



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques

MÉMOIRE DE MASTER

Science de la Nature et de la Vie
Sciences Agronomiques
Hydro - pédologie

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Ghaoui Brahim

Le : lundi 25 juin 2018

Localisation des sols salés par image satellitaire (Cas de la région d'El-Haouche)

Jury :

M.	BOUKHIL Khaled	MAA	Université de Biskra	Président
M.	KHECHAI Salim	MAA	Université de Biskra	Rapporteur
Mme.	KESSAI Abla	MAA	Université de Biskra	Examineur

REMERCIEMENTS

JE TIENS À REMERCIER ET EXPRIMER MA PROFONDE GRATITUDE AU
CHEF DE DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET
L'ENSEMBLE DES ENSEIGNANTS POUR LEURS ENCOURAGEMENTS ET
LEURS PRÉCIEUX CONSEILS.

QU'IL ME SOIT PERMIS DE REMERCIER PROFONDÉMENT MON
PROMOTEUR MR. **KHECHAI SALIM**, CO-PROMOTEUR WALID AZIEZ.

JE TIENS À EXPRIMER MES REMERCIEMENTS AUX MEMBRES DU JURY,
QUI ONT ACCEPTÉ D'ÉVALUER MON TRAVAIL.

EN FIN, MERCI À TOUS CEUX QUI ONT RENDU POSSIBLE CE TRAVAIL, ET
MÊME S'ILS NE SE RETROUVENT PAS DANS CETTE PETITE LISTE, ILS
SONT DANS MES PENSÉE.

MERCI ENCORE UNE FOIS

Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma très chère mère ma première encadrant depuis ma naissance, quelle trouve ici l'hommage de ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être, ne sera à l' hauteur de ces sacrifices et ses prière pour moi ;

A mon frères : Mehdi à qui je souhaite beaucoup de réussite et de bonheur ;

A mes amis tous pour son nom, et tous ceux que j'aime et tous qui m'aiment ;

A tous mes camarades de la promo 2018;

Et tous que j'ai oubliés.

Une spéciale dédicace à une personne qui a été très paternaliste avec moi Mr.khechai Salim. ; Trouvez dans ce modeste travail mes sincères gratitudes et reconnaissances.

Liste des Figures

Figure 1	Localisation de la ville de Biskra. (Source : Web)	1
Figure 2	Données climatique sur la région de Biskra	3
Figure 3	Image satellite (CCT, 2005).	13
Figure 4	Etapas du processus de la télédétection	14
Figure 5	Onde électromagnétique (Lillesand et Kieffer, 1987)	15
Figure 6	Spectre électromagnétique et les systèmes de télédétection	16
Figure 7	Les types de réflexion (BONN et al., 1992).	17
Figure 8	Absorption, réflexion et transmission (BONN et al., 1992).	17
Figure 9	Télédétection active et télédétection passive (CCRS/CCT)	20
Figure10	Principe de correction géométrique, corrections par points d'amers ou de contrôle	24
Figure 11	Rehaussement des images: amélioration de la qualité visuelle de l'image afin de faciliter son interprétation.	25
Figure 12	Rehaussement de l'image (CCT, 2005).	26
Figure 13	Classification de l'image.	28
Figure 14	Classification supervisée appropriées.	29
Figure 15	Courbes typiques de la réflectance spectrale de la végétation du sol et de l'eau	31
Figure 16	Interface du logiciel Surfer	39
Figure 17	Image satellitaire Landsat 8	41
Figure 18	a .Zone d'étude image Google Earth	41
Figure 19	b . Zone d'étude Image satellitaire Landsat 8	42
Figure 20	Diagramme de Piper	44
Figure 21	Diagramme de Schoeler	44

Figure 22	Pouvoir d'alcalinisation	44
Figure 23	Relation ESP et CE	44
Figure 24	Variation spatiale du sodium	45
Figure 25	Variation spatiale des chlorures	45
Figure 26	Variation spatiale de la salinité	46
Figure 27	Histogramme Bidimensionnel	47
Figure 28	Classification supervisée de la Zone d'étude	48
Figure 29	Superficies des classes des sols	50

Liste des Tableaux

Tableau 01	Echelle de valeurs de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée à 25°C (USSSL, 1954).	05
Tableau 02	Nature de la salinisation selon Cl-/SO--.	06
Tableau 03	Historique des satellites LANDSAT.	18
Tableau 04	Caractéristiques des principaux systèmes satellitaires d'observation de la terre dans les bandes du visible et du proche infrarouge.	22
Tableau 05	Relations entre couleurs et bandes spectrales pour les images couleurs et infrarouge.	32
Tableau 06	Bandes spectrales du satellite Landsat 8	40

Liste des Abréviations

- **T** : Température C°.
- **C°** : Degré Celsius.
- **%** : Pourcentage.
- **CEC** :Capacité D'échange Cationique.
- **MO** : Matière Organique.
- **pH**: Potentielle Hydrogène.
- **meq**: milliéquivalent.
- **K+**: Potassium.
- **Ca²⁺**: calcium.
- **Mg²⁺**: magnésium.
- **S**: soufre.
- **Ppm**: partie par million
- **ms/cm**: mél siemens par centimètre
- **V%**:taux de saturation
- **Na⁺** : sodium

PLANT DE TRAVAIL

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviations

Introduction générale

Premier partie : Synthèse bibliographique

CHAPITRE I : Généralités sur la région de Biskra et les sols sales

I.1 GENERALITE SUR LA REGION DE BISKRA.....	01
I.1.1. Situation géographique.....	01
I.1.2 Description de la wilaya de Biskra.....	01
I.1.3. Climatologie.....	02
I.1.4. Végétation.....	03
I.2 Généralité sur les sols salés.....	04
I.2.1.Définition.....	04
I.2.2. Classification.....	04
I.3. Caractérisation de la salinité et de la sodicité des sols.....	04
II.3.1 Caractérisation de la salinité.....	04
I.3.1.1.Détermination de la composition ionique de la solution du sol.....	06
I.3.1.2 Calcul du SAR (Sodium adsorption ratio).....	06
I.3.1.3 .Réaction du sol.....	07
I.3.2. Caractérisation de la sodicité du sol.....	07
I.4 Sols de la région de Biskra.....	08
I.4.1. Sols calcaires.....	08
I.4.2 Sols gypseux.....	08
I.4.3 Sols salés.....	09

I.4.4 Les accumulations dunaires.....	10
I.4.5 Les sols alluvionnaires.....	11

CHAPITRE II : Notions fondamentales sur la télédétection

II.1.Définitions.....	12
II.2. Apport de la télédétection.....	12
II.3. Données de la télédétection.....	13
II.4 Etapes du processus de la télédétection.....	13
II.5. Spectreélectromagnétique.....	14
II.6. Satellites d’observation de laterre.....	18
II.7. Plate – forme.....	19
II.8.Capteur.....	19
II.9.Orbite des satellites.....	21
II.10.Satellites d’observation de la terre.....	21
II.11.Traitements des données de télédétection.....	23
II.12. Prétraitement.....	23
A- Corrections radiométriques.....	23
B- Corrections géométriques.....	24
C- Géoréférencement de l’image.....	24
II.13. Rehaussement de l’image.....	25
II.14. Transformations d’images.....	26
II.15. Classification de l’image satellitaire.....	27
A- La classification non supervisée (non dirigée).....	27
B- La classification supervisée (dirigée).....	28
II.16. Synthèse desnéo-canaux.....	29

Deuxième partie : Etude Expérimentale

CHAPITREIII : Matériels et Méthodes

III.1. Zone d’étude.....	34
III. 2 Analyses du sol.....	34

III.3. Analyses informatiques.....	39
II.3.1. Logiciel DIAGRAMMES.....	39
III.3.2. Logiciel Surfer.....	39
III.4. Traitement d'image satellitaire.....	40
III.4.1. Information sur l'image.....	40
III.4.2. Zone d'étude.....	41
III.4.3. Démarche méthodologique de traitement de l'image satellitaire.....	42
III.4.4. Logiciels de traitement d'image satellitaire.....	42

CHAPITRE IV : Résultats et Discussion

IV.1. Etude pédologique.....	43
IV.2. Variation spatiale du sodium, des chlorures et des CE.....	45
IV.3. Traitement de l'image.....	46
IV.3.1. Interprétation numérique.....	47
IV.3.2. Classification de l'image.....	47
IV.3.3. Superficies calculées des classes de sols.....	49

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Trois milliards d'hectares, est la superficie cultivable sur terre (**Nahon, 2008**). La moitié de cette superficie est déjà cultivés. Comme on prévoit à court terme le doublement des populations humaines, il est plus que temps de se préoccuper de la sauvegarde du capital sol. Or, ce capital est inextensible et menacé par différents facteurs qui fragilisent et réduit la fertilité agronomique des sols.

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe (**Mhiri et al, 1998**). Elle est, notamment, engendrée par l'irrigation agricole, la remontée de nappe et le saupoudrage éolien (**USDA, 2014**). Selon les estimations les plus récentes de la (**AFES, 2008**), la salinisation affecte déjà au moins 400 millions d'hectares et en menace gravement une surface équivalente. La salinisation est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la Terre (**Jean-Paul Legros, 2009**).

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité, affectés par la salinité ou susceptible de l'être (**Halitim, 1988**). Les sols salins sont très répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de Mina près de Rilizane, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts (**Durand, 1958 ; Douaoui et al, 2006 ; Bradai et Douaoui, 2009 ; Ait-Mechedal et al, 2017**). Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (**Valles et al, 1979 ; Hamdi-Aissa et al, 2004 ; Boumaaref, 2015**).

Dans la région de Biskra, la localisation des sols salés, fait l'objet de quelques données fragmentaire qui donne une idée générale sur le phénomène de salinisation et dégradation des sols (**Khechai et Daoud, 2016**) or, il n'est recensé que peu études cartographiques fiables et précises dans la région de Biskra (**Mostephaoui et al, 2013**).

La présente étude a pour l'objet la localiser les sols à caractère salé dans la région d'El-Haouche, par à la technologie de l'imagerie satellitaire, afin de produire une carte de localisation et de répartition des classes de salinisation des sols.

CHAPITRE I:

GENERALITES SUR LA REGION DE BISKRA ET LES SOLS SALES

I.1.Situation géographique

La wilaya de Biskra est la capitale des Monts du Zab (Zibans). Elle est surnommée la reine des Zibans (Arrous-ezzibane en arabe) et la porte du désert, elle se situe à une altitude de 87 m au niveau de la mer. Ce qui fait d'elle est une des villes les plus basses d'Algérie située à 400 km environ au sud-est d'Alger.-



Figure 1.Localisation de la ville de Biskra. (Source : Web)

Notre zone d'étude -la wilaya de Biskra- est située au sud-est de l'Algérie, dans la zone des oasis au basse Sahara entre la région des Aurès et les Zibans. Elle est délimitée : au Nord par la wilaya de Batna, à l'est par la wilaya de Khenchela, au Nord-ouest par la wilaya de M'Sila, à l'ouest par la wilaya de Djelfa, au Sud-est par la wilaya d'El-Oued, au Sud par la wilaya d'Ouargla.

Astronomiquement selon le NASA Biskra est localisée sur la latitude 34°48' nord et la longitude 5°44'.

I.2Description de la wilaya de Biskra

Biskra est connue durant la période romaine sous l'appellation de Vessera signifiant escale ou carrefour d'échanges commerciaux. Puis cette dénomination évolue au gré des périodes et des

circonstances en oued el Qadr, en référence à l'actuel l'oued Zarzour, Biskra demeure ce symbole éternel qui la rattache à la région des Ziban, signifiant en berbère les oasis.¹

La wilaya de Biskra est wilaya depuis le découpage administratif de 1974, organisée administrativement de 12 Daïras et 33 communes d'une superficie de 20 986 Km² avec une population de 772 746 habitants.

I.3. Climatologie

Située en zone aride, la ville de Biskra est caractérisée par un climat doux à semi rigoureux en Hiver et par des étés chauds et secs.

Les éléments climatiques qui caractérisent un climat chaud et sec, et qui est identique à notre contexte d'étude, est le climat spécifique des régions arides, se distingue par un rayonnement solaire très intense surtout en été, les surfaces dans ces milieux sont chauffées par les rayons du soleil pendant la journée et refroidiront la nuit. Mais aussi d'importantes amplitudes journalières des températures de l'air, mais aussi des amplitudes annuelles sont également importantes. Les vents chauds dominant ces régions et sont souvent chargés de poussière. A l'exception des orages imprévus dans ces régions, la rareté des pluies est la principale caractéristique des climats arides, ils atteignent les 150 mm/an au maximum.²

La ville de Biskra se caractérise par une température maximale en été qui atteint dans le mois de juillet 42°C et une température minimale en hiver qui atteint 7°C pendant le mois de janvier. La moyenne annuelle de la température est de 21.5°C. La précipitation moyenne annuelle est très faible, environ 8.8 mm. Elle atteint sa valeur maximale durant le mois de septembre (20mm). Les précipitations en été sont presque nulles (2 mm durant le mois de juillet). L'humidité moyenne annuelle est de 46%.

¹Source : Web.

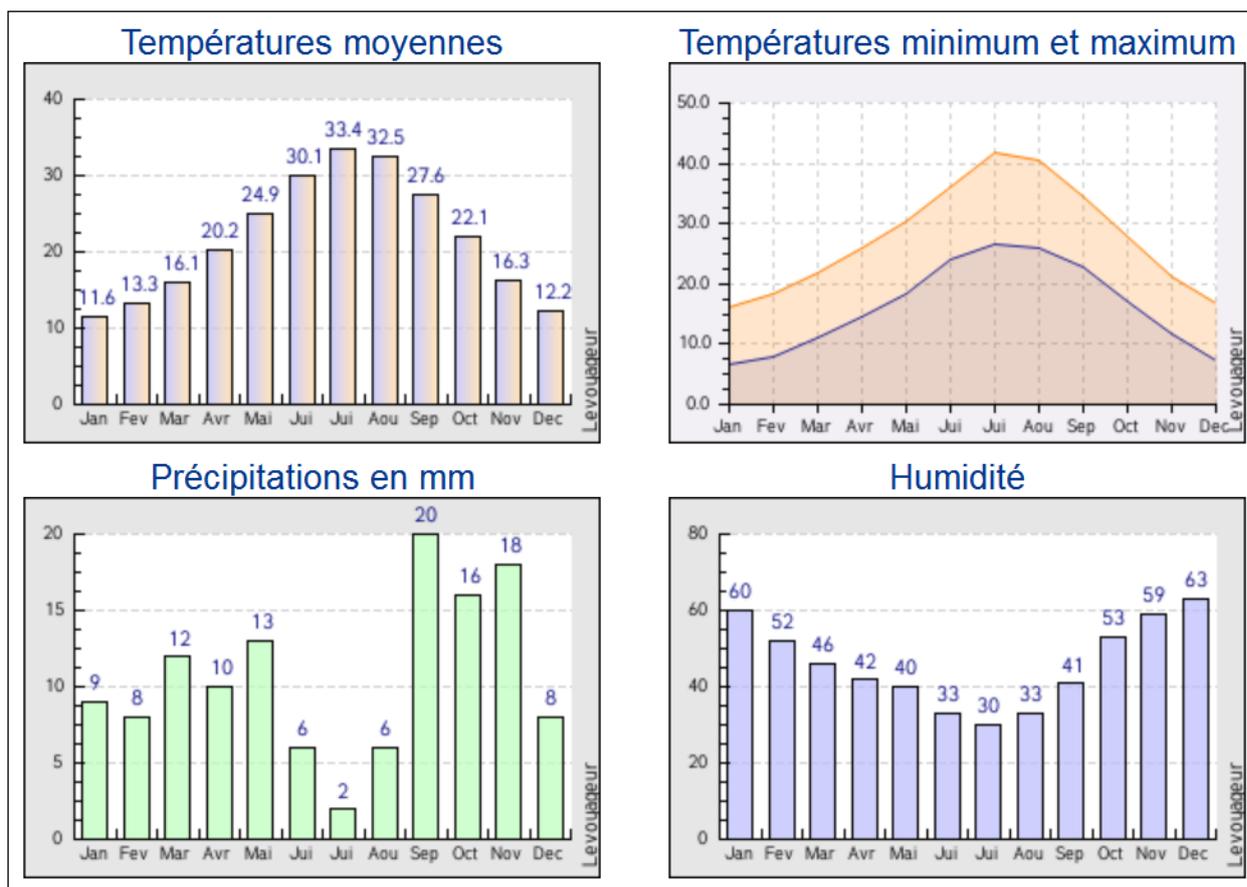


Figure 2. Données climatique sur la région de Biskra [http://www.levoyageur.net/climat-ville BISKRA.html](http://www.levoyageur.net/climat-ville/BISKRA.html)

I.4. Végétation

La végétation actuelle est le résultat des interactions des trois facteurs, climat, sol et action anthropique. L'existence des nappes favorise le développement des palmeraies dans de nombreuses oasis tel que Tolga, Bordj Ben Azzouz, Ourlal et Oumache. Les cultures maraichères sont pratiquées aussi comme culture intercalaire.

Selon **Laadjel, (2005)**, les espèces herbacées et arbustives les plus rencontrées, sont *Atriplex halimus*, *Tamarix africana*, *Salsola vermiculata*, *Limoniastrum guyanense*.

II.1 Généralité sur les sols salés

II.1.1. Définition

Les sols salés sont des sols dont l'évolution est due à la présence excessive de sels solubles, c'est à dire ceux qui sont plus solubles que le gypse et/ou un fort taux de sodium échangeable. Ce qui leur confèrent des propriétés physiques, chimiques et biologiques défavorables (USSL.1954, CPCS. 1967).

Les sels solubles, le plus souvent rencontrés sont des chlorures, des sulfates ou des bicarbonates, plus rarement on décèle des carbonates et des nitrates. Le cation le plus courant est le sodium, puis viennent par ordre décroissant le magnésium, le calcium et le potassium.

II.1.2. Classification

Elle prend en considération le niveau de la salinisation globale et de la sodicité, ainsi que l'état de dégradation de la structure du sol.

On reconnaît en général 03 catégories de sols salés (**Aubert, 1983**) :

- Sols salins ou « solontchaks » : dont la salinité globale déterminée sur pâte saturée est supérieure à 4 mmhos/cm à 25°C (classification américaine) ou à 7 mmhos (CPCS,1967) et l'ESP inférieur à 15% (classification américaine) et à 10 % (CPCS,1967).
- Sols salins à alcali ou sols salins- sodiques ou solontchaks- solonetz : dont la salinité globale est supérieure à 4 ou 7 mmhos/cm et l'ESP est supérieur à 10 ou 15%.
- Sols à alcali ou sols sodiques ou solonetz : dont la salinité globale est inférieure à 4 ou 7 mmhos/cm, et l'ESP supérieur à 10 ou 15%. Leur pH est supérieur à 8,5.

II.2. Caractérisation de la salinité et de la sodicité des sols

II.2.1 Caractérisation de la salinité

Elle s'effectue par la mesure de la conductivité électrique. Pour connaître la salinité globale d'une solution du sol, on détermine la conductivité électrique de l'extrait du sol.

La conductivité est exprimée en mmhos/cm ou dS/m à 25°C.

Cette mesure est généralement réalisée sur pâte saturée (USSL, 1954), technique exigée pour la classification des sols. Cependant, quand il n'est possible d'obtenir une pâte saturée, comme dans les cas de sols très sableux, ou pour un suivi de la salinité d'un sol, ou enfin pour des mesures approximatives il est possible d'effectuer des mesures sur des extraits aqueux dilués au 1/5 ou 1/10.

Pour la classification américaine (USSL,1954) la limite inférieure de la conductivité électrique de la pâte saturée des sols salés est de 4 mmhos/cm à 25°C. En revanche pour des auteurs français cette limite est discutable et doit être revue à la hausse (Durand, 1983).

L'échelle utilisée pour l'interprétation des valeurs de la conductivité électrique est rapportée dans le tableau 1.

Tableau 1. Echelle de valeurs de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée à 25°C (USSL, 1954).

Echelle Américaine	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
CE mmhos/cm à 25°C	<2	2-4	4-8	8-16	>16
Réaction des cultures	Effets négligeables	Les récoltes des cultures très sensibles sont réduites	Les récoltes de nombreuses cultures sont réduites	Seules les cultures très tolérantes donnent des résultats	Seul un petit nombre de cultures donnent des récoltes

II.2.1.1.Détermination de la composition ionique de la solution du sol

Afin de connaître la concentration en anions solubles (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et en cations solubles (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+), une analyse chimique est effectuée sur extrait de pâte saturée ou sur extrait aqueux dilué. Elle sert à classer le type de salinisation selon le diagramme de PIPER ou autre classification. C'est ainsi qu'on peut utiliser le rapport Cl^-/SO_4^{2-} pour classer les solutions du sol (SERVANT et SERVAT, 1966) (Tableau 2).

Elle sert aussi à calculer le SAR (Sodium Adsorption ratio) qui exprime le pouvoir de sodisation de la solution du sol.

Tableau 2 : Nature de la salinisation selon Cl^-/SO_4^{2-} .

Cl^-/SO_4^{2-}	>5	Salinisation Chlorurée
	1-5	Salinisation Chlorurée-sulfatée
	0,2-1	Salinisation Sulfato-chlorurée
	<0,2	Salinisation sulfatée

II.2.1.2 Calcul du SAR (Sodium adsorption ratio)

Le SAR traduit le risque de sodisation ou d'alcalisation du au sodium, de la solution du sol ou d'une eau d'irrigation. Quand la proportion en sodium est élevée par rapport aux cations Ca^{++} et Mg^{++} , le risque est élevé.

Le SAR est calculé selon l'expression suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} représentent les concentrations en milliéquivalents/litre dans la solution du sol ou dans l'eau d'irrigation).

II.2.1.2 .Réaction du sol

La réaction du sol ou pH est le cologarithme de la concentration en H⁺ :

$$\text{pH} = 1/\log (\text{H}^+)$$

Le pH des sols salés dont la salinité est de type neutre c'est à dire quand elle est due à des sels de bases et d'acides forts (chlorures, sulfates, de sodium, de calcium, de magnésium), reste inférieur à 8,5 et le sol est basique.

Si la salinité est en revanche due à des sels de bases fortes et d'acides faibles, ce qui est le cas des bicarbonates ou des carbonates de sodium, le pH est au dessus de 8,5 et peut atteindre 10, et le sol est alcalin.

II.2.2. Caractérisation de la sodicité du sol

La sodicité représente le pourcentage de sodium échangeable (ESP), c'est à dire la proportion de Na⁺ par rapport à tous les cations échangeables ou

$$\text{ESP} = 100 \text{ Na}^+ / \text{CEC}$$

où Na⁺ et CEC sont exprimés en meq/100g. Plus l'ESP est élevé, plus le sol est sodique et plus ses propriétés physiques (perméabilité, dispersion, stabilité structurale) sont défavorables.

Il existe une certaine relation entre l'ESP et le SAR et de nombreuses expressions mathématiques liant ces deux paramètres ont été établies, à titre d'exemple on peut citer :

$$\text{ESP} = 1 + (- 0,0126 + 0,0147 \text{ SAR}) \text{ (USSSL, 1954)}$$

$$\text{ESP} = 0,988 \text{ SAR} - 0,81 \text{ (CRUESI, 1970)}$$

$$\text{ESP} = 1,049\text{SAR} - 0,381 \text{ (SERVANT, 1970)}.$$

Cependant l'expérience a révélé que ces relations ne sont généralement vérifiées que dans les conditions de leur établissement.

II.2 Sols de la région de Biskra

Biskra est sous l'influence de l'effet conjugué de l'aridité du climat, la nappe phréatique, l'irrigation par des eaux salées et les vents de sables, aussi que la pente qui joue un rôle capitale dans la distribution des éléments chimiques.

Ces facteurs de pédogénèse font apparaître les grands traits de la pédogénèse des sols (**Laajel, 2005**) à savoir les sols calcaires, sols gypseux, salés, accumulations sableuses et les sols alluvionnaires.

2.1. Sols calcaires

Selon (**Laajel, 2005**), les sols calcaires sont formés sous l'influence de deux facteurs principaux

- Les roches fréquemment carbonatées, calcaires, dolomitiques, ou simplement riches en Ca^{++} .
- Le climat qui est souvent très aride

Ces sols sont caractérisés par un profil de type $\text{AB}_{\text{Ca}}\text{C}$ indifférencié induré dont le taux de CaCO_3 dépasse 65% pose de sérieux problèmes de la mise en valeur par le calcaire total et aussi par le calcaire actif (un enrobage de la matière organique).

Le matériel parental de la formation des sols calcaires est la combinaison des molécules de Ca^{2+} et HCO_3^- dans des conditions d'évaporation et en présence de pression de gaz carbonique (**Khechai, 2006**).

L'exploitation agricole de ces sols exige un bon diagnostic des contraintes édaphiques pour une meilleure utilisation de ces terres.

A ce propos les dalles rencontrées dans cette régions posent des problèmes de résistance à la pénétration des racines, pour cela on doit faire un défoncement pour les éliminer afin d'installer la culture.

2.2.Sols gypseux

Sont largement rependus et apparaissent typiquement dans les régions arides, le gypse est le résultat de la combinaison d'un cation de Ca^{2+} et anion de SO_4^- dans une nappe minéralisée, l'accumulation de gypse en quantités importantes dans le sol est en relation avec la présence

des roches sédimentaires gypseuses ,il peut être transporté à l'état de solution ou repris sous forme solide et transporté par le vent (lunette en bordure du sebkha).

Le gypse se présente sur la surface ou en profondeur sous forme d'accumulation ; parmi les principales formes :

- les croûtes gypseuses : pour **Watson, (1985)** se sont des dépôts gypseux indurés et compactés, en générale situées à la partie superficielle de l'encroûtement.
- Les encroûtements gypseux : sont définis comme étant des horizons gypseux indurés, dont l'origine est en relation avec la présence d'une nappe salée (**Pouget, M.1980**).
 - Le trech : est un encroûtement gypseux formé directement au dessus du niveau d'une nappe par évaporation.
 - Ras –Kalb : (têtes des chiens) : des formes particulières, leur formation semble de fait par concentration dans la zone de rabattement d'une nappe.
 - Deb – Deb (debdab) : est un encroûtement gypseux cristallisé se formant par concentration au sein d'une solution chargée en sulfate de calcium.

Les sols gypseux offrent à la végétation un milieu très défavorable et difficile à traverser aussi bien du point de vue physique que chimique (déficit en élément nutritif, pH fort, diminution de nitrate et d'autres oligo éléments).

Cependant les cultures les mieux adaptées à la présence du gypse sont : le palmier dattier et la luzerne.

1.1.1. Sols salés

Le terme salin indique que le sol présente une texture sableuse par contre la sodicité indique une texture argileuse.

Les sols salés présentent un profil de type ABC, il est dit salé lorsque :

- CE (conductivité électrique) est = 4ds/m (soit un taux de sel de 2.5g/l)
- pH < 8.5
- ESP < 10% (pourcentage de sodium échangeable)
- Texture sableuse
- Bonne structure

Cependant les sols sodiques sont définis par

- $CE > 4 \text{ ds/m}$
- $ESP > 10\%$
- $pH > 8.5$
- texture dégradée

Les premiers peuvent être corrigés par une simple irrigation qui fait lessiver les sels excédentaires et rendre le sol plus apte aux cultures ; pour corriger le deuxième type de sol on doit apporter le Ca^{2+} sous forme de gypse pour substituer le sodium, une fois la structure est améliorée une irrigation excessive va drainer les sols hors des profils

On note aussi la présence d'une dépression saline Sebka, elle collecte tout les sels drainés de l'amont du toposéquence, elle se forme dans les temps secs surtout l'été avec des minces couches grisâtres ou hanchâtes (les inflorescences salines) qui peuvent devenir de véritables croûtes cristallines.

La saturation en sels devient excessive, elle peut atteindre 320 à 360 g/l avec des dépôts de chlorure de sodium et de gypse qui s'accumule en bordure de la dépression par voie éolienne toute au tour de la sebka, la présence d'une nappe phréatique salée peu profonde, contribue à la formation des sols allomorphes (**Pouget, , 1980**).

1.1.2. Les accumulations dunaires

Ces sols sont de type AC sur un support gypseux (Deb-deb) où le sable issus par transport éolien se dépose après déflation sur un obstacle physique (Djbel Bouhgzal). IL envahit les palmeraies pour former des dunes stabilisées par voie biologique en distingue deux types de textures : sableuse et sablonneuse

Parmi les contraintes qui s'opposent à l'exploitation de ces sont on cite :

- dominance d'une texture sableuse.
- faible pouvoir de rétention en eau.
- absence d'un support physique pour entretenir la culture
- stérilité du sol (physique, biologique, chimique).

Ces sols constituent une menace pour les riverains et pour les infrastructures socio-économiques et le centre-ville de la wilaya.

1.1.3. Les sols alluvionnaires

Ce sont des sols qui ont évolué au niveau des bordures d'écoulements d'eau à savoir les oueds. Ils sont caractérisés par une forte fertilité chimique, à savoir les terrasses de oued El Hai et de l'oued Djedi et celles de oued Areb (**Khechai, 2006**).

CHAPITRE II:

NOTIONS FONDAMENTALES SUR LA TELEDETECTION

1. Définitions

Plusieurs définitions de la télédétection sont proposées :

Selon **Girard, (1999)**, l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.

La télédétection est une technique qui permet de détecter à distance, sous forme de photographies, d'enregistrement donnant lieu à des images, ou de profils, les variations d'absorption, de réflexion et d'émission des ondes électromagnétique " (**SCANVIC., 1983**).

La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. » (**Soudani., 2005**).

la télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'image permet l'obtention de l'information sur la surface de la terre sans contact direct avec celle-ci.

2. Apport de la télédétection

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

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

3. Données de latéledétection

Les données de télédétection sont le plus souvent fournies en format d'images numériques. L'image correspond à une matrice de pixels. La taille du pixel correspond à la résolution spatiale et son contenu correspond à l'intensité du rayonnement réfléchi ou émis. Cette intensité est exprimée en niveaux de gris (Figure 3). Pour chaque bande spectrale correspond une image résultante (Soudani, 2005).

Les informations acquises par télédétection spatiale sont restituées sous forme d'images ou l'unité de résolution est de pixel. Ce dernier est défini comme étant « la plus petite surface homogène enregistrée de la maille d'échantillonnage » (Robin, 1998).

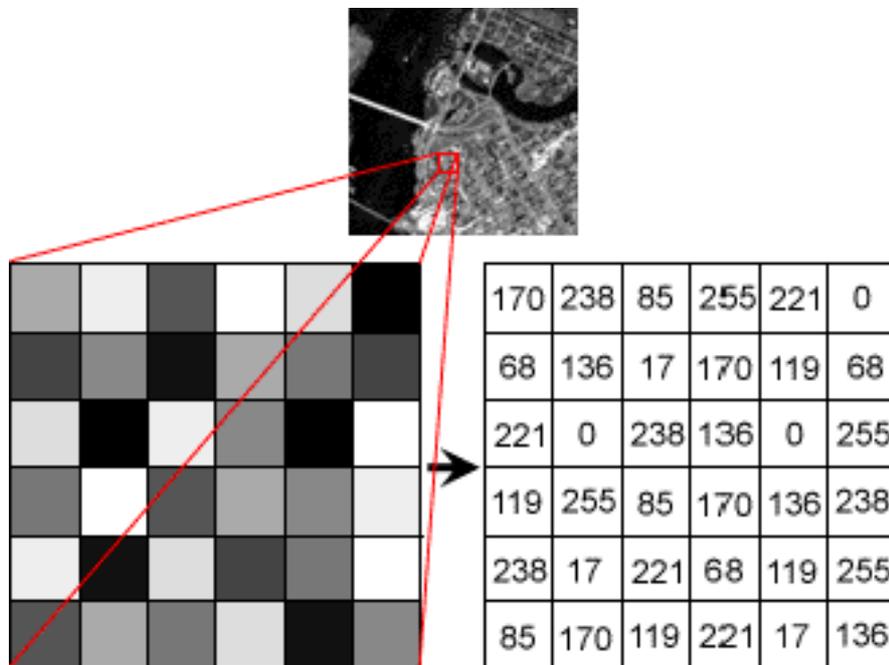


Figure 3: Image satellite (CCT, 2005).

4. Etapes du processus de latéledétection

Dans la plupart des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles. Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept étapes que nous élaborons ci-après (CCT, 2005) (figure 4):

A- Rayonnement et atmosphère : durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère, une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.

- B- Interaction avec la cible : une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci la nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.
- C- Enregistrement de l'énergie par le capteur : une fois l'énergie est diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.
- D- Transmission, réception et traitement : l'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- E- Interprétation et analyse : une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est en suite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- F- Application : la dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraire de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

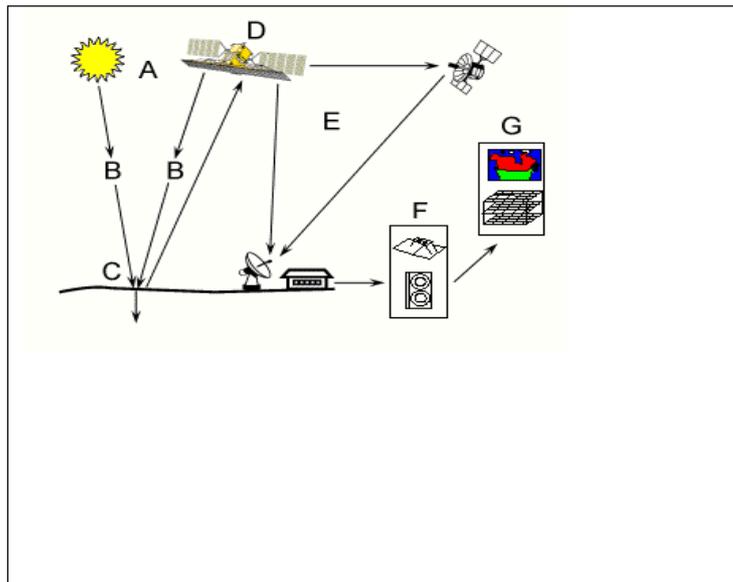


Figure 4. Etapes du processus de la télédétection

5. Spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique présente toutes les gammes d'ondes (Figure 5) depuis les plus petites longueurs d'onde (fréquence très élevée) jusqu'aux plus grandes

(fréquence très basse).

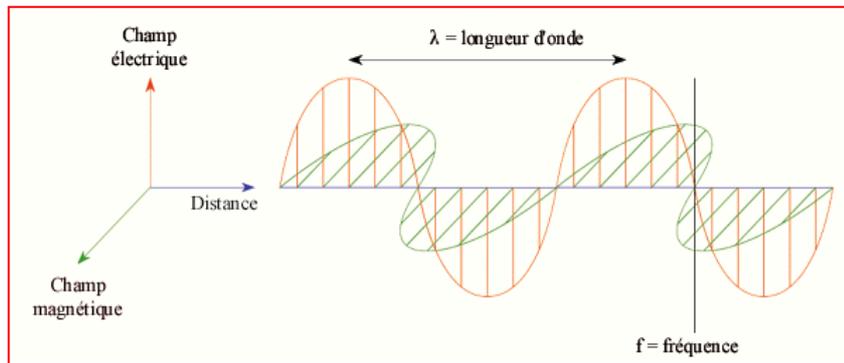


Figure 5: Onde électromagnétique (Lillesand et Kieffer, 1987)

Les ondes les plus utilisées en télédétection sont :

- Le visible, rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres:

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

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

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

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

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

- L'infrarouge thermique, émis par les surfaces terrestres:

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

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

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

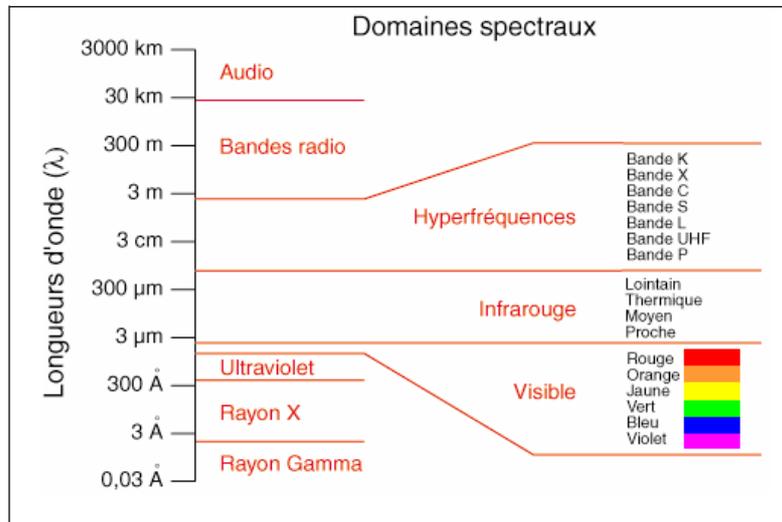


Figure 6. Spectre électromagnétique et les systèmes de télédétection
(LILLESAND et KIEFFER, 1987).

Réponse du milieu observé

Le milieu observé interagit avec le rayonnement incident et donne une réponse liée à des mécanismes tels que: l'émission propre, la réflexion, la diffusion et l'absorption, caractérisant ainsi la surface et l'intérieur du milieu observé (contenu en eau, rugosité...).

L'absorption se produit lorsque l'énergie du rayonnement est absorbée par la cible, la transmission lorsque l'énergie du rayonnement passe à travers la cible et la réflexion

lorsque la cible redirige l'énergie du rayonnement (MASSON et RANNOU, 2002).

La réflexion : Les rayonnements peuvent être réfléchis et renvoyés vers l'Espace (Figure 7). Le plus souvent, il s'agit alors d'une réflexion diffuse, qui s'effectue dans toutes les directions. L'énergie qui n'est pas réfléchie est absorbée. La réflectance est le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie reçue.

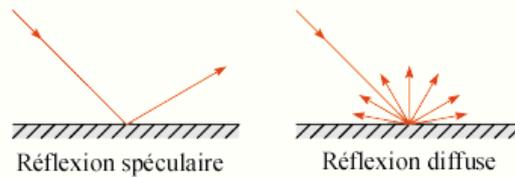


Figure 7 : Les types de réflexion (BONN et *al.*, 1992).

L'absorption: Elle traduit l'aptitude d'un corps à ne pas réfléchir les rayonnements reçus. Un corps qui absorbe a tendance à s'échauffer. Cette énergie absorbée est transformée en température qui produit une émission de rayonnement électromagnétique (absorption = émission). L'absorptance est définie comme le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie reçue (Figure 8).

Transmission : ou transmittance est le rapport entre l'énergie transmise et l'énergie reçue.

L'énergie reçue (E_r) par un objet est décomposée en trois énergies : réfléchie (R), transmise (t) et absorbée (a). Ainsi on a :

$$E_r = r + t + a \quad \text{et la réflectance} = r/E_r$$

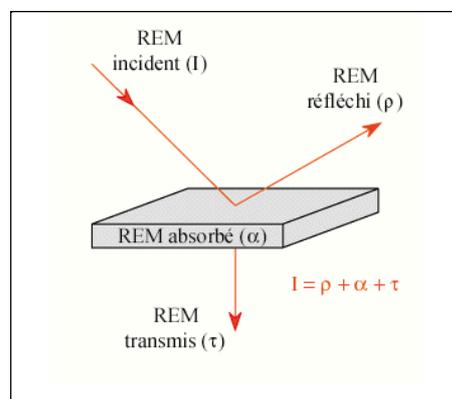


Figure 8: Absorption, réflexion et transmission (BONN et *al.*, 1992).

6. Satellites d'observation de laterre

Selon la NASA, la naissance des satellites s'échelonne d'avril 1960 (lancement de 'Transit 1', premier engin spatial pour la navigation) et juillet 1962 ('Telstar', premier satellite de communication), juillet 1972 ('Landsat 1, le premier satellite opérationnel d'observation de la terre), et au milieu des années 80 avec ceux de Landsat 4 et 5 et de Spot. Qui sont les vecteurs les plus courants transportant descapteurs (Tableau 3).

Tableau 3.Historique des satellitesLANDSAT.

Satellite	Date de lancemen t	Altitude moyenn e	Cycle orbital	Fauchée	Capteurs,canaux et résolution spatiale
Landsat 1	juillet 1972	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 2	Janvier 1975	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 3	mars 1978	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m)
Landsat 4	juillet 1982	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 5	Janvier 1984	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 6	oct. 1993	Détruit après lancement			
Landsat 7	avril 1999	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM + (7 canaux, 30 m,plus canal panchro, 15m)

7. Plate – forme

Le terme plate-forme s'applique à tout véhicule spatial, aérien ou terrestre capable de porter un capteur. Appelée aussi vecteur à tout objet se déplaçant et susceptible de porter un capteur, on peut donc définir divers types de vecteurs :

Ceux qui opèrent à quelques mètres du sol : grue, ou véhicules qui supportent des radiomètres ou appareils photographiques.

- Ceux qui opèrent entre la dizaine de mètres et la dizaine de kilomètres : avion, ballon, hélicoptère.
- Ceux qui opèrent entre la dizaine et la centaine de kilomètres : les ballons stratosphériques.
- Ceux qui opèrent entre 200 et 40000 km : ce sont les satellites soumis à l'attraction terrestre.

Composantes du satellite

Un satellite artificiel se compose de (CCT, 2005)

1. Un système de maintien de l'altitude, constamment perturbé par l'attraction de la terre, les frottements de l'atmosphère, la pression des radiations solaires.
2. Un système de commande d'altitude pour orienter l'axe de prise de vue vers la terre et empêcher le satellite d'osciller là encore les corrections sont faites avec des jets d'azote.
3. Un système producteur d'énergie : les panneaux solaires qui produisent l'électricité nécessaire.
4. Un système de contrôle des opérations à bord et des communications avec la station au sol.
5. Des antennes radio pour la liaison avec le sol.
6. La charge utile : le capteur avec son système optique et son radiomètre.
7. Un système de stockage provisoire des informations que l'on peut lire lorsque le satellite entre dans la zone de réception de la station au sol.

8. Capteur

En télédétection, les capteurs sont les équipements placés à bord satellites qui permettent de mesurer des objets étudiés dans une bande donnée de longueur d'onde.

Donc le capteur (imageur) est un instrument recueille le rayonnement électromagnétique en provenance de l'objet et le transforme en un signal numérique, il fournit des données organisées en lignes et en colonnes permettant de reconstituer une image en 02 dimensions del'objet.

On distingue deux types de capteurs (Figure 9) :

1. Le capteur actif : capteur comprenant à la fois un émetteur et un récepteur du rayonnement électromagnétique, de façon à observer l'objet indépendamment d'une source de rayonnement naturel exemple : RADAR, LIDAR (*Light Détection And Ranging*)....etc.
2. Le capteur passif : capteur qui recueille le rayonnement d'origine naturelle en provenance de l'objet, dans une ou plusieurs bandes spectrales exemple : (radiomètres, caméras). l'émetteur principal étant le plus souvent lesoleil.

D'après (**GIRARD, 1999**) chaque capteur est caractérisé par :

- Sa résolution spatiale c'est à dire la dimension et des quantités d'observation de pixel.
- Sa résolution spectrale c'est à dire la finesse de séparation des longueurs d'onde proches.
- Sa résolution radiométrique, qui consiste en la distinction de quantité d'énergie captée, sa limite étant la plus petite variation d'énergiedécelable.

Télédétectionactive

Télédétectionpassive

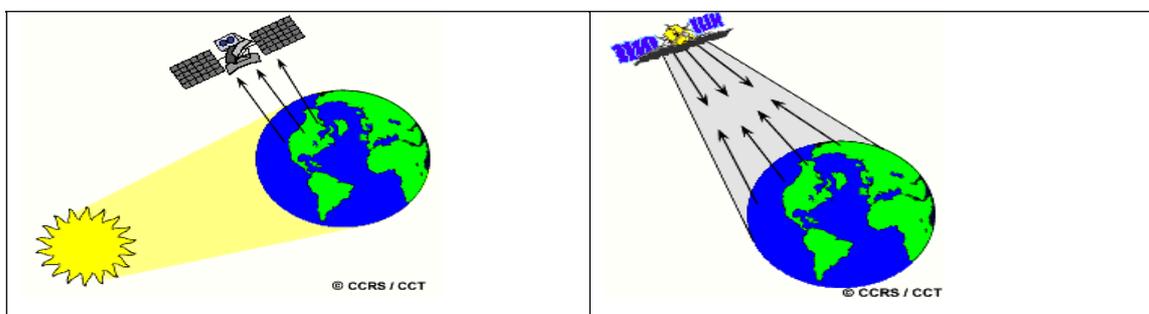


Figure 9 : Télédétection active et télédétection passive (CCRS/CCT)

9. Orbite des satellites

On note que les satellites pendant leurs rotations, ils décrivent des orbites qui influent sur leurs facultés d'observation, on distingue trois types d'orbite :

- L'orbite circulaire

Le satellite tourne autour de la terre à une même altitude. La vitesse minimale du satellite à l'altitude de 200 km est 7.77 km/s et la périodicité de l'ordre de 1h30.

Les satellites TIROS, NOAA et ERS-1 ont des orbites circulaires.

- L'orbite géostationnaire

Le satellite reste fixe au dessus d'un point de la terre. Pour cela, il doit avoir une vitesse angulaire égale à celle de la rotation de la terre et décrire dans le même sens une orbite circulaire dans plan équatorial, avec un rayon de l'orbite : 42164 km soit 35786 km au dessus de l'équateur, et vitesse 3.07 km/s.

Les satellites : METEOSAT (France), GOES (Etats- Unis), GMS (Japon), et INSAT (Inde) ont des orbites géostationnaires.

- L'orbite héliosynchrone

Le satellite passe toujours à la même heure solaire locale en un même point de la terre.

Il faut donc que le plan orbital du satellite reste fixe par rapport au plan orbital de la terre autour du soleil. Ce qui revient à la ligne des nœuds fasse un angle constant avec la droite des centres de la terre et du soleil.

Les satellites NIMBUS, LANDSAT (Américain) et SPOT (France) ont des orbites héliosynchrones.

Donc on distingue les satellites à défilement (avec des orbites circulaires quelconques ou héliosynchrones), des satellites géostationnaires.

10. Satellites d'observation de la terre

Parmi les satellites qui nous intéressent (LANDSAT, SPOT) pour l'observation des ressources terrestres, (METEOSAT, NOAA) dont le but est l'environnement et la météorologie. Le tableau 4, montre les caractéristiques des principaux satellites.

Tableau 4: Caractéristiques des principaux systèmes satellitaires d'observation de la terre dans les bandes du visible et du proche infrarouge.

Caractéristiques du Système	LANDSA T MSS	LANDSA T ETM+	SPOT	METEOSAT	NOAA-AVHRR
<u>Orbites:</u>				Géostationnaire	Circulaire
Typed'orbite	Sub-Polaire	Sub-Polaire	Sub-Polaire	35800	850
Altitude (km)	Héliosynchrone	Héliosynchrone	Héliosynchrone	25 min	12h
répétitivité	705	705	830		
	16jours	16 jours	26(ou 1ou 5) jours		
<u>Capteurs:</u>					
Balayage	Miroir oscillant	Miroir oscillant	Barrettes CCD	Rotation dusatellite	Miroir tournant
Résolution spatiale	56x79m	30m	10m(pan) ; 20m(S)	2.5 km (S1) 5 km(S2,S3)	1.1ou4km
Bandespectral es(µm) S1					
S 2	0.5-0.6	0.45-0.52	0.50-0.59	0.4-1.1	0.58-0.68
S 3	0.6-0.7	0.52-0.60	0.61-0.68	5.7-7.1	0.72-1.1
S 4	0.7-0.8	0.63-0.69	0.79-0.89	10.5-12.5	3.55-3.93
S 5	0.8-0.9	0.76-0.90			10.3-11.3
S 6		1.55-1.75			11.5-12.5
S 7		10.4-12.5			
Panchromatique		2.0-2.35	0.51-0.73		
Dimensions de la scène (km)	185	185	60	Le globe	2400

Source : GIRARD M. C., 1999

11. Traitements des données de télédétection

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

1- Prétraitement:

- Corrections radiométriques
- Corrections géométriques

2- Traitement:

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

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

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

12. Prétraitement

A- Corrections radiométriques

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

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

Les satellites d'observation de la terre passent sur chaque point de la terre à la même heure solaire. L'élévation solaire et l'azimut du temps d'acquisition sont normalement enregistrés à l'entête de l'image numérique et il est relativement simple d'ajuster les valeurs numériques d'une série d'images à une élévation solaire constante de telle sorte que les images apparaissent comme étant acquise au même moment de l'année (LEG G., 1992).

Ces traitements sont réalisés de manière générale en amont de l'utilisation finale.

B- Corrections géométriques

Elles sont destinées à corriger l'image des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variations de sol, technologie du capteur) ainsi qu'à rendre l'image superposable à une carte.

Elles sont faites soit à partir de paramètres d'orbite et d'altitudes enregistrées durant le vol, soit à l'aide de lois de déformations, pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu (UTM ou Lambert par exemple). Les lois de déformation sont calculées de point particulier, encore appelés amers, dont les coordonnées sont connues à la fois sur le terrain et sur l'image (DESHAYES M. et MAUREL P., 1990).

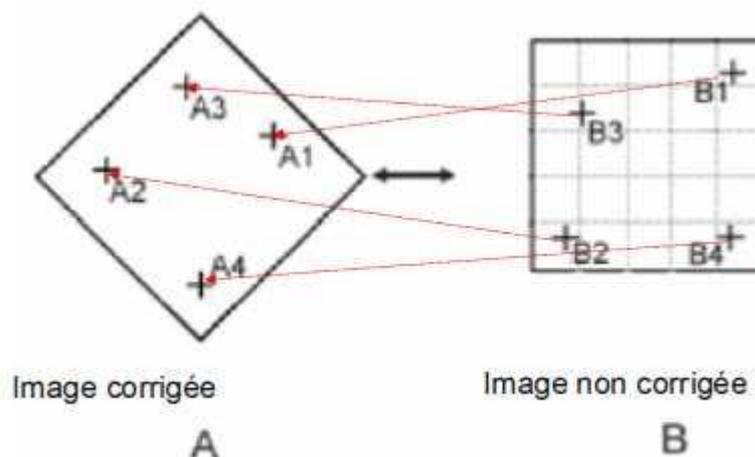


Figure10: Principe de correction géométrique, corrections par points d'amers ou de contrôle.

C- Géoréférencement de l'image

Il consiste à rectifier l'image satellite de manière à la rendre superposable à une autre image ou à un document cartographique de référence (SHLIEN, 1997 **Traitement**

13. Rehaussement de l'image

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

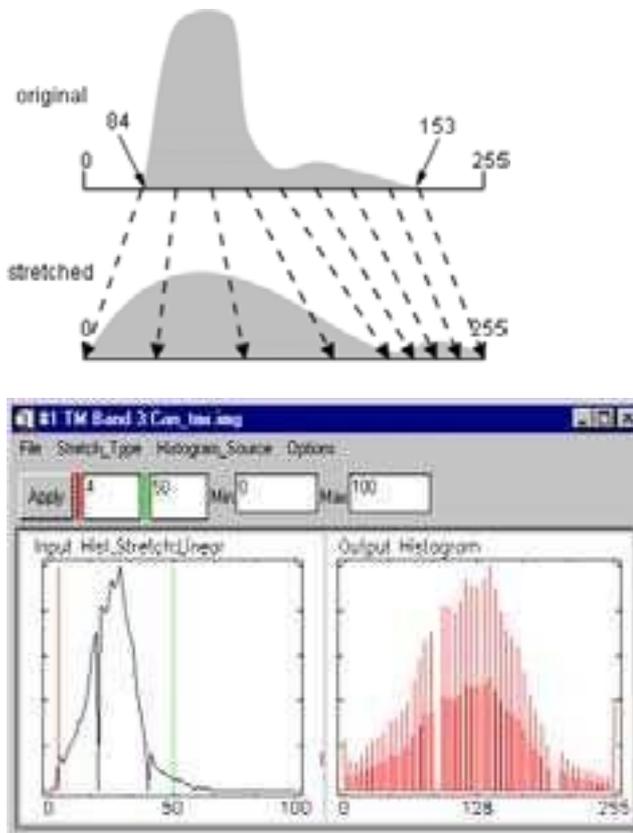


Figure 11: Rehaussement des images: amélioration de la qualité visuelle de l'image afin de faciliter son interprétation.

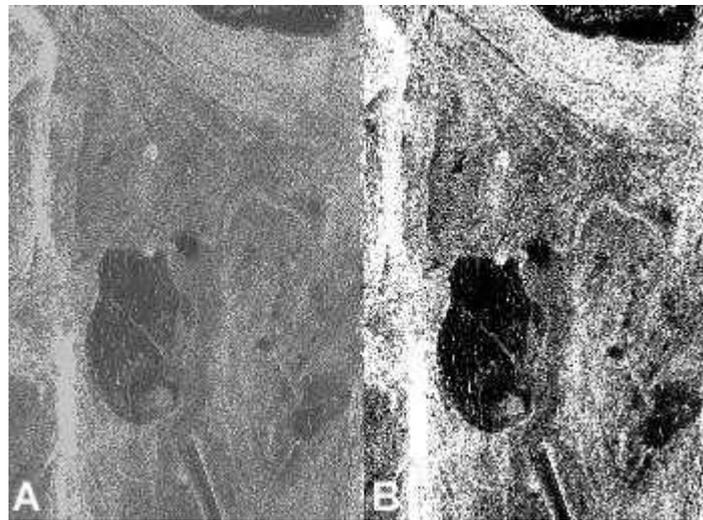
L'étude de rehaussement est abordée en étapes parmi celles : les transformations simples, telles que l'agrandissement ou la réduction de la taille de l'image, les

transformations qualifiées de globales s'appuyant sur les anamorphoses d'histogramme, les applications des filtres spatiaux et fréquentiels, traitements des méthodes de fusion d'images.

14. Rehaussement de l'image

Sont des opérations similaires à ceux de rehaussement l'image. Cependant, alors que le rehaussement de l'image qui est normalement appliqué une seule bande de données à la fois, la transformation de l'image combine le traitement données de plusieurs bandes spectrales. Des opérations arithmétiques (c'est-à-dire addition, soustraction, multiplication, division) sont faites pour combiner et transformer les bandes originales en de "nouvelles" images qui montrent plus clairement certains éléments de la scène. Nous allons examiner certaines de ces opérations incluant les diverses méthodes rapport de bande aussi appelé rapport spectral et un procédé appelé analyse des composantes principales qui est utilisée pour mieux représenter l'information en imagerie multi spectrale (CCT,2005).

Les transformations des images se reflètent aux techniques de manipulation des images brutes entre elle pour produire d'autres images dérivées utiles à un objectif donné (GAOUAS, 2003).



A -Image brute

B - Image rehaussée

Figure 12: Rehaussement de l'image (CCT,2005).

15. Classification de l'image satellitaire

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

Les techniques de classification utilisent les propriétés spectrales et parfois spatiales de l'image pour segmenter l'image en classes homogènes de type de couvertures de sol.

L'œil humain utilise la couleur, la texture, forme, taille, patron, ombre et le contexte pour identifier les différents types de couverture du sol.

La plupart des classifications opèrent sur la base de la couleur, seulement dans le sens où elles opèrent sur des valeurs individuelles de chaque pixel dans chaque longueur d'onde.

Il s'agit du procédé le plus utilisé en télédétection. Il consiste à regrouper des ensembles de pixels similaires en classes. On peut se base simplement sur les valeurs radiométriques des Pixels ou intégrer également les relations de voisinage entre pixels.

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

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

A- La classification non supervisée (non dirigée)

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

Cette technique est intéressante dans les cas où il est impossible de rendre sur le terrain.

B- La classification supervisée (dirigée)

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

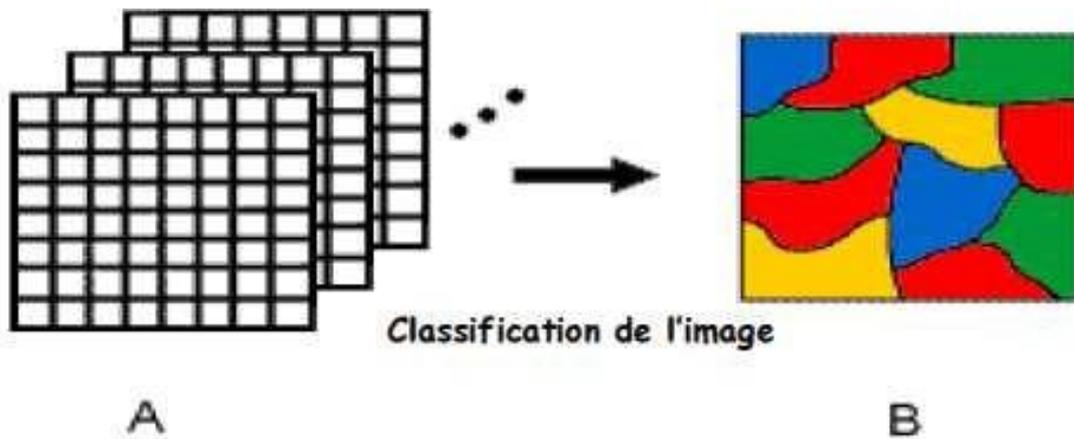


Figure 13 : Classification de l'image.

Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un ensemble de données- tests. La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image. L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique classes. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe. L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la "signature" numérique de chacune des classes. Plusieurs algorithmes différents sont possibles. Une fois que l'ordinateur a établi la signature spectrale de chaque classe à la classe avec laquelle il a le plus d'affinités. Une classification supervisée commence donc par l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui lesreprésentent.

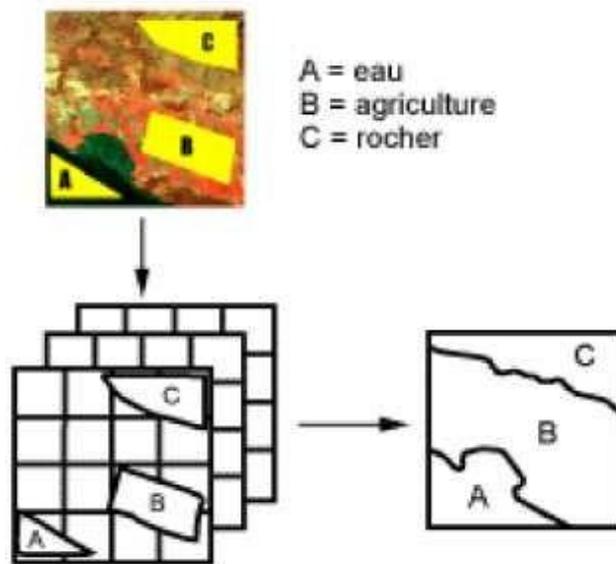


Figure 14: Classification supervisée appropriée.

L'information apportée par un seul canal ne peut pas toujours donner un détail satisfaisant, le principe consiste à utiliser trois canaux dans une même image ; à chaque canal une couleur différente, la superposition de ces images donne une nouvelle image appelée composition colorée.

La composition colorée obtenue par synthèse additive des lumières colorées (système Rouge – Vert – Bleu). En sachant que ces trois couleurs fondamentales correspondent à trois valeurs numériques pour chaque pixel.

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

16. Synthèse des néo-canaux

C'est une pratique courante dans l'analyse multi spectrale. Peut être classé comme méthode de compression des données, est issu de l'analyse de la physique des phénomènes, est utile pour différencier des objets au sol selon leur nature. L'examen des réponses obtenues dans les canaux du rouge et du proche infrarouge ont conduit à la définition de deux indices : l'indice de végétation et l'indice de brillance :

A. Indice de végétation : est lié à l'activité chlorophyllienne. C'est un indicateur de la densité de végétation, il est constitué par une simple combinaison de canaux. Ce traitement abouti à la création d'un néocanal en combinant la réflectance du canal rouge et l'infrarouge.

Le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ou IDNV (Indice de Végétation par la Différence Normalisée), variant entre -1 et +1, est un rapport normalisé entre le Proche Infrarouge et le Rouge (ROUSE et *al.*, 1974):

$$NDVI = (PIR - R)/(PIR + R)$$

Les zones végétalisées atteignent des valeurs comprises entre 0,6 et +1, les sols nus avoisinent 0 quant aux surfaces en eau elles présentent des valeurs négatives (LILLESAND et KIEFFER, 1994). Par ailleurs, de nombreuses études ont montré que le NDVI, notamment dans les régions à couvert végétal épars, est plus ou moins influencé par la couleur des sols et les conditions d'humidité (RONDEAUX et *al.*, 1996).

B. Indice de brillance: traduit les changements de teintes des sols nus et des roches.

Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les deux canaux.

$$IB = \frac{(PIR)^2 + R^2}{PIR + R}$$

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

La figure 15 présente les courbes de la réflectance spectrale de 3 types de couverture :

la végétation, le sol et l'eau. On remarque nettement la distinction entre les 3 types.

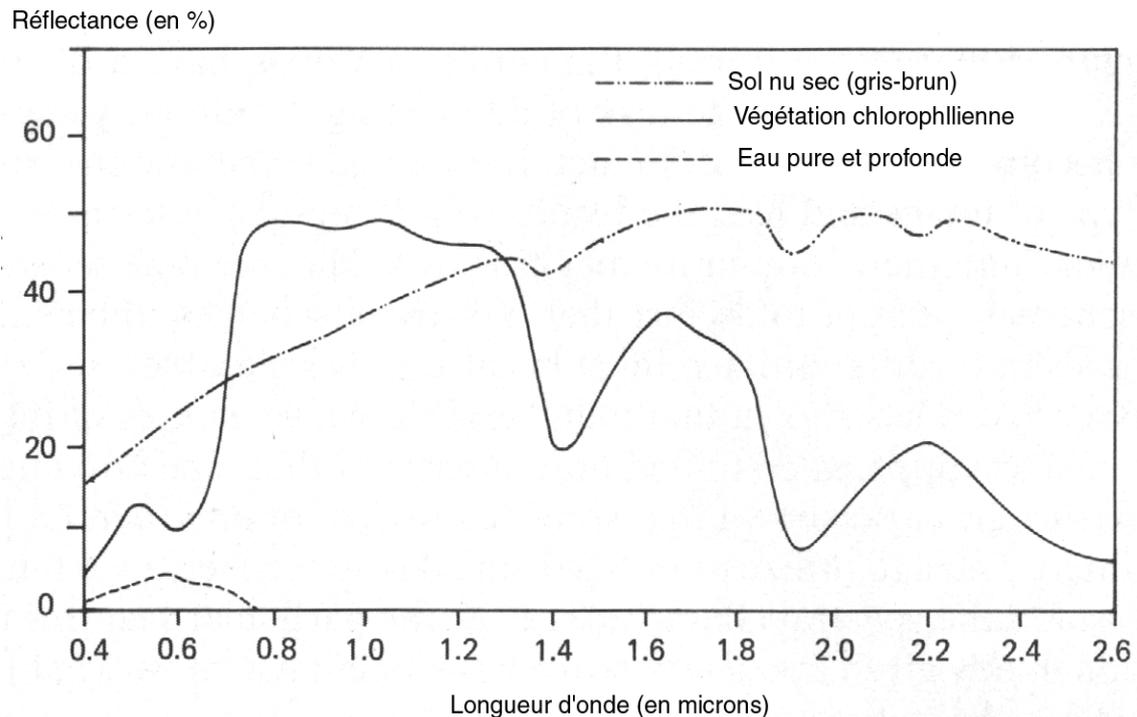


Figure 15: Courbes typiques de la réflectance spectrale de la végétation du sol et de l'eau

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

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

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

Tableau 5: Relations entre couleurs et bandes spectrales pour les images couleurs et infrarouge.

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

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

Notion de changement de la végétation (CRTS, 2004)

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

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

Fluctuations

Elles résultent de différence entre rythmes (phénologie) des différentes espèces et du réarrangement perpétuel de la répartition des individus. Les variations interannuelles, d'ordre climatique notamment, influencent ce processus de réarrangement et peuvent entraîner des variations assez marquées dans les proportions des différentes espèces actuelles et des présentes, mais sans modifier l'importance globale des espèces

dominantes (celles qui impriment leur physionomie à la végétation). Elles sont plutôt de courte durée, réversible en principe, la végétation variant d'année en année autour d'une moyenne, et sans qu'il ait généralement apparition d'espèces nouvelles. Leur importance est beaucoup plus grande en climat aride (à cause de la grande variabilité pluviométrique interannuelle) qu'en climat tempéré.

Successions

Celles-ci peuvent être considérées comme une forme plus extrême de fluctuations où les proportions des espèces dominantes changent également. La composition botanique s'éloigne de la moyenne initiale, et souvent (quoique pas obligatoirement), de nouvelles espèces s'installent. Ce terme désigne finalement le processus de colonisation d'un biotope par les êtres vivants.

CHAPITRE III:

MATERIELS ET METHODES

III.1. Zone d'étude

Cette étude vise à localiser les différentes classes de salinité des sols dans la région d'El Haouche. Le choix de cette zone est conduit selon le degré de salinisation des sols comme il est rapporté par (Khechai, 2015). Une prospection sur terrain est effectuée, dans les limites de notre zone d'étude. Elle est guidée par l'état de salure et la texture du sol, et l'altitude de la région. L'échantillonnage est effectué sur les horizons de surfaces dont les épaisseurs varient de 20 à 35 cm. Les prises d'échantillons ont été géoréférencées.

III. 2 Analyses du sol

1.pH par un pH mètre au rapport (1/5)

2.CE par un conductimètre au rapport (1/2.5)

3.Dosage du Calcium et Magnésium

Réactif

Solution tampon : 16.9g NH_4Cl dans 142.5ml NH_4OH concentré laisser refroidir complété à 250ml avec l'eau distillé

EDTA : (0.1N) 2g EDAT + 0.05g Mg Cl_2 complété à 1l

NET : 0.5g NET + 4.5g hydroxylamine hydrochlorure dans 100ml Ethanol 95%

NaOH : 8g/100ml laisser refroidir (docement)

Calcon carboxylique : 0.2g calcon carboxylique +100g Nacl

Diluer les eaux 10fois : 5ml échantillon +45ml H_2O

Mode opératoire

Témoin :

Prenant Bécher contient :

- 50ml l'eau distillé
- 0.2 g calcon carboxylique +Nacl
- 2-3 ml NaOH
- titration avec la EDAT et changement la couleur rose –bleu

Calcium

Prenant Bécher contient :

- 5 ml échantillon + 45 ml H₂O (dillution × 10)
- 2-3 ml NaOH
- 0.2g calcon carboxylique +Nacl

Cette solution est placée au-dessus l'agitateur

- Titration avec la EDAT et changement la couleur (rose –bleu)

Calcium et Magnésium

Prenant bécher contient :

- 5ml échantillon + 45 ml H₂O (dillution × 10)
- 4ml solution tampon (PH=10)
- 4 goutte NET

Cette solution est placée au dessus l'agitateur

- Titration avec la EDAT et changement la couleur (rose – bleu)

$$Ca^{2+} = \frac{V1 - V2 * 0.01 * 1000}{A} * D$$

V1 : volume de titration avec la EDAT

V2 : volume de titration avec la EDAT (Témoin)

D : facteur de dilution

A : prise d'essai

$$[Mg^{2+} + Ca^{2+}] = \frac{v1 - v2 * 0.01 * 1000}{A} * D$$

$$Mg^{2+} = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) - Ca^{2+}$$

4. Dosage du sodium et potassium solubles. Il est effectué su niveau du laboratoire de pédologie de CRSTRA.

5. Dosage des chlorures

Réactifs :

- Nitrate d'argent (AgNO_3^-) 0.01N : dissoudre 1.6987g de nitrate d'argent dans 100ml d'eau distillée. Conserver à l'abri de la lumière
- Chlorure de sodium NaCl 0.01N : dissoudre 0.585g de chlorure de sodium dans 1000ml d'eau distillée
- Chromate de potassium K_2CrO_4 5% : dissoudre 5g de chromate de potassium dans 80ml d'eau distillée, et ajouter des gouttes de nitrate d'argent (AgNO_3^- 1N = 17g/l) jusqu'à l'apparition d'un léger précipité rouge. Ajuster avec l'eau distillée à 100ml.

Mode opératoire :

- Transvaser une aliquote de 10ml l'extrait diluée (à 10 ou à 100) dans une fiole de 100ml
- Ajouter 4 gouttes de chromate de potassium.
- Titrer avec la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une coloration barbillon brique.
- Faire un témoin avec le chlorure de sodium pour estimer la normalité de nitrate d'argent exactement. Donc prélever 10ml de chlorure de sodium 0.01N et ajouter 3 gouttes de chromate de potassium et titrer avec le nitrate d'argent.

$$\text{Cl(méq/l)} = \frac{V \cdot N \cdot 1000}{A} \cdot D$$

V : volume d' AgNO_3^- 0.01N utilisé pour la titration de l'échantillon en ml .

A : volume de la prise d'essai ml.

N : normalité de la solution d' AgNO_3^- .

D : dilution (*10) ou (*100).

$$N_{\text{AgNO}_3^-} = \frac{10 \cdot N \cdot \text{NaCl}}{V_{\text{AgNO}_3^-}}$$

$N_{\text{AgNO}_3^-}$: normalité de la solution d' AgNO_3^- .

$V_{\text{AgNO}_3^-}$: volume d' AgNO_3^- utilisé (ml).

N_{NaCl} : normalité de la solution de NaCl .

6. Dosage des bicarbonates

Réactifs

- **Phénolphthaline (1%)** \Longrightarrow 1g dans 100ml d'éthanol.
- **Méthyle orange (0.01%)** \Longrightarrow 0.01g dans 100ml d'eau distillée
- **Acide sulfurique 0.05N** \Longrightarrow 1.39 ml dans 1000ml d'eau distillée

Mode opératoire

- Prélever 20ml de la solution du sol ou de l'eau et ajouter 3 gouttes de phénolphthaléine : s'il y a une coloration rose, il y a les carbonates.
- Titrer avec l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de la couleur rose .
- S'il n'y a pas une coloration de la solution ; il y a les bicarbonates . Ajouter des gouttes (3-4) de l'indicateur coloré méthyle orange et titrer avec sulfurique jusqu'à l'apparition de la coloration orange (changement de la coloration : jaune \longrightarrow orange).

Calcul :

$$\text{HCO}_3^- (\text{még/l}) = \frac{x \cdot 0.05 \cdot 1000}{y}$$

X : volume de H₂SO₄ utilisé- pour la titration.

Y : volume de la solution du sol ;20ml.

9. Dosage des sulfates (SO₄²⁻)

Réactifs :

- Eau déminéralisée ayant une conductivité <0.1 mSm⁻¹.
- Solution NaCl, HCl :

Dans une fiole jaugée de 2000ml ajouter 40ml d'HCl concentré (36%, d= 1.18) à 480 de chlorure de sodium p .a. Ajuster au volume avec de l'eau déminéralisée . Homogénéiser.

- **Gomme d'acacia 0.25 % :**

Dans une fiole jaugée de 100ml dissoudre dans de l'eau déminéralisée 0.25g de gomme d'acacia. Ajuster au volume. Homogénéiser.

- **Chlorure de baryum ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en poudre**
- **Solution mère de sulfate de sodium (Na_2SO_4) 200meq.l⁻¹ :**

Dans une fiole jaugée de 500ml contenant environ 400ml d'eau déminéralisée dissoudre 7.1025g de sulfate de sodium anhydre, ajuster au volume. Homogénéiser.

- **Solution fille de sulfate de sodium (Na_2SO_4) :**

Dans une fiole jaugée de 1000ml diluer respectivement 5, 10, 15, 20 et 25 ml de la solution mère avec de l'eau déminéralisée. Ces solutions contiennent respectivement 1, 2, 3, 4 et 5 meq/l. Ajuster au volume avec de l'eau déminéralisée. Homogénéiser.

Mode opératoire :

- Transférer 25ml de l'extrait dilué (à 10 ou à 100) dans une fiole jaugée de 100ml et ajouter 10ml de la solution (NaCl. HCl), 2ml de gomme d'acacia et 1g de poudre de chlorure de baryum.
- Agiter à la main et ajuster au volume avec de l'eau déminéralisée. Homogénéiser
- Préparer un témoin et les solutions filles selon le même protocole.
- En prenant le témoin comme référence, ajuster à 0.00 l'absorbance du spectrophotomètre, régler à 600nm.
- Mesurer l'absorbance au spectrophotomètre à 600nm pour les solutions filles et les échantillons.

Calcul :

Après lecture au spectrophotomètre, préparer un graphique sur papier millimètre dont l'axe des X étant l'absorbance et l'axe des Y la concentration en sulfates (meq/l) des solutions filles.

Tracer la droite d'étalonnage et déterminer à l'aide de cette droite les concentrations en sulfates (meq/l) des échantillons de la façon suivante :

$$\text{SO}_4 \text{ (meq/l)} = \text{C} * \text{D}$$

C : concentration calculée à partir de la droite d'étalonnage.

D : niveau de dilution (10 ou 100).

III.3. Analyses informatiques

Un traitement informatisé des différentes données résultantes des analyses laboratoires a été réalisé.

1.1. Logiciel DIAGRAMMES

Le principal outil utilisé est le logiciel DIAGRAMMES (Fig.25) créé par Roland SIMLER du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau. Ces fonctions sont variées et complètes, on peut citer:

- Les diagrammes: Piper, Stiff, Schoeller-Berkaloff, Binaire, Korjinski - Rose des vents
- Les paramètres calculés par ce logiciel : la balance ionique, teneurs en cations et anions, la dureté de l'eau, l'indice de saturation (calcite, dolomite, aragonite, gypse...).

1.2. Logiciel Surfer

Le logiciel Surfer conçu par Golden Software, permet de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) issus des données récoltées sur le terrain via GPS.

Le principe de Surfer est le suivant : le logiciel permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points x,y,z afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles qu'il est possible de créer plusieurs types de cartes : base map, contour map, 3D surface, vector et bien d'autres.

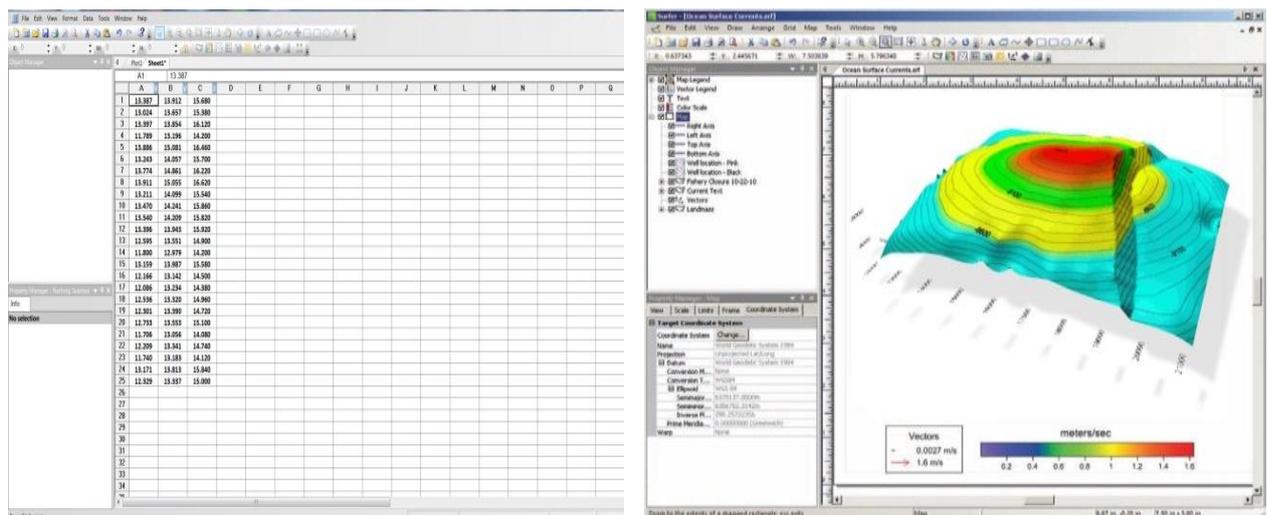


Figure 16 .Interface du logiciel Surfer

III.4. Traitement d'image satellitaire

1. Information sur l'image

Pour ce travail nous avons utilisé une scène du satellite Landsat 8 (Figure17) prise au mois de Juillet 2017. Cette image est constituée de 11 bandes spectrales répartie comme suit :

Tableau 6. Bandes spectrales du satellite Landsat 8

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

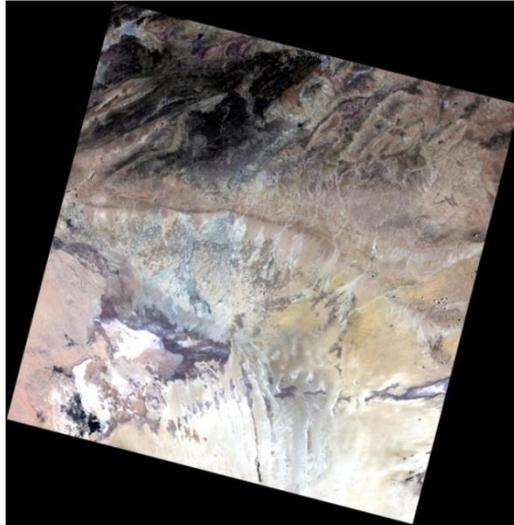


Figure 17. Image satellitaire Landsat 8

2. Zone d'étude

La zone d'étude s'étale sur les deux communes d'Aine Naga et El Houche au Sud-est de la wilaya de Biskra (Figure 18a, b)

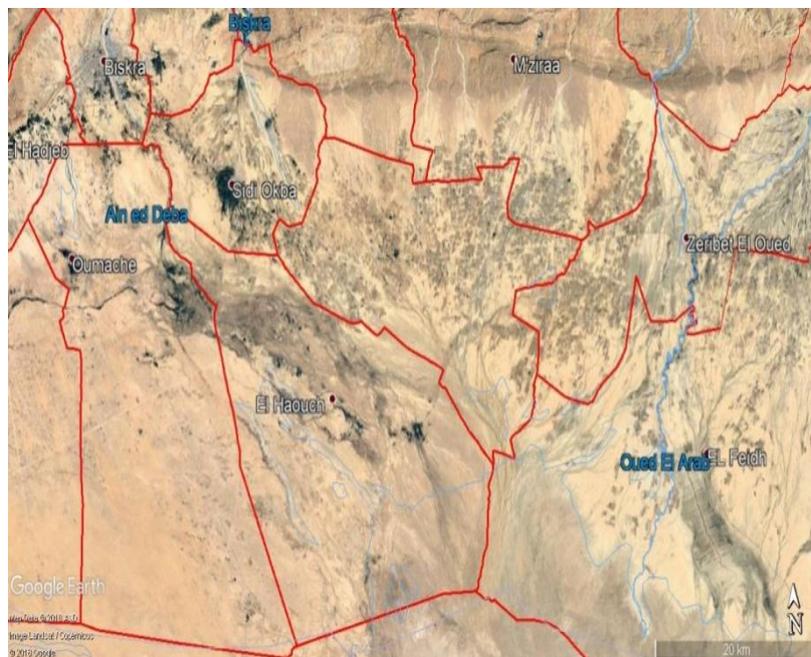


Figure 18 : a .Zone d'étude image Google Earth

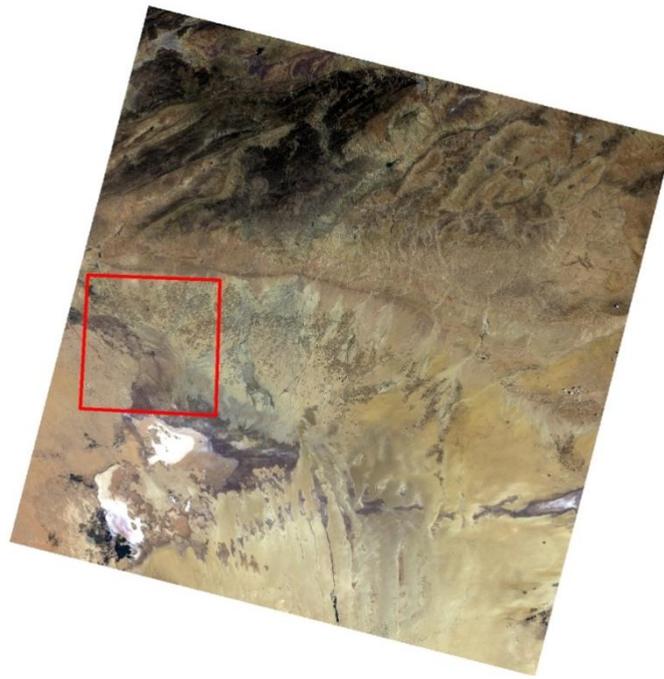


Figure 19 :b . Zone d'étude Image satellitaire Landsat 8

3. Démarche méthodologique de traitement de l'image satellitaire

Pour la réalisation d'une carte d'occupation des sols par la méthode de la classification supervisée, les étapes ci-dessous seront parcourus

- a. Acquisition des Images Satellitaire
- b. Correction radiométrique et rehaussement de l'image
- c. Extraction de la zone d'étude (Clip)
- d. Etablissement des ROI(Régions d'intérêt)
- e. Classification dirigée
- f. Etablissement de la carte finale

4. Logiciels de traitement d'image satellitaire

ENVI 4.7 (Environment for Visualizing Images) est un logiciel de traitement d'image performant et puissant (). Il répond aux besoins des utilisateurs d'image satellitaire (optique et radars). Le logiciel **ENVI** est développé par le langage de programmation **IDL (Interactive Data Language)**.

CHAPITRE IV:

RESULTATS ET DISCUSSION

V.1. Etude pédologique

L'examen du tableau de l'annexe 1 de la composition des solutions montrent que la surface des sols étudiés présentent des niveaux de salure différentes selon la classification (**USSL, 1954**) adoptée dans cette étude.

En effet, la classe des sols non salés est représentée par les échantillons E2, E5, E7, E8 et E10 où la CE varie de 0,6 et 1,6 ds/m. Les prélèvements E3 et E4 se classent parmi les sols moyennement salés. Les sols salés ont des CE qui oscillent entre 4 et 8 ds/m, ils sont représentés par les échantillons E1 et E4 tandis que les sols fortement salés sont indiqués par des CE supérieurs à 8 ds/m.

L'examen du Diagramme de Piper (Figure 20) illustre que les sols analysés ont deux faciès distinctes ; l'une chloruré et sulfaté calcique et l'autre chlorure sodique. A ce propos, les sols faiblement salés ont une tendance vers un faciès chlorure-sulfaté calcique, tandis que les sols présentent des CE supérieures à 2 ds/m convergent vers un état chlorure sodiques. Ce résultat met en évidence une interdépendance entre les valeurs des CE, les teneurs des Na^+ et la nature géochimique du sol. Des résultats similaires sont aussi indiqués par plusieurs auteurs (**Halitim, 1988 ; Barbiero et al, 2002 ; Hamdi-Aissa et al, 2004 ; Hatira et al, 2005 ; Hamzaoui Azaza et al, 2012, Boumaraf, 2015**).

Dans ce contexte, la figure 21 du Diagramme Schoeller illustre la dominance du Na^+ et Cl^- comme deux éléments majeurs dans les solutions des sols analysés. Selon le diagramme de la Figure 22, on note que les sols faiblement salés ont un risque d'alcalinisation faible. En revanche, l'augmentation de la CE induit un risque d'alcalinisation plus important.

En fin, une catégorisation de sols du plus mauvais vers le plus excellent, est adoptée selon les interactions entre les taux de sodium échangeables (ESP) calculés et la CE (Figure 23). Ainsi, les sols étudiés sont classés en quatre catégories :

- la catégorie des sols excellent pour le cas du sol (E8).
- la catégorie des sols admissible pour le cas des sols (E2, E5, E7, E9, E10).
- la catégorie des sols médiocre pour le cas du sol (E3).
- la classe des mauvais sols (E1, E4, E6, E11).

En effet, les figures examinées ci-dessous ont permis de prédire que les mauvais sols présentent les SAR, les CE et le Na⁺ et les plus élevés.

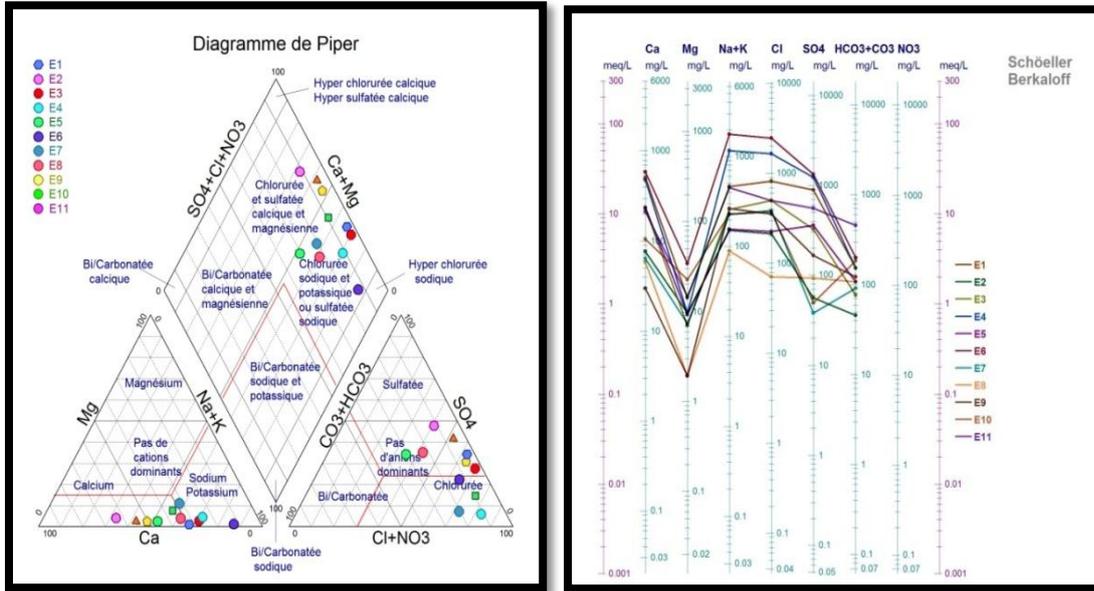


Figure 20 .Diagramme de Piper Figure 21. Diagramme de Schoeller

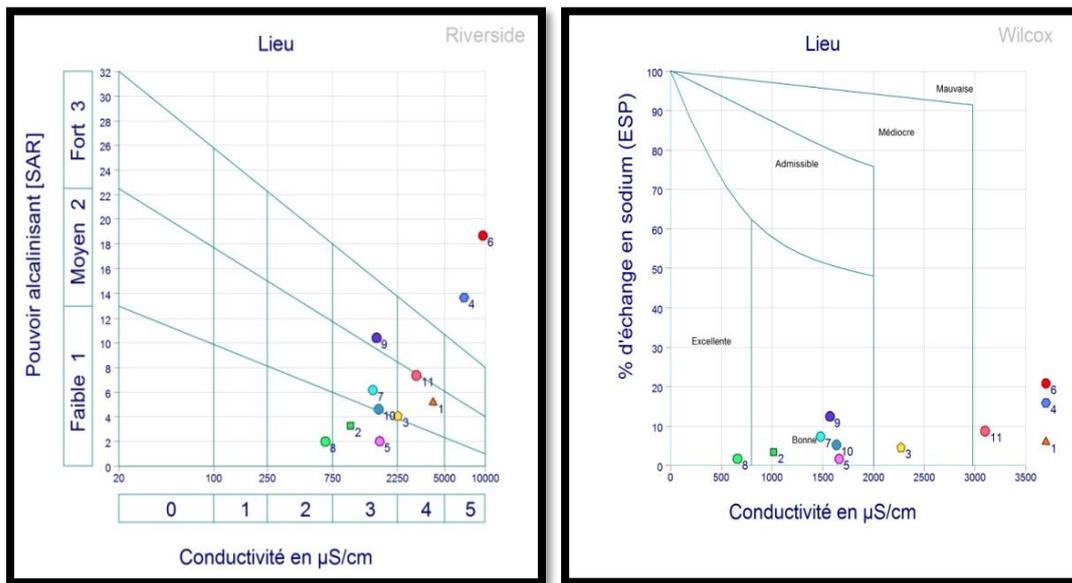


Figure 22. Pouvoir d'alcalinisation Figure 23. Relation ESP et CE

V.2.Variation spatiale du sodium, des chlorures et des CE

Une analyse comparative entre les cartes de répartition de la salinité et celles du sodium et des chlorures (Fig. 24 et 25) montrent une analogie des zones de fortes concentrations en Cl^- , Na^+ et CE. Ainsi ; Il convient de remarquer que la croissance de la salinité est fortement corrélée avec l'augmentation de ces deux éléments. Les zones fortement salées forment des anneaux concentriques de couleurs rouges tandis que celles les moins salées sont colorées en bleus

Dans ce contexte ; les teneurs en chlorures et en sodium augmentent de valeurs dans le même sens de la pente .Les taux de chlorures sont comprises entre 6 et 46.7 $mMol.L^{-1}$, alors que ceux du sodium balancent entre 2.5 et 48 $mMol.L^{-1}$. Les teneurs les plus faibles en Cl^- et Na^+ sont signalées dans les zones de hautes altitudes où la texture du sol est grossière; en opposées les fortes valeurs en ces deux éléments sont tributaires basses altitudes où la texture est plus argileuse.

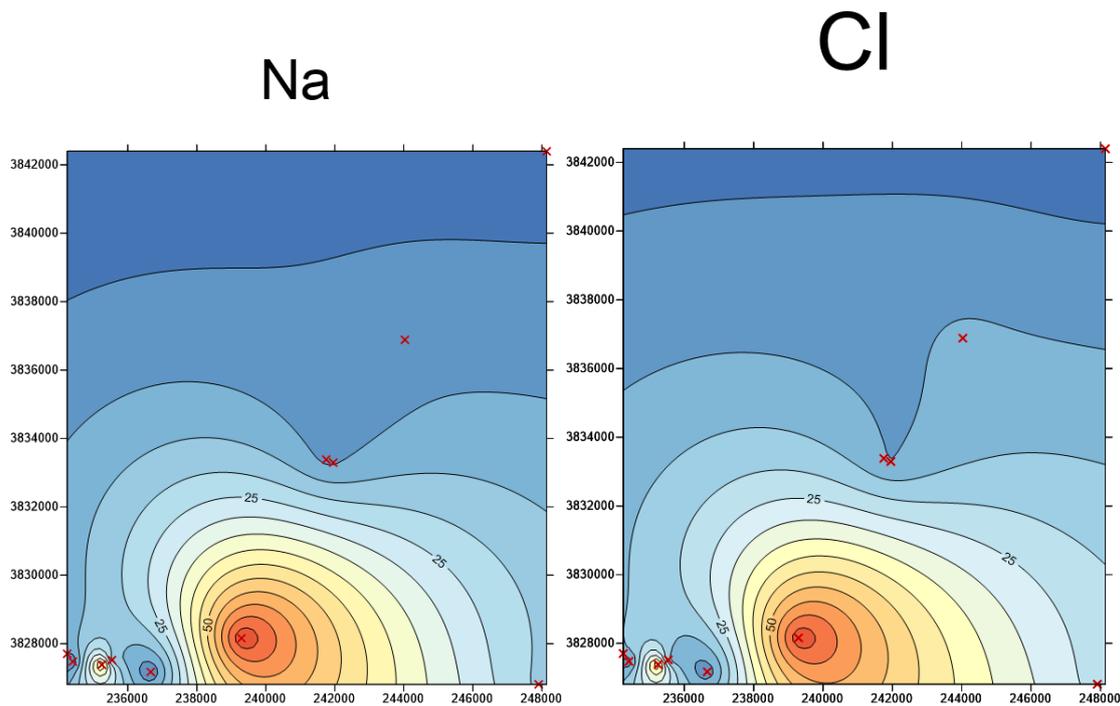


Figure 24 . Variation spatiale du sodium

Figure 25. Variation spatiale des chlorures

CE

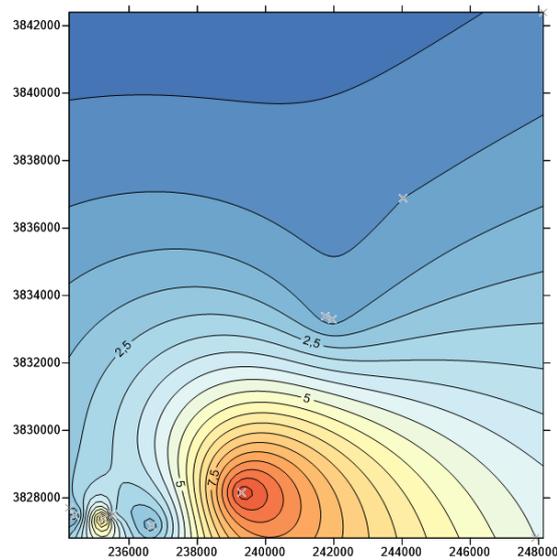


Figure 26. Variation spatiale de la salinité

V.3. Traitement de limage

Après les opérations de correction radiométrique, l'extraction de la zone d'étude, la localisation des régions d'intérêts nous avons procédé à une classification supervisée guidée par les points d'échantillonnage réalisés sur terrain afin de faire ressortir les différentes classes de salure selon la classification rapportées par (USLL ,0954).

1. Interprétation numérique

L'interaction des canaux rouge et proche infrarouge (Bandes B4 et B5), fait ressortir un histogramme bidimensionnel qui est utilisé pour mettre en évidence les différents états de surface de la zone d'étude (figure 27)

En effet ,on remarque à travers cet histogramme que le nuage de points s'étale vers l'axe du proche infrarouge cela s'explique par la présence de végétation de différentes densité au niveau de la zone étudiée, de plus on discerne que les points se concentre autour de l'axe qui représente la droite des sols, cela certifié la présence d'une importante superficie de sols nus allant du plus sombre au plus claire.D'une façon plus globale, les superficies couvertes par les végétaux et les superficies des sols nus sont en déséquilibre.

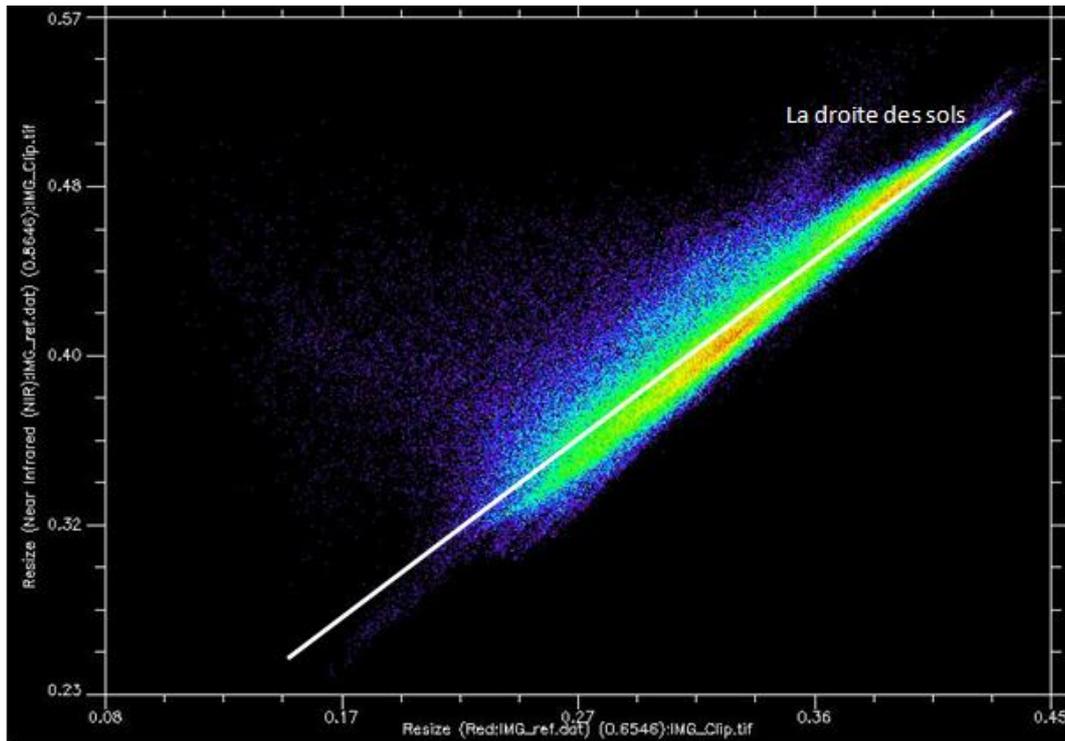


Figure 27 .Histogramme Bidimensionnel

2. Classification de l'image

La classification supervisée de l'image (Figure 28) se base sur une connaissance préalable du terrain, elle consiste à classer les informations vis-à-vis à des zones d'apprentissage (ROI, Region of interest) sélectionnées. La méthode adoptée pour cette classification et celle de Maximum vraisemblance (Maximum Likelihood), elle permet de ne classer que ce qui correspond au but recherché et de mettre dans une classe toutes les autres composantes de l'image qui ne sont pas utiles (**Girard et Girard, 1999**). Selon plusieurs auteurs (**BouahouatNaert, 1996; Bonn, 1998; Hamdi-Aïssa, 2001 ; Schowengerdt, 2007**), la méthode du Maximum Likelihood est le meilleur moyen de classification supervisée.

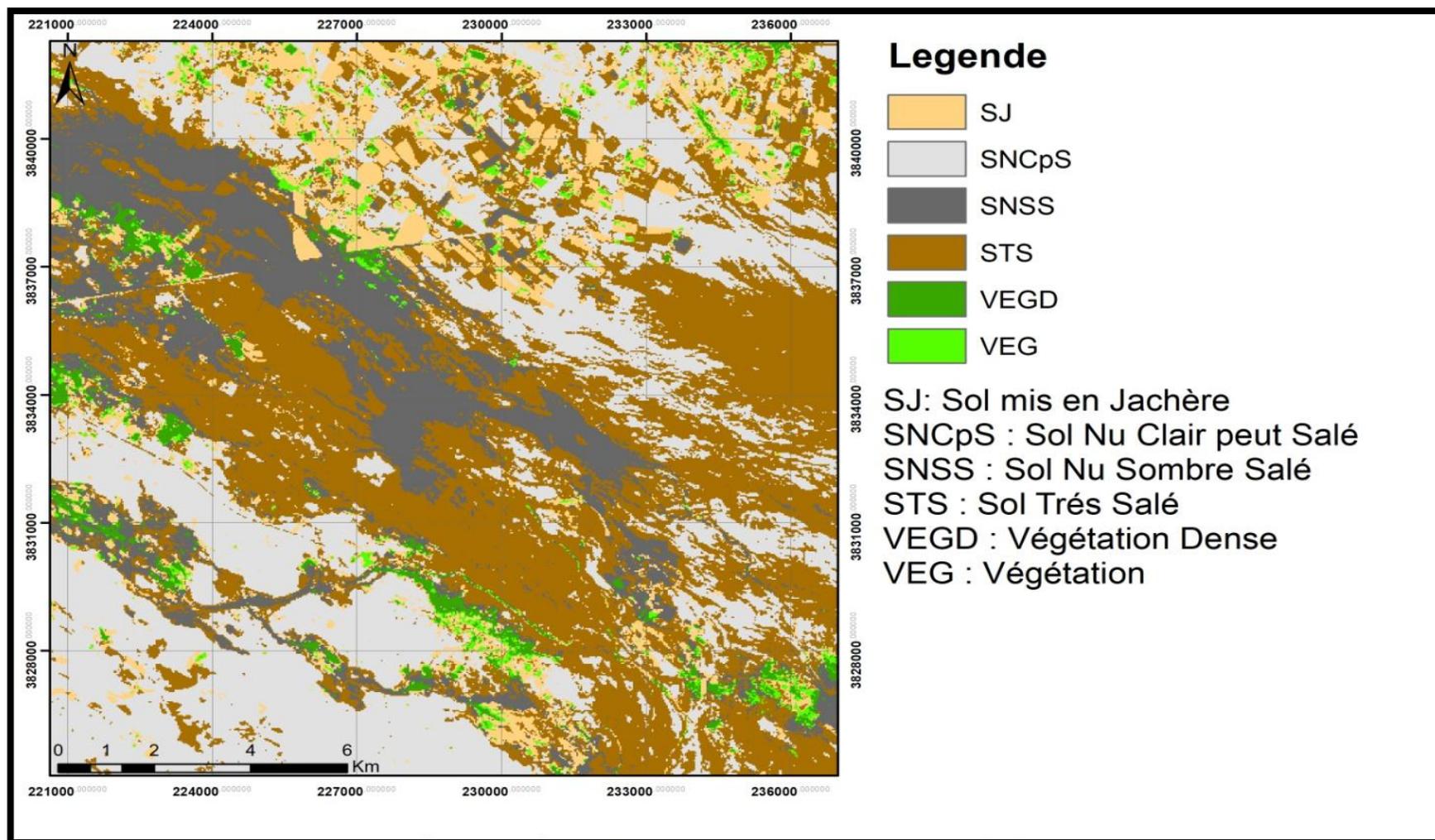


Figure 28. Classification supervisée de la Zone d'étude

La classification supervisée de la zone d'étude fait ressortir 6 classes, suivant les zones d'intérêts préalablement sélectionné par les différents points d'échantillonnage établie sur terrain.

- La classe 1, représente les sols travaillés et mis en jachère
- La classe 2, représente les sols nus de couleur claire et peut salés, avec un CE qui varie entre 2 et 4 ds/m.
- La classe 3, est celle des sols nus, salés et de couleur sombre. Elle se caractérise par une CE comprise entre 4 et 8 ds/m.
- La classe 4, est désignée comme une classe très salé avec des valeurs de CE supérieur à 8 ds/m en atteignant les 30 ds/m
- Les classes 5 et 6, représentent les classes de la végétation qui se trouvent d'une grande densité par certain endroit en vue des pratiques agricoles de la région.

3. Superficies calculées des classes de sols

L'examen de la Figure ci-dessous montre que la zone d'étude occupe une superficie de 645 Km². A ce propos, les sols fortement salés et les sols nus peu salés représentent respectivement les superficies les plus importantes estimées à 26290.2 et 25333.4Ha, soit un taux d'occupation de 40.76% et 39.27%. Les sols salés, travaillés et mis en jachère occupent, aussi, de vastes étendues estimées respectivement à 6263 et 4550Ha. En fin, la végétation dense naturelle présentée par tamarix africana et les salsolacées, a une superficie lamoin importante, elle est estimée à 2081 Ha soit un taux d'occupation des terres de 3.22%.

En effet, les résultats obtenus permettent de prédire que les sols non salés (**SJ**) sont les terres exploitées pour l'agriculture. Cependant, Les terres affectées par les différentes classes de salinisation (**STS, SNSS, SNC**) présentent des surfaces de 89.75% de la totalité de la superficie cartographiée. De même la végétation naturelle est plus localisée dans les surfaces les moins salées.

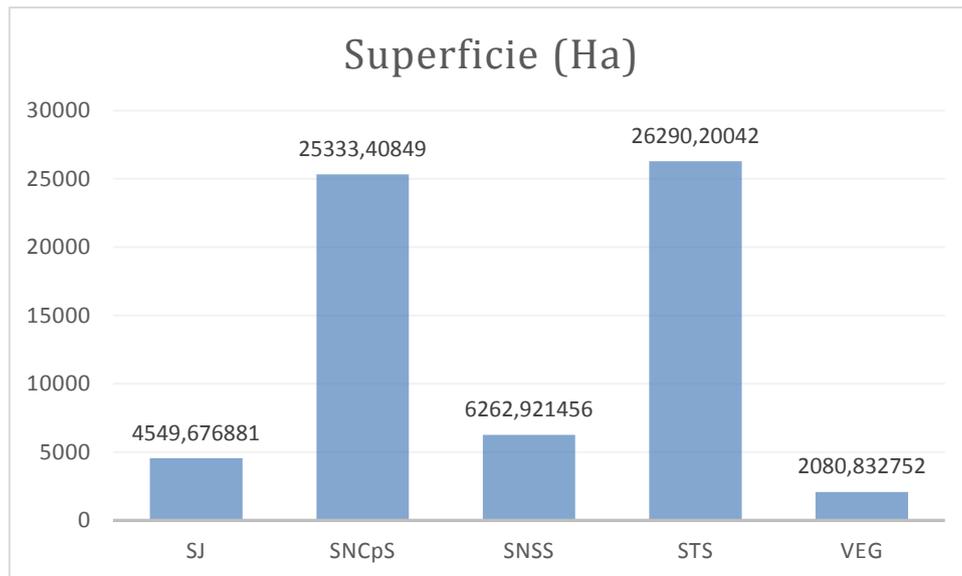


Figure 29. Superficies des classes des sols

**CONCLUSION
GENERALE**

CONCLUSION GENERALE

La région d'El-Haouche se localise dans un étage climatique aride. Plusieurs facteurs sont à l'origine de la salinisation qui affecte la surface du sol et le profil pédologique du sol et par la suite menace la fertilité des sols comme, elle réduit la production qualitative et quantitative de la production agricole.

En absence de travaux de cartographie des sols, cette typologie du sol est moins étudiée du point de vue l'identification des différentes classes de salinisation pourraient être localisées dans le pédo-paysage des oasis des Ziban. Dans ce contexte, la présente étude qui vise à délimiter les différentes classes de salinisation de l'état de surface des sols par un traitement d'image du satellite Landsat 8 sous le logiciel ENVI 4.7, montrent que les sols de la région d'El-Haouche se caractérisent par une catégorie de classes de salinisation du sol admise habituellement dans la bibliographie.

Ainsi, les principaux résultats illustrent que les sols étudiés ont deux familles de faciès géochimique. Les sols faiblement salés sont caractérisés par un faciès chlorure-sulfaté calcique, tandis que les sols à tendance salée sont différenciés par un état chlorure sodique.

Selon la conductivité électrique quatre classes de salinisation des sols est identifiée : les sols non salins ou faiblement salin, les sols moyennement salins, les sols salins ainsi que les sols fortement salins.

L'analyse des cartes de répartition spatiale de la CE, Na^+ et Cl^- a mis en évidence une interdépendance entre ces trois éléments. Il convient que la salinité des sols est fortement corrélée avec l'augmentation du sodium et des chlorures. Les zones fortement salées se localisent dans les niveaux d'altitude les plus basses où la texture argileuse est en faveur de l'accélération des mécanismes de la salinisation.

Ainsi, l'étude de salinisation de l'état de surface des sols par traitement d'image satellitaire selon la classification supervisée, suivant les zones d'intérêts préalablement sélectionnées par les différents points d'échantillonnage établis sur terrain, a permis l'identification de six classes : la classe des sols travaillés et mis en jachère, les deux classes qui représentent les sols nus peu salés et salés. La classe 4, est désignée comme une classe très salée. En fin deux classes représentant la végétation dense et moins dense.

Dans ce contexte, l'établissement de la carte de salinisation a permis de mentionner que la zone étudiée est, sérieusement, menacée par la salinisation du sol engendrant un faible couvert végétal. On suggère ainsi, que cette situation nécessite des études approfondies d'aménagement hydro-pédo-agricole. En outre de vastes superficies de terre moins salées sont, aussi, localisées, qui pourront faire l'objet de mise en valeur.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- **AFES, 2008. Révérenciel pédologique ,2008.**association française pour l'étude des sols, 409p
- **Ait Mechedal M, Ouamer A.K , Daoud Y, 2017.**Evaluation du statut potassique des sols salés du Bas –Cheliff. Nature et Technology 8-13.
- **Aubert G., 1983 :** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou sals sodiques.
- **Barbiero,J.P,Queiroz Netoand Ciomei.G et al,(2002).**Geochemistry of water and ground water in the Nhecolândia pantanal of Mato Grosso, Brazil:variabilityand Associated Peocesses.Wtlands,22:532-540.
- **Boulahouat, N., & Naert, B. (1996).** Télédétection des ressources en sols des zones arides. Revue étude et Gestion des sols, 7-26.
- **Boulahouat, N., & Naert, B. (1996).** Télédétection des ressources en sols des
- **Boumaraf, B (2015) .**Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la Vallée d'oued Righ, Sahara nord oriental, Algérie. Thèse de doctorat, Université de Biskra, 97p.
- **Bradaï A., Douaoui. A(2009).** Evolution géochimique de la solution des sols irrigués par les eaux à alcalinité résiduelle positive en conditions contrôlées. Application au Bas-Chéiff Nature et Technologie pp27-32.
- **C.P.C.S., 1967 :** Classification des sols. Laboratoire de géologie, pédologie de l'E.N.S.A, Paris.
- **Douaoui A ,hartaniT ,LakehakM ,2006.** La salinisation dans la plaine du Bas – Chelliff : acquis et perspective .Deuxième atelier régional du projet Sirma, Merrakech.
- **Durand J.H., 1983 :** Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique
- **DURAND, 1958,** Les sols irrigables. Etude pédologique. ED. Imbert, Alger, 190p
- **El-Kharki O , Mechbouh J ,2015.**Traitement d'images satellitaires sous ENVI. Traveaux pratiques et examens corrigués, 78p.
- **Girard mc, girard c.m., (1999).** Traitement des données de télédétection.
- **Girard, C. M., Gilliot, J. M., Girard, M. C., & Thorette, J., (1997).** Comparaison de la cartographie de l'occupation des terres par classification de données de télédétection avec la cartographie CORINE niveau 3: application à une zone au nord-ouest de l'Île de France. Revue internationale de géomatique, 7(1), 57-86.;
- **Halitim.A (1988)** Les sols des régions arides d'Algérie. Ed, O.P.U.384p.

Références Bibliographiques

- **Hamdi Aissa, B. (2001).** Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla) Approches micromorphologiques, géochimique, minéralogique et organisation spatiale
- **Hamdi-Aissa. B, Valles .V , Venturier.A , Ribolzi.O,(2004)** Soils and brine geochemistry Andmineralogy of hyperarid desert playa ,Ouargla Basin ,Algerian Sahara. Arid Land Research and Management 18: 103–126.
- **Hamzaoui Azaza F, Bouhlila. R et Gueddari .M, (2012)** Caractérisation de la minéralisation des eaux de la nappe des grès du Trias (Sud-Est Tunisien) par les méthodes géochimiques et statistiques. Geo-Eco-Trop., 36: 49-62.
- **Hatira. A, Benmansour.B , Grira.M et GallaliI.T , (2005)** Impact des eaux d'irrigation sur l'origine des accumulations gypseuses dans les sols de l'oasis de Metouia (Tunisie). Étude et Gestion des Sols, Volume 12, 1, pages 43 à 54.
- **KHECHAI S. et LAADJAL H. 2006**-Relation sol-végétation de la région Nord-Est du Sahara d'Algérie, Séminaire international sur la désertification, Biskra.
- **Khechai. S, 2015.** Hydro pédologie des milieux oasiens cas des Ziban .Journée d'étude sur l'architecture du palmier dattier. Département d'agronomie, Université de Biskra.
- **Khechai.S and Daoud.Y,2016.** Characterization and Origin of Gypsum Rhizoliths of Ziban Oases Soil-Algeria. World Applied Sciences Journal 34 (7): 948-955.
- **Laadjel, 2005.** Impact de la salinité due au traitement de sel sur l'environnement. Cas d'ENASEL El- Outaya wilaya de biskra
- **Legros J.P., 2009.** LA SALINISATION DES TERRES DANS LE MONDE. Conférence n°4069, Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, pp. 257-269.
- **LEGROS J.P., 2009.** LA SALINISATION DES TERRES DANS LE MONDE. Conférence n°4069, Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, pp. 257-269.
- methods for image processing (3rd ed.)Elsevier Inc., USA (2007) p. 515.
- **Mhiri, A., Tarhouni, J., Hachicha, M. et Lebdi, F., 1998.** Approche systémique des risques de salinisation par endoréisation anthropique. Etude et Gestion des sols, 5 (4) : 257-268
- **Mostephaoui.T, Bensaid.R and Saker.M.L (2013)** Localization and Delimitation of the Arid Soils by Remote Sensing and *In-Situ* Measurements in an Arid Area: Case of Oued Djedi Watershed, Biskra, Algeria. World Applied Sciences Journal 24 (3): 370-382

Références Bibliographiques

- **Nahon d., 2008.** L'épuisement de la Terre. L'enjeu du XXIème siècle. Odile Jacob, 235 p.
- **Schowengerdt, 2007.** R.A. Schowengerdt. Remote sensing: Models and methods for image processing (3rd ed.)Elsevier Inc., USA (2007) p. 515.
- **USDA (2014)** .Keys to Soil Taxonomy. 12th edition USDA, NRCS, Washington., 330p
- **Valles.V, Rezagui .M, Luis Auque.L, Semadi.A , Roger .L et Zougari.H,(1979).**
Geochemistry of saline soils in two arid zones of the Mediterranean basin. I.
geochemistry of the chott melghir-mehrouane watershed in Algeria Arid Soil Research and Rehabilitation, 11:71-84.

ANNEXE

Annexe

Tableau .Caractéristiques chimiques du sol

Sols	pH	CaCO ₃ (g.kg ⁻¹)	CE (dS.m ⁻¹)	Composition de la solution du sol (mMol.L ⁻¹)						
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻
E1	7.44	32.00	4.50	25.70	1.16	19	0.7	23.2	18.43	2.50
E2	8.30	29.56	1.00	3.80	0.80	5.0	0.9	6.00	1.16	2.75
E3	7.80	34.82	2.20	11.50	0.58	10	0.8	14.0	6.77	1.25
E4	7.62	22.56	7.60	23.86	0.80	48	1.2	46.7	25.59	2.50
E5	7.67	32.24	1.60	11.82	0.76	5.2	0.9	6.40	7.47	1.75
E6	7.51	22.00	10.4	29.28	2.82	74.8	1.4	69.2	27.40	1.5
E7	8.38	50.17	1.0	3.2	0.6	8.5	0.8	11.0	0.8	3.25
E8	7.85	50.17	0.60	2.90	0.16	2.5	0.8	2.0	1.95	1.75
E9	7.70	27.15	1.30	1.50	0.16	9.5	1.1	10.0	3.42	2.00
E10	7.61	41.89	1.30	5.26	1.86	8.7	0.8	10.5	1.04	3.00
E11	7.68	18.87	3.00	10.66	1.20	17.9	1.1	14.0	11.67	7.50

Résumé

La présente étude vise à délimiter les différentes classes de salinisation de l'état de surface des sols de la région d'El-Haouche par un traitement d'image du satellite Landsat 8.

Les principaux résultats illustrent que les sols étudiés présentent deux familles de faciès géochimique : un faciès chlorure-sulfaté calcique et chlorure sodique. Selon la conductivité électrique quatre classes de salinisation des sols est identifiée : les sols non salins ou faiblement salin, les sols moyennement salins, les sols salins ainsi que les sols fortement salins. L'analyse des cartes de répartition spatiale de la CE, Na^+ et Cl^- a met en évidence une interdépendance entre ces trois éléments. Les zones fortement salées se localisent dans les niveaux d'altitude les plus basses où la texture argileuse est en faveur de l'accélération des mécanismes de la salinisation.

L'étude de salinisation de l'état de surface des sols par traitement d'image satellitaire selon la classification supervisée a permis l'identification de six classes : la classe des sols travaillés et mis en jachère, deux classes qui représente les sols nus peut salés et salés, la classe 4, est désignée comme une classe très salée. En fin deux classes représentant la végétation dense et moins dense.

Dans ce contexte, l'établissement de la carte de salinisation a permis de motionner que la zone étude est, sérieusement, menacée par la salinisation du sol. Cette situation nécessite des études approfondie d'aménagement hydro-pédo-agricole. En opposé de vaste superficies de terre moins salés sont, aussi, localisées, qui pourront faire l'objet de mise en valeur.

Mots clés : Région d'El-Houche, Classes de salinisation, Faciès géochimique, Carte satellitaire, ENVI.

Abstract

The present study aims to delimit the different classes of salinization of the soil surface state of the El-Haouche region by an image processing of the Landsat 8 satellite.

The main results illustrate that the soils studied have two families of geochemical facies: a chloride-sulphate calcium facies and sodium chloride. Depending on the electrical conductivity, four classes of soil salinization are identified: non-saline or slightly saline soils, moderately saline soils, saline soils and highly saline soils. The analysis of the spatial distribution maps of the EC, Na⁺ and Cl⁻ shows an interdependence between these three elements. The highly saline areas are located in the lower elevation levels where the clay texture favors the acceleration of the salinization mechanisms.

The study of salinization of soil surface condition by satellite image processing according to the supervised classification allowed the identification of six classes: the class of soils worked and set aside, two classes representing bare soils can salty and salty, class 4, is designated as a very salty class. In the end two classes representing dense and less dense vegetation.

In this context, the establishment of the salinization map made it possible to suggest that the study area is seriously threatened by salinization of the soil. This situation requires in-depth studies of hydro-pedo-agricultural development. In contrast to vast areas of less salty land are, also, localized, which can be the object of development.

Key words: El-Houche region, Salinization classes, Geochemical facies, Satellite map, ENVI.

ملخص

تهدف الدراسة الحالية إلى تحديد فئات مختلفة من تملح حالة سطح التربة في منطقة الحوش عن طريق معالجة صور لساتل لاندسات 8.

وتوضح النتائج الرئيسية أن التربة التي تمت دراستها لها عائلتان من السلالات الجيوكيميائية وهي: كلوريد الكالسيوم وسلفات الكالسيوم وكلوريد الصوديوم. اعتماداً على الموصلية الكهربائية ، تم تحديد أربعة أنواع من تملح التربة: غير مالحة أو تربة ملحية قليلاً ، تربة ملحية معتدلة ، تربة مالحة وتراب شديد الملح. ويبين تحليل خرائط التوزيع المكانية لل EC و Na + و Cl - a ترابط بين هذه العناصر الثلاثة. وتقع المناطق شديدة الملوحة في مستويات الارتفاع الدنيا حيث يفضل نسيج الطين تسريع آليات الملوحة.

إن دراسة تملح حالة سطح التربة من خلال معالجة صور الأقمار الصناعية وفقاً للتصنيف الذي يخضع للإشراف قد سمحت بتحديد ستة أصناف: فئة التربة عملت وتم وضعها جانباً ، يمكن لفئتين تمثلان تربة مكشوفة تم تصنيف الطبقة المالحة والمالحة ، الفئة 4 ، على أنها فئة مالحة للغاية. في النهاية فصلين تمثل النباتات كثيفة وأقل كثافة.

في هذا السياق ، جعل إنشاء خريطة التملح من الممكن اقتراح أن منطقة الدراسة مهددة بشكل خطير من خلال تملح التربة. هذه الحالة تتطلب دراسات متعمقة للتنمية المائية-بدوية. على النقيض من المساحات الشاسعة من الأراضي الأقل ملوحة ، أيضاً ، مترجمة ، والتي يمكن أن تكون موضوع التنمية.

الكلمات المفتاحية: منطقة الحوش ، دروس التملح ، الجيوكيميائية ، خريطة القمر الصناعي ، ENVI.