .** Troisième atelier régional scientifique et technique sur les systèmes irrigués dans les pays maghrébins. Nabeul, Tunisie, SIRMA 04-08 juin 2007.

**Douaoui., A. 2005.** Variabilité Spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif .Apport de la géostatistique et de La télédétection, Thèse Doctorat d'état, INA d'Alger, 2005, 258p.

**Douette, M. 2001.** Etude de la caractérisation des paysages à l'échelle régionale. Mémoire d'Ingénieur en Agronomie, ENESAD – 2001, 117 p.

**Escadafal., R. 1989.** Caractérisation de la surface des sols arides par observation de terrain et par télédétection. (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération). Thèse de Doctorat, l'Université de Paris VI, France. Edition de l'ORSTOM. 293 p.

**Fernandez-Buces N., Siebe C., Cramb. S, Palacio J. 2006.** Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texcoco, Mexico. *Journal of Arid Environments* 65 (2006) 644– 667.

**Gherina S.A., 2008.** Impact de l'utilisation des eaux souterraines dans l'irrigation sur la dégradation des sols de la plaine du bas-Chélif. Mémoire de magister, C.U.Khemis Miliana, 111p.

**Girard M.C. & Girard C.M., 1999.** Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris529 p + CD-ROM.

**Girard M.-C., et Girard., C.-M., 1989.** Télédétection appliquée, zones tempérées intertropicales. (2 ed.), Paris, Masson, 260 p

**Hutchinson., M. 1988.** Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In I. G. Union, editor, Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling, pages, 117-133.

**IGN, 2008.** Applications de la télédétection dans l'étude de l'environnement. Institut Géographique Nationale de France, <http://www.ign.fr>.

**INRAA., 2009.** Institut Nationale de Recherches Agronomiques Algérienne, Hmadana, Relizaine.

**Jones., A., Hamilton., T et Johnson., D. 1986.** Contouring geologic surfaces with the computer. Van Norstand Reinhold Company Inc., 320-346p.

**Khan N. M., Rastoskuev V. V., Shalina E., Sato Y., 2011.** Mapping salt-affected soil using remote sensing indicators. A simple approach with the use of Gis Idrissi. 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November, Singapore, 2001.

**Madeira J., Pouget M., Bedidi A., Cervelle B, 1991.** Relations entre les constituants minéraux d'oxisols brésiliens et leurs signatures spectrales du visible à l'infra-rouge moyen: application à des données satellitaires (Landsat TM). Implications sur la texture, Deuxièmes Journées de Télédétection "Caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales. Colloques et Séminaires. Paris : Éditions de l'Orstom, 27-38.

**Manière R., Bassisty E., Celles J. C., Melzi S., 1993.** Utilisation de la télédétection spatiale pour la cartographie de l'occupation des sols en zones arides méditerranéennes : exemple Ain Oussara (Algérie) Cah. Orstom, ser. Pédol., vol. XXVIII, 1, 67-80.

**Matheron., D. 1971.** La théorie des variables généralisées et ses applications. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, 172p

**Mausel, P.W., Kramber, W.J. and Lee., J.K., 1990.** Optimum band selection for supervised classification of multispectral data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, p. 55-60.

**Mc Donald et BNEDER., 1990.** (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural), Etude de l'avant projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkat Benziane et du réaménagement du Bas Chélif.

**McBratney., Hartemin., A., Mendonca- Santos., M., 2003.** Mapping with Limited Data, Editors Springer. p. 193-202.

**Metternicht G. I., Zink J. A., 2003.** Remote sensing of soil salinity : potentials and constraints. Remote Sensing of Environment, 5812, 1-20.

**Mokhtari, D., 2009.** Apport de la télédétection dans l'évaluation de la dégradation des états de surface en milieu salin (Le Bas-Chélif). Thèse de Magister, L'U.S.T.H.B d'Alger, Janvier, 2009. 122p

**Mougenot B., 1993.** Effets des sels sur la réflectance et télédétection des sols salés. Cah. Orstom, ser. Pédol., vol. XXVIII, 1, 45-54.

**Noy-Meir., I., 1973.** Desert ecosystems: Environment and producers. Annual Review Ecology and Systematic, 1973. 4: p. 25-51.

**Omari L., 2005.** Contribution à l'étude d'un écosystème à Artemisia herba alba dans le sud Oranais. Diagnose phytoécologique et cartographique par télédétection spatiale. Mémoire de magister, Université USTHB, écologie et environnement, 125 p.

**Pearson R. L., Miller L. D., 1972.** Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short grass prairie Pawnee National Grasslands, Colorado, Proc. 8<sup>th</sup> Int. Symp. On Remote Sensing of the Environment, Ann Arbor, 1357-1381.

**Peucker., T et Chrisman., N. 1975.** Cartographic data structures. The American Cartographer, 1998, p55 et p69, 1975.

**Pouderoux., J., 2009.** Création semi-automatique de modèle numérique de terrain. Visualisation et interaction sur terminaux mobiles communicants. Thèse de doctorat. L'université de Bordeaux 1. 189p

**Pouget M., Madeira J., Le Floch E., Kamal S., 1991.** Caractéristiques spectrales des surfaces sableuses de la région côtière nord-ouest de l'Égypte : application aux données satellitaires Spot. In : Deuxièmes journées de la télédétection, caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales, Paris, Orstom, 27-38.

**Robert M et Cheverry C., 1996.** Les ressources mondiales en eau et en sols : une limitation pour l'avenir. Cahier d'agricultures.5, 243-248.

**Rouse J. W., Hass R. H., Shell J. A., Deering D. W., Harlan J. C., 1974.** Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Final Report, Type III, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 371 p.

**Saidi D., 2005.** Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux argileux du Bas Cheliff, Thèse de Doctorat d'Etat, INA, Alger, Algérie, 200 p.

**Saidi D., Le Bissonnais Y., Duval O., Daoud Y., Halitim A., 2004.** Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie). Etude et Gestion des Sols, 137-148p.

**Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie, typo-litho. Alger.

**Shepard., D. 1968.** A two-dimensional interpolation functions for irregularly-spaced data. In Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference, 517-524p.

**Sibson., R. 1981.** A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation, V. Barnett, John Wiley and Sons, 1981, pages 21-36.

**Soille., P. 1992.** Morphologie mathématique : du relief à la dimensionnalité – algorithmes et méthodes. Thèse PhD, Université catholique de Louvain et Ecole nationale supérieure des Mines de Paris.1992, p274.

**Soudani. K, 2005.** Cours rédiger de télédétection. Introduction générale à la télédétection. ECOII Version 1.2 – Séries -Version PDF. ., Univ. Paris Sud XI. 26 p.

**U.S.S.L.S. (Unated State Salinity Laboratory Staff),, 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, US Department of Agriculture, Handbook n°60, U. S. Gov. Print. Office, Washington DC, 159p.

**Watson., D., F. 1992** Contouring : A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data. Pergammon Press, 122p.

**Yacono, X. 1954.** Colonisation des plaines du Chélif (de Lavigerie au confluent de la Mina), Tome 1, Imprimerie Imbert, Alger.

**Yahiaoui., I. 2011.** Evaluation de la dynamique spatiale de l'occupation du sol dans la plaine du Bas – Cheliff (Algérie) Apport de la Télédétection. Thèse de Magister, L'U.S.T.H.B d'Alger, juillet, 2011, p66.

**Young, K.E., 2002.** Characterizing and predicting suitable aplomado falcon habitat for conservation planning in the northern Chihuahuan Desert. New Mexico.