

Estimation de la salinisation des sols de la plaine du Bas Cheliff par couplage entre la télédétection et le Modèle Numérique de Terrain

Ziane Ahmed⁽¹⁾., Douaoui Abdelkader⁽¹⁻²⁾., Larid Mohamed⁽³⁾

1. Laboratoire Production Agricole et Valorisation des Ressources Naturelles, Université de Khémis Miliana.

2. Centre Universitaire de Tipaza.

3. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaghanem

Résumé

La plaine du Bas-Chéliff qui fait l'objet de notre zone d'étude, se caractérise par un milieu physique dégradé dont la salinisation est la principale manifestation. Cette salinité se manifeste à la surface du sol par différents états de surface. La télédétection et les données d'un modèle numérique du terrain sont utilisées pour caractériser et cartographier ces états de surface et la salinité des sols. La validation statistique basée sur la valeur de la différence minimale obtenue par le test-z des classifications a montré que les meilleures discriminations ont été obtenues avec l'image Spot 2000 prise en été où les fréquences des différences pour la bande rouge (B2) et la bande proche infrarouge (B3) sont toujours plus élevées. Le traitement et l'analyse, des images satellitaires SPOT2000 et SPOT2001 montrent que la classification par la méthode *de transformed divergence* (TD) de l'image 2000, prise en été, favorise la caractérisation des états de surface à travers la plaine du Bas Cheliff qui sont influencés par les différents niveaux de salinité. Le MNT de la zone d'étude établi montre que le Bas-Cheliff présente des altitudes faibles, mais avec une divergence élevée allant de 27m jusqu'à plus de 140m. La pente à travers la plaine est relativement faible (inférieure à 18 %). L'altitude est le paramètre du MNT qui présente les corrélations les plus élevées avec les données de télédétection et de la salinité.

Mots clés : Télédétection, MNT, Etats de surface, Salinité, Bas Chéliff.

Introduction

La plaine du Bas-Chéliff se situe au Nord du bassin du Chéliff (Nord-Ouest de l'Algérie) à environ 250 km à l'ouest d'Alger et à 35 km à vol d'oiseau de la côte méditerranéenne. D'une superficie de plus de 60 000 ha, elle englobe une zone comprise entre 0°31' et 1°05' de longitude Est et 35°53' et 36°01' de latitude Nord (WGS 84). Son climat est très rude et très contrasté : les étés sont particulièrement chauds avec des températures moyennes de 30°C durant les mois de juillet et août et elles sont basses en hiver avec une moyenne de 10°C en décembre et janvier. Enfin, les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 250 mm. Les travaux effectués dans la plaine ont tous été unanimes pour dire que la salinisation des sols qui ne cesse de s'étendre spatialement et d'augmenter temporellement (Douaoui et al., 2006) est la principale cause de cette dégradation qui se manifeste par la détérioration de la couverture végétale et des ressources en sol et en eau (Boulaine, 1957 ; Daoud, 1993 ; Saidi et al., 2004 ; Douaoui et al. 2004). La connaissance de

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

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

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

I. Contexte et données techniques

Pour atteindre les objectifs de ce travail, on a utilisé 4 types des données :

1. Les cartes topographiques à 1/50000 d'échelle, numérisées (Chlef ouest, Ammi Moussa est, Oued Rhiou est, Oued Rhiou ouest, Mazouna est, et Relizane ouest) à la base ces cartes, on a interpolé les données acquises en utilisant le krigeage ordinaire, ce qui nous a permis d'établir le MNT de la zone d'étude.

2. Les données cartographiques où on a utilisé la carte des sols de la plaine (Boulaine, 1957 ; Mc Donald et Bneder, 1990), les cartes issues de la classification des images satellitaires ; ASTER et SPOT (Douaoui, 2005 ; Douaoui et al., 2006 ; Mokhtari, 2009).

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

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

Pour la visualisation des deux images (fig. 17 et 18), on a attribué une fausse coloration (R : rouge V : verte B : bleu) aux bandes des images à fin de mieux visualiser les trois objets de surface (Sols, végétation et eau), cette coloration repose sur :

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

L'image Spot 2000 prise en juillet 2000 montre un très faible couvert végétal dans la plaine du Bas-Chélif localisé uniquement dans les périmètres irrigués où se trouvent les cultures d'été et l'arboriculture conduite sous irrigation (fig. 1).

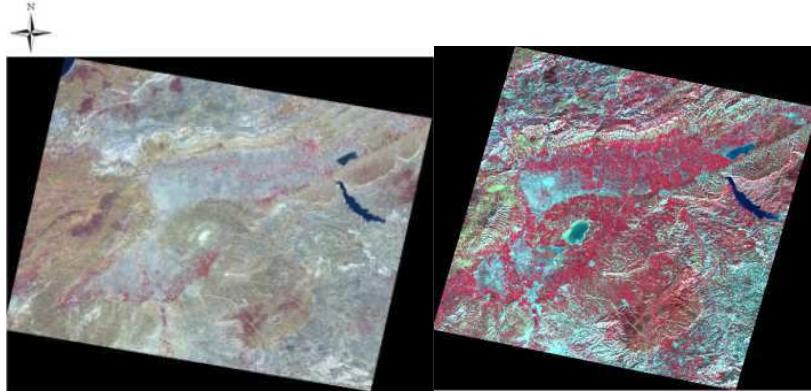


Figure.1. SPOT 2000

Figure.2. SPOT 2001

L'image Spot prise en février 2001 (fig. 2) montre une couverture végétale quasi complète s'étalant sur toute la plaine du Bas-Chélif excepté dans la zone de la Gaa où règne à la fois une salinité élevée combinée à une hydromorphie durant cette période pluvieuse inhibant ainsi le développement de toute végétation y compris la végétation halophyte.

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

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

Ces deux images satellitaires (SPOT2000 et SPOT2001) sont subies les mêmes étapes de traitement où chaque image va être traitée par trois méthodes de classification différentes : classification supervisée, classification non supervisée et classification par TD (Transformed Divergence) à fin de pouvoir faire une comparaison entre les résultats.

II. Traitement des images satellitaires et comparaison statistique entre les trois types de classification.

II.1. SPOT 2000

II.1.1. Classification supervisée

Pour la classification supervisée, dix classes ont été proposées en tenant compte essentiellement de l'occupation du sol (densité et du type de la végétation, nature des sols nus) et de la salinité (fig.3). La valeur du coefficient Kappa estimé pour la classification supervisée de cette image est de 98.58 %.

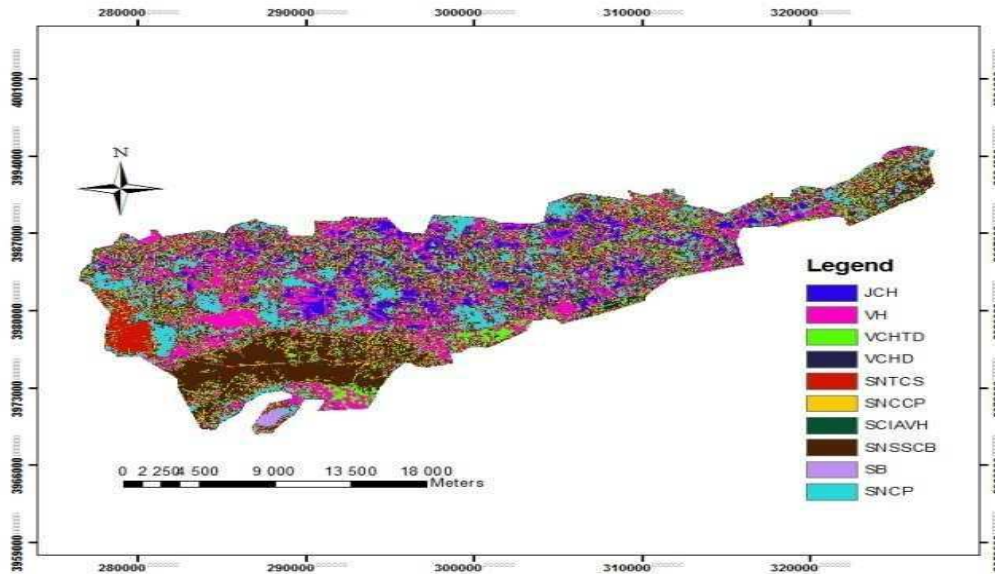


Figure.3. Classification supervisée de l'image SPOT 2000

Les dix classes représentant à l'état de surface pour cette classification sont les suivant : **JCH** : Sols mis en jachère. **VH** : Végétation halophyte. **VCHTD** : Végétation chlorophyllienne, très dense. **VCHD** : Végétation chlorophyllienne, dense. **SNTCS** : Sols nus très claire salés. **SNCCP** : Sols nus céréaliers claire de la plaine. **SCIAVH** : Sols cultivés irrigué à dominance d'artichaut et végétation halophyte. **SNSSCB** : Sols non salés sombre cultivés de Benziane. **SB** : Sebkhath Beziane. **SNCP** : Sol nu cultivé de la plaine.

II.1.2. Classification non supervisée

Pour la classification non supervisée de cette image la répartition de classes obtenues ressemble à celle de la classification supervisée au niveau des classes suivantes :

1.VCHTD; 2. JCH; 3. SCIAVH; 4. SNCCP; 5. SNCP; 6. VH ; 7. VCHD ; 8. SNTCS. La différence réside dans 02 principales classes qui sont : Sols nus non salés sombres cultivés de la plaine (**SNSSCP**) : ils occupent la totalité des superficies du plateau Benziane et quelques périphéries des sols de plaine. Ils sont essentiellement cultivés par de la céréaliculture. Sols nus cultivés clairs de la plaine (**SNCCP**) : se concentrent pratiquement dans les sols périphériques de la Gaa et quelques superficies dans le périmètre de Hmadna.

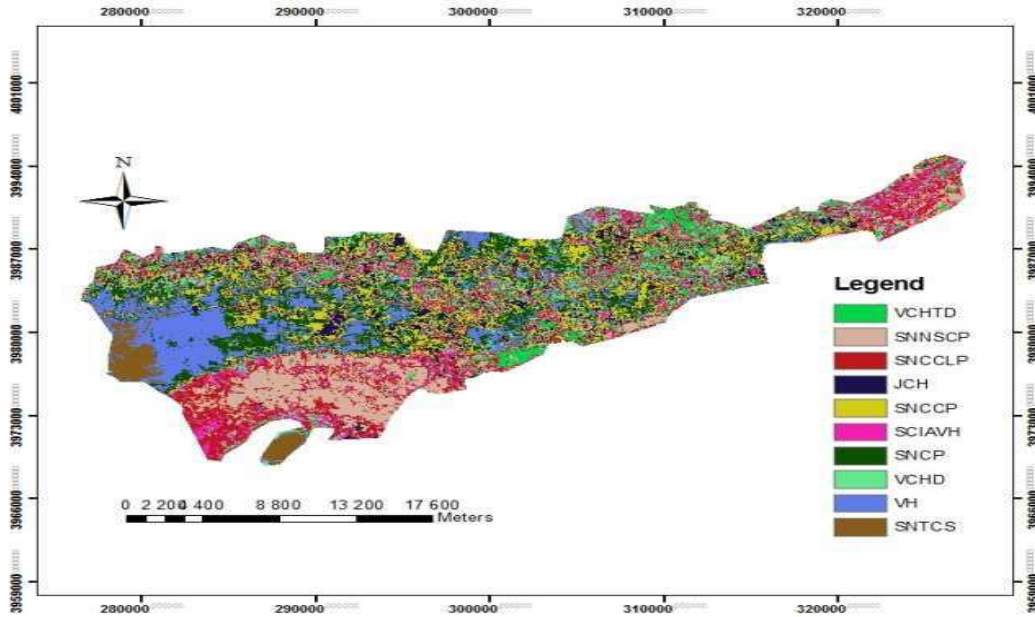


Figure.4. Classification non supervisée de l'image SPOT 2000

II.1.3. Classification par TD

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

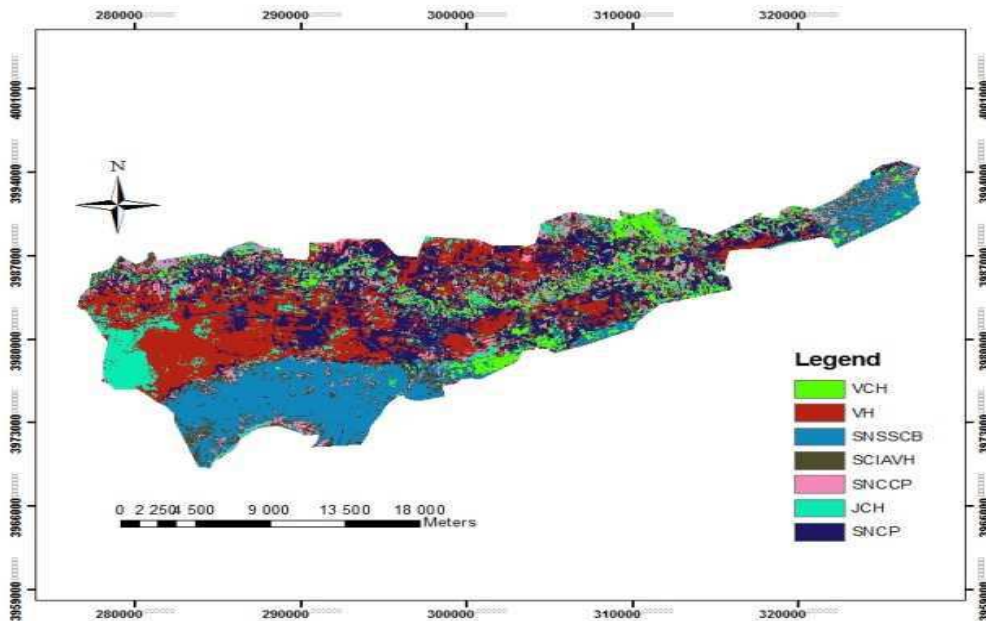


Figure.4. Classification par TD de l'image SPOT 2000

II.2. SPOT2001

II.2.1. Classification supervisée

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

La valeur du coefficient Kaapa estimé pour la classification supervisée de cette image (SPOT2001) est de 99.21 %.

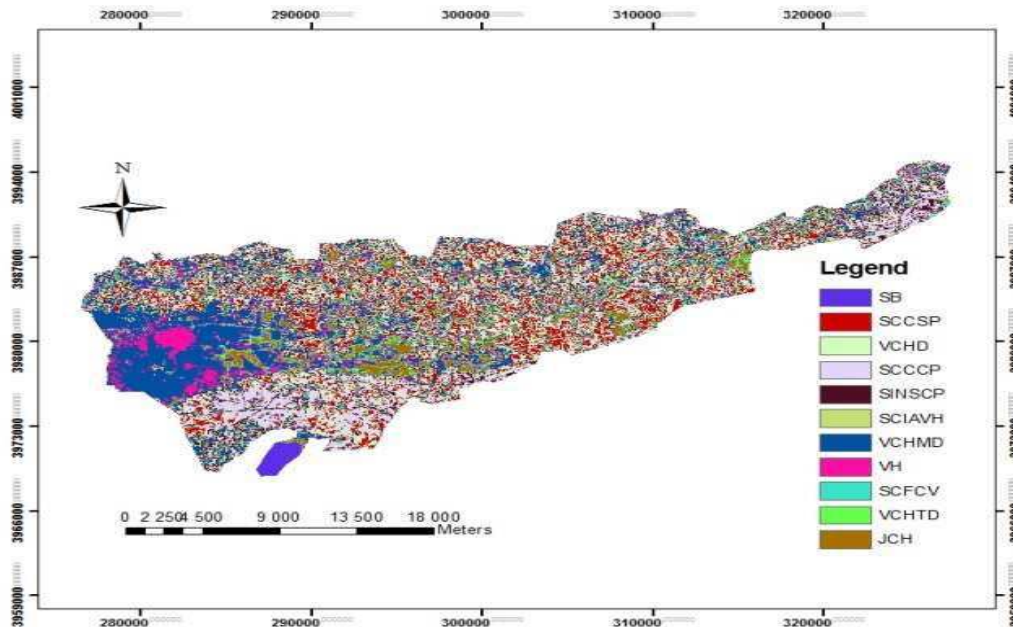


Figure.5. Classification supervisée de l'image SPOT 2001

II.2.2. Classification non supervisée

Dans cette classification les classes obtenues sont identiques à celles trouvées dans la classification supervisée. (fig. 6)

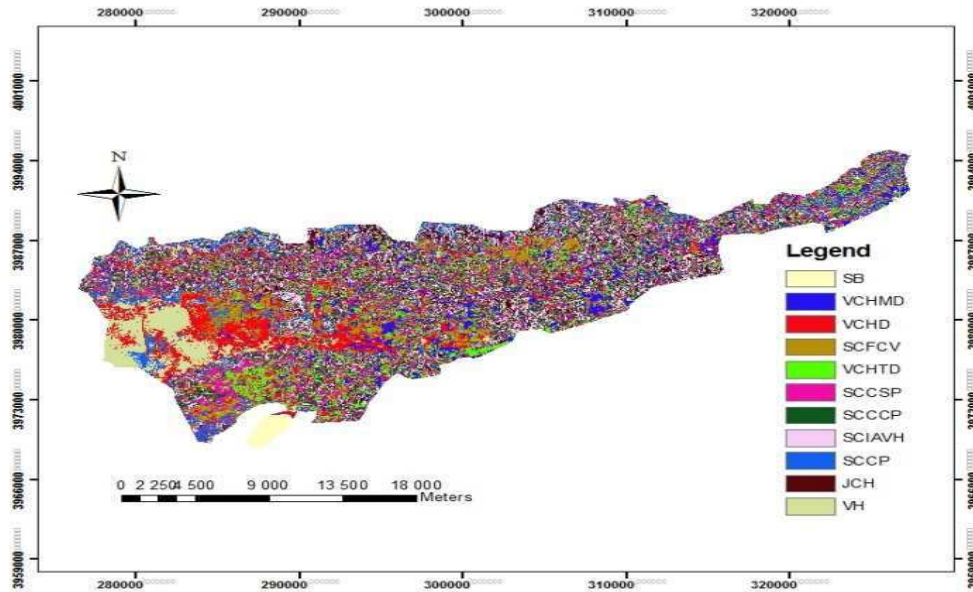


Figure.6. Classification non supervisée de l'image 2001

II.2.3 Classification par TD

Pour ce type de classification et pour cette image, 07 classes ont été identifiées dont 06 se retrouvent dans la classification par la même méthode (TD) de l'image 2000 avec cependant une classe supplémentaire (fig. 24). Les classes qui se répètent ici sont : **SCIAVH**, **SCCCSP**, **SCCSP**, **VCHD**, **VCHTD**, **VH**.

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

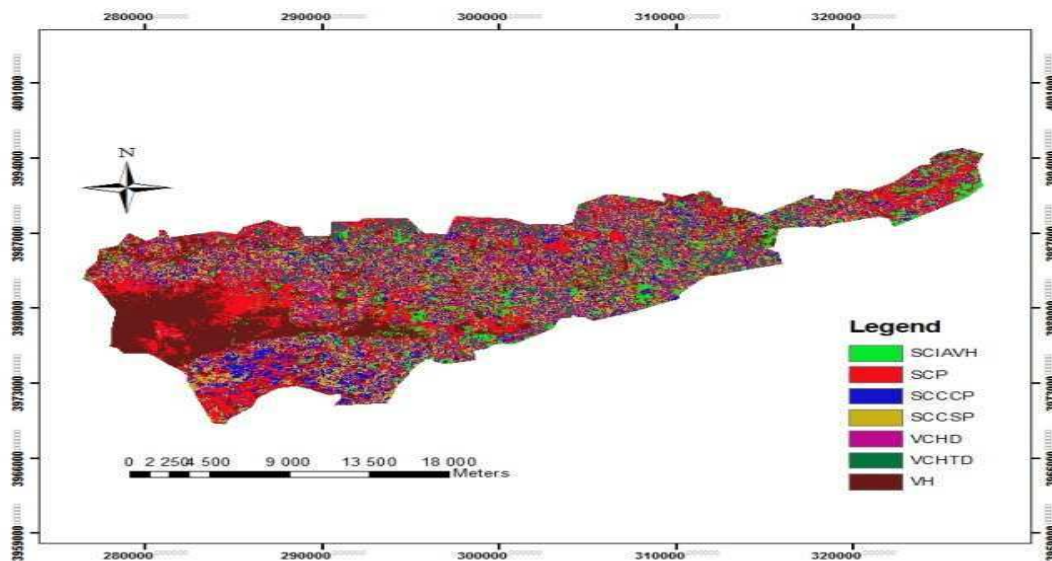


Figure.7. Classification par TD de l'image SPOT2001

II.3. Comparaison statistique entre les trois méthodes de classification

Cette comparaison est une analyse statistique basée sur l'application du test de la différence significative minimale (test-z) qui donne une signification à la différence minimale qui existe entre deux populations approximativement différentes.

La discrimination des états de surface de la plaine du Bas Cheliff, par les trois types de classification (supervisée, non supervisée et Transformed Divergence (TD)) pour les deux images (SPOT2000 et SPOT2001) montre que les meilleures discriminations pour une même classification entre les paires de classes sont toujours obtenues pour la bande (B3) dans le proche infrarouge (PIR).

Tableau.1. Comparaison entre les classifications de l'image SPOT2000

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

Il en ressort donc que le PIR est la bande la plus discriminante entre les états de surface et leurs principales composantes à savoir la végétation, le sol et l'eau. Parmi les trois classifications utilisées, la classification par la méthode TD est celle qui a permis d'obtenir les plus grandes différences entre les classes avec toutefois un nombre de classes nettement inférieur à ceux obtenus par les classifications supervisée et non supervisée.

Tableau 2. Comparaison entre les classifications de l'image SPOT2001

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

Les différents états de surface pour les trois classifications à travers les deux images (en particulier pour l'image SPOT2000) ont été bien corrélés aux différents niveaux de salinité (fig.8), ce qui explique l'impact de la salinité sur les éléments composant ces états de surface tels que la végétation et les caractéristiques du sol.

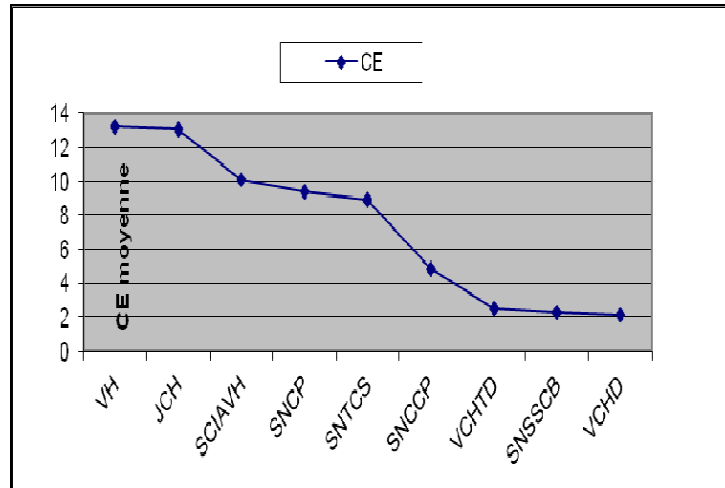


Figure.8. Evolution de la CE moyenne par classe de télédétection de la classification supervisée de l'image SPOT2000

III. Traitement des données topographique

La digitalisation des deux fichiers (courbes de niveaux + points cotés) a abouti à la création d'un nouveau fichier à la base de la carte topographique de la plaine qui contient l'information nécessaire concernant les paramètres d'un modèle numérique de terrain (MNT) (fig.9). À partir de ce MNT on peut exploiter plusieurs paramètres, ici on va utiliser ; la pente, l'altitude et l'exposition de la pente.

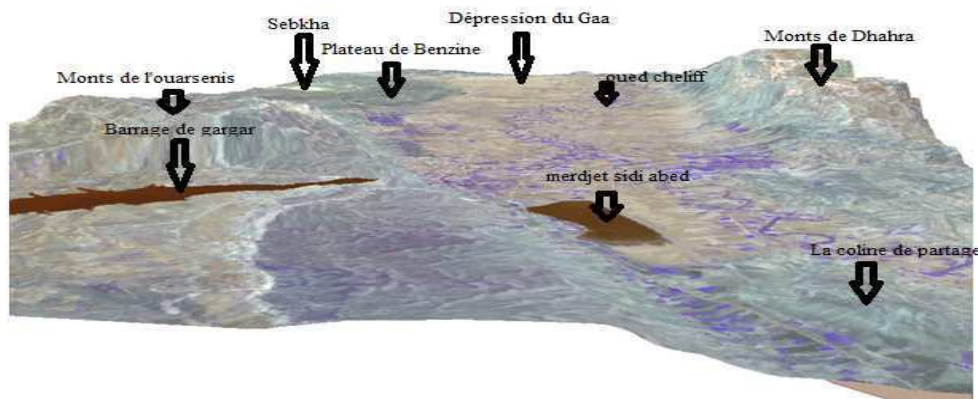


Figure.9. MNT du Bas Cheliff (vue en 3 dimensions)

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

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

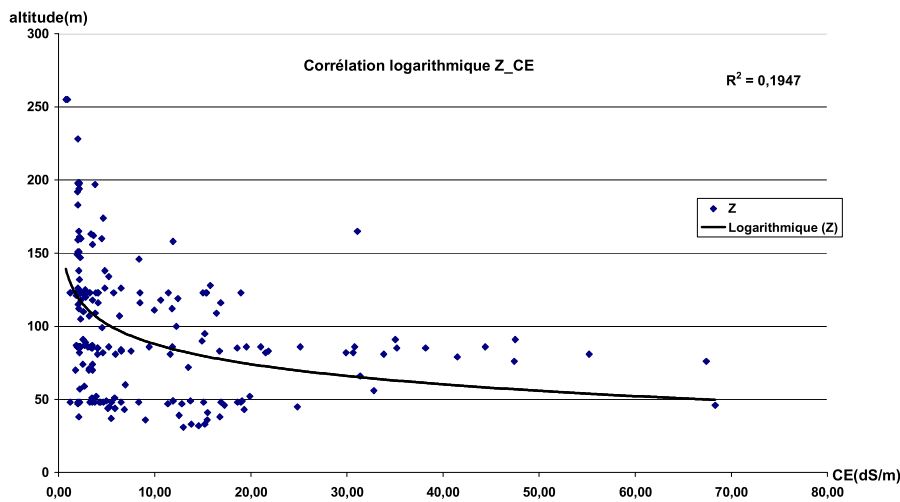


Figure.10. Corrélation logarithmique de la CE mesurées avec l'altitude

La confrontation des données de télédétection exprimées par les indices de salinité montrent des corrélations équivalentes à ceux obtenus entre la CE et les paramètres du MNT. C'est uniquement l'altitude qui présente les corrélations significatives avec ces indices.

Tableau.3. Corrélation des indices de salinités des deux images avec l'altitude

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

Ces corrélations se sont révélées meilleures quand on tient compte uniquement des valeurs de CE > 8 dS/m et particulièrement pour l'image Spot 2001 où $r = -0.64$, ce qui montre que la salinité est inversement proportionnelle à l'altitude dans la plaine du Bas-Chéiff.

Tableau.4. Corrélation des indices de salinités de la CE > 8dS/m des deux images avec l'altitude.

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

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

Conclusion

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

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

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

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

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

La confrontation des données du MNT (altitude, pente et exposition de la pente), avec les données ponctuelles de la CE mesurée a montré l'inexistence de relations significatives avec la pente et son exposition. Ce n'est pas le cas pour l'altitude où des corrélations, certes faibles, mais significatives ont été observée avec la salinité surtout pour un ajustement

logarithmique où le coefficient de corrélation est égal à $r = -0.44$ et semble encore être plus élevé aux teneurs en sels plus importantes.

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

Comme perspectives, il serait intéressant d'utiliser la télédétection à très haute résolution (moins d'un mètre) pour une connaissance plus approfondie de la corrélation entre les strates de la végétation halophytes et les dérivés du MNT à fin de mieux caractériser les états de surface et améliorer la cartographie de la salinité des sols.

Références bibliographiques

- Boulaine J. 1957. Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'état de l'Université d'Alger, 582 p.
- Daoud Y., Cheverry C., Robert M. 1993. Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols des plaines du Chéliff (Algérie). Science du Sol, Vol. 31, 4 : 281-293.
- Douaoui A., Gascuel-Oudou C., Walter Ch. 2004. Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chéliff (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. EGS, Vol. 11, N°4, 379-39.
- Douaoui A., Hartani T. 2007. Troisième atelier régional scientifique et technique sur les systèmes irrigués dans les pays maghrébins. Nabeul, Tunisie, SIRMA 04-08 juin 2007.
- Douaoui A., Lépinard P. 2010. - Télédétection et salinité des sols, Géomatique Expert, 76 – 2010.
- Saidi D., Bissonnais Y., Duval O., Daoud Y., Halitim A. 2004. Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie). Etude et Gestion des Sols, 137-148p.