



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة حسيبة بن بوعلي - الشلف -

UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI -CHLEF-

كلية العلوم

Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

## **MEMOIRE DE MAGISTER**

**SPECIALITE :** ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

**OPTION :** ECOPEDOLOGIE EAU ET ENVIRONNEMENT

### **Thème**

**Apport de la télédétection radar dans la connaissance  
des états de surface des sols du périmètre de Hmadna  
(Humidité, salinité et rugosité)**

Réalisé par :

◆ Mr. ABBOURA Ammar.

Devant le jury d'examen suivant :

- Président : Mr. SAAD Hammoudi (Professeur).
- Promoteur : Mr. DOUAOUI Abdelkader (professeur).
- Examineur : Mr. ACHITE Mohamed (docteur).
- Examineur : Mr. NEDJAI Sassi (docteur).
- Examinatrice : Mme. BETTAHAR Naima (docteur).

**Janvier 2014**

# Remerciements

En préambule à ce mémoire, nous donnons nos remerciements surtout au **DIEU TOUT-PUISSANT** qui nous a toujours soutenu.

Tout d'abord, à monsieur **Abdelkader DOUAOUI**.

Professeur à l'université khemis miliana. Ain-defla (promoteur)

Qui est à l'origine de ce travail et qui m'a soutenu et conseillé tout au long de celui-ci, je lui adresse mes plus sincères remerciements et mes plus profondes excuses.

A monsieur **Saad Hammoudi** (professeur à l'université Hassiba Ben-bouali. Chlef). Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse. Qu'il trouve ici nos plus profonds remerciements

Mes remerciements les plus respectueux vont à Monsieur **ACHITE Mohamed** (docteur à l'université de Chlef). qui m'a fait l'honneur de prendre connaissance de ce travail et d'en être examinateur. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance. ainsi

J'adresse toute ma gratitude à monsieur **NEDJAI Sassi** (docteur à l'université de Chlef) et madame **BETTAHAR Naima** (docteur à l'université de Chlef) d'avoir accepté l'examen de mon mémoire et de faire partie du jury.

Je tiens à remercier aussi **Mr. Amokrane, Mr. Belouazni et Mme Ghadiri**. A qui je témoigne toute ma reconnaissance pour leurs soutiens.

Un grand merci pour monsieur **MAHMOUDI Hassan** (docteur à l'université Hassiba ben Bouali. Chlef).

Un remerciement particulier à ma famille. Qui a été toujours présente. Mes parents **Mhamed et khedidja**, à mes frères **mohamed lamine et ismail**, à mes sœurs **fatouma** (qui m'a tellement aidé) **Meriem, Mina, Malika, Halima**, A ma grand-mère **hadja fatouma** et surtout mes tout petits neveux **Ibrahim Benouna et zineb nour basboussa**.

Je remercie toute la promotion du post graduation Eco pédologie, eau et environnement. En particulier mes amis **Kamel, Zakaria, Ahmed, Mustapha** ainsi la fameuse équipe de la **PHARMACIE ABOURA** (**Tahar Boudjelthia, Mohamed Benmarouf, amine, Abdou, Hassiba, Samia et Fatouma**).

## **Dédicace**

A mes très chers parents (Mhamed et Khedidja), sources  
de mes joies, secret de ma force

Vous serez toujours le modèle

**Père**, dans ta détermination, ta force et ton honnêteté

**Mère**, dans bonté, ta patience et ton dévouement pour  
nous

Merci pour tous vos sacrifices pour vos enfants  
grandissent et prospèrent

Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de la vie  
au bien être de vos enfants merci d'être tout simplement  
mes parents c'est à vous que je dois cette réussite et je  
suis fier de vous l'offrir.

# Table des matières

## Résumé

<b>Introduction</b> .....	01
---------------------------	----

## Chapitre I : Milieu physique

I. 1 Localisation de la zone d'étude .....	02
I. 2 Le climat .....	03
I. 2.1. Les températures .....	03
I. 2.2. Les précipitations .....	03
I. 2.3. Le quotient pluviothermétrique d'Emberger .....	04
I. 2.5. L'évapotranspiration (ETP) .....	06
I. 2.6. L'humidité .....	06
I. 2.7. Le vent .....	07
I. 3. Pédologie .....	07
I. 3.1. Les sols des bordures des plaines .....	07
I. 3.2. Les sols de la plaine proprement dite .....	07
I. 4. Géologie et géomorphologie .....	10
I. 5. Ecologie et occupation du sol .....	11
I. 6. Ressources en eau .....	12
I. 6.1. Les ressources en eaux superficielles .....	12
I. 6.2. Les ressources en eaux souterraines .....	13
I. 7. L'irrigation .....	13

## Chapitre II : Aperçu bibliographique

II.1.La Salinité des sols.....	14
II.1.1.Définition .....	14
II.1.2.La salinisation des sols .....	14
II.1.3.Types de salinisation des sols.....	14
II.1.4.Facteurs intervenant sur la salinisation des sols.....	15
II.1.5.Les processus géochimiques et voies de salinisation des sols .....	16
II.1.6.Mesure et classification de la salinité des sols .....	18
II.2.Méthodes de mesures in situ de l'état hydrique du sol.....	19
II.2.1.La méthode gravimétrique .....	19

II.2.2.La méthode neutronique.....	19
II.2.3.La méthode capacitive.....	20
II.2.4.La méthode TDR (Time Domain Reflectometry).....	21
II.3.La rugosité du sol .....	22
II.3.1.Définition.....	22
II.3.2.Paramètres utilisés pour décrire la rugosité de surface du sol.....	22
II.3.3.Différentes méthodes de mesure de la rugosité des sols.....	23
II.3.3.1.Méthode de la chaîne et de la règle.....	24
II.3.3.2.Méthode du panneau rigide quadrillé.....	24
II.3.3.3.Profilomètre à aiguilles.....	25
II.4.La télédétection radar .....	26
Un peu d'histoire.....	26
II.4.1.Définition et intérêts de la télédétection.....	26
II.4.2.Principes d'acquisition et de formation de l'imagerie radar SAR.....	27
II.4.3.Principe d'acquisition des données SAR.....	28
II.4.3.1.Géométrie de prise de vue.....	28
II.4.3.2.Formulation de l'interaction de l'onde avec la surface.....	30
II.4.3.2.1.Longueur d'onde $\lambda$ .....	30
II.4.3.2.2.Directions de la polarisation des ondes incidentes et rétrodiffusées..	30
II.4.3.2.3.Propriétés géométriques de la surface observée.....	31
II.4.3.2.4.Angle d'incidence.....	31
II.4.4.Principe de formation de l'image radar SAR.....	32
II.4.4.1.Correction radiométrique.....	32
II.4.4.2.Correction du speckle.....	33
A. Technique multi-looks .....	33
• Spectralement.....	33
• Spatialement.....	34
B.Technique de filtrage .....	34
II.4.4.3.Correction géométrique.....	34
II.4.5.Causes de distorsions géométriques.....	35
II.4.5.1. Zone de raccourcissement et Zone de recouvrement .....	35
II.4.5.2.Zone d'inversion ou basculement.....	36
II.4.5.3. Zone d'ombre.....	36

## Chapitre III : Matériels et méthodes

Démarche générale du travail.....	37
III.1.Les données de terrain .....	39

III.1.1.L'échantillonnage.....	39
III.1.1.1.Premier échantillonnage (pour les paramètres : humidité et salinité).....	40
III.1.1.2.Deuxième échantillonnage (rugosité).....	41
III.1.1.3.Type et caractéristiques du rugosimètre utilisé dans l'étude .....	43
III.1.2.Traitement des données de terrain.....	44
III.1.2.1.Les analyses au laboratoire .....	44
III.1.2.1.1.Mesure de la salinité .....	44
III.1.2.1.2.Mesure de l'humidité .....	45
a. La densité apparente.....	45
b. L'humidité pondérale et l'humidité volumique .....	45
c. Mesure du PH du sol .....	46
d. Classement des données de la salinité et de l'humidité.....	46
III.1.2.2.Mesure de la rugosité .....	47
III.1.2.2.1.Méthodes de calcul de l'écart type des hauteurs (RMS) .....	48
a. Première méthode (MT1).....	48
b. Deuxième méthode (MT2).....	50
c. Troisième méthode (MT3).....	51
III.1.2.3. la fonction d'auto corrélation et la longueur de corrélation L.....	52
III.2.La télédétection RADAR.....	53
III.2.1.Données de la télédétection .....	54
III.2.2.Caractéristiques techniques du satellite.....	54
III.2.2.1.Stockage et transfert des données .....	54
III.2.2.2.Les instruments scientifiques .....	54
III.2.2.3.Le radar imageur à synthèse d'ouverture ASAR .....	55
III.2.3.Identification des images ASAR utilisées dans notre étude .....	56
III.2.3.1.Première image 13/11/2009 .....	56
III.2.3.2.Deuxième image 26/11/2009 .....	56
III.2.3.3.Troisième image 02/12/2009 .....	57
III.2.3.4.Quatrième image 09/12/2009 .....	57
III.2.3.5.Cinquième image 18/12/2009.....	58
III.2.4.Traitement des images radar .....	59
III.2.4.1.Correction radiométrique .....	59
III.2.4.2.Géoréférencement des images ASAR.....	60
III.2.4.3.Conversion des images en mode linéaire .....	62
III.2.4.4.Extraction du coefficient de rétrodiffusion moyen .....	64
III.2.5.Confrontation des données de terrain aux données de la télédétection radar.....	65
III.2.6.La géostatistique en tant que méthode de cartographie de la salinité.....	66
III.2.6.1.La variographie.....	66
III.2.6.2.Le krigeage.....	66
III.2.7.Logiciels utilisé.....	66

## **Chapitre IV : Résultats et interprétations**

IV. 1.Les résultats de laboratoire.....	69
IV.1.1.Les résultats globaux de l'humidité moyenne du sol des points échantillonnés.....	69
IV.1.2.Les résultats globaux de la CE moyenne du sol des points échantillonnés ...	70
IV.2.Traitement des images ASAR.....	71
IV.2.1.Les images corrigées et géoréférencées .....	71
IV.2.2.Les images converties en mode linéaire .....	72
IV.3.L'aptitude du radar a estimer la salinité et l'humidité du sol.....	75
IV.3.1.Confrontation des données de la salinité aux données radar.....	75
IV.3.1.1.Les résultats issus de la journée du 09/12/2009.....	75
IV.3.1.1.1.Comparaison entre les corrélations issues de la même polarisation(HH) et avec différentes dimensions de parcelles (50m/50m et 100m/100m)	76
IV.3.1.1.2.Comparaison entre les corrélations en fonction de la polarisation	76
IV.3.1.2.Les Résultats issus de la journée du 18 décembre 2009 .....	77
IV.3.1.2.1.Comportement du signal radar en fonction de l'angle d'incidence	80
IV.3.2.Confrontation des données de l'humidité volumique du sol aux données radar ...	81
IV.3.2.1.Les résultats issus de la journée du 09/12/2009 .....	81
IV.3.2.1.1.Comparaison entre les corrélations issues de la même polarisation (HH) et avec différentes dimensions de parcelles (50m/50m et 100m/100m)	82
IV.3.2.1.2.Comparaison entre les corrélations en fonction de la polarisation	82
IV.3.2.2.Les Résultats issus de la journée du 18 décembre 2009 .....	84
IV.4.L'aptitude du radar a estimer la rugosité du sol.....	87
IV.4.1.Digitalisation des parcelles témoins et les statistiques .....	87
IV.4.2.Résultats des traitements de profils de la rugosité.....	87
IV.4.3.Comportement de sigma0 (ASAR 02/12/2009 100*100) en fonction des polarisations HH/VV.....	88
IV.4.4.L'écart type des hauteurs (RMS) et la longueur de corrélation (L).....	88
IV.4.5.Comportement du signal radar en fonction de la rugosité de surface.....	89
IV.4.6.Comportement du signal radar en fonction de l'angle d'incidence, de l'humidité volumique du sol pour une rugosité connue.....	93

## **Chapitre V : Cartographie**

V.1.Cartographie de la salinité par la géostatistique.....	96
V.1.1.Variographie.....	96
V.1.2.Krigeage.....	99

<b>Conclusion</b>	105
-------------------	-----

## **Référence bibliographique**

## LISTE DES ABREVIATIONS

**AOI** : zones d'intérêt.

**ASAR**: Advanced Synthetic Aperture Radar.

**CE** : Conductivité électrique.

**dS/m** : DeciSiemens par mètre.

**dB** : décibels.

**ENVISAT** : ENVironment SATellite.

**HH**: Horizontal Horizontal.

**Hv** : Humidité volumique.

**Hp** : Humidité pondérale.

**GPS**: Global Positionning System.

**MT**: method.

**PH** : Potentiel Hydrogène.

**SAR** : Synthetic Aperture Radar.

**Sigma0** : Coefficient de rétrodiffusion.

**TDR** : time domain reflectometry.

**UTM** : Universal Transverse Mercator

**VV**: Vertical Vertical.



# Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Localisation géographique de la zone d'étude.....	02
<b>Figure 02</b> : Moyennes annuelles des précipitations aux différentes stations du Bas-Chélif (Guerina, 2008).....	04
<b>Figure 03</b> : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la station de Relizane de la période (1985/2007).....	05
<b>Figure 04</b> : Position de la station de Hmadna sur le climagramme d'Emberger .....	06
<b>Figure 05</b> : Système théorique des vents ascendant et descendant dans la vallée du Chélif (Yacono, 1955).....	07
<b>Figure 06</b> : Carte des sols (Boulaine, 1956).....	09
<b>Figure 07</b> : Qualité des eaux des barrages de Gargar et de Merdjet Sidi Abed  (Source : Agence des bassins hydrographiques, Chleff-Zahrez (ABH-CZ), 2002).....	12
<b>Figure 08</b> : Les principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif  (Douaoui, 2005).....	13
<b>Figure 09</b> : Schéma synthétique des processus géochimiques des différentes voies de salinisation et leurs impacts sur les propriétés physiques des sols et sur les cultures (Source: Tabet, 1999).....	17
<b>Figure 10</b> : Exemple d'utilisation de la méthode de la chaîne avec une règle-venier.....	24
<b>Figure 11</b> : Exemple d'utilisation d'un panneau rigide quadrillé et d'un contenant de peinture en aérosol pour marquer et mesurer le profil de rugosité de surface d'un sol nu .....	25
<b>Figure 12</b> : profil linéaire mesuré sur un couvert végétal.....	26
<b>Figure 13</b> : Géométrie de la visée latérale.....	29
<b>Figure 14</b> : Géométrie d'une surface inclinée.....	31
<b>Figure 15</b> : Système d'acquisition et de formation d'une image.....	32

<b>Figure 17</b> : Représentation de la géométrie azimutale.....	34
<b>Figure 18</b> : Traitement multi-looks.....	34
<b>Figure 19</b> : Les diverses distorsions géométriques dues à la morphologie du relief.....	35
<b>Figure 20</b> : Carte représentative des différents périmètres avec points échantillonnés de la HMADNA.....	40.
<b>Figure 21</b> : Schéma représentatif du premier plan d'échantillonnage pour les deux paramètres (humidité et salinité).....	41
<b>Figure 22</b> : Carte représentative des différents périmètres de la plaine du CHELIF avec localisation du deuxième échantillonnage de la rugosité dans la HMADNA.....	42
<b>Figure 23</b> : Schéma représentatif du deuxième plan d'échantillonnage réservé pour la rugosité dans la HMADNA .....	42
<b>Figure 24</b> : Schéma représentatif du choix des parcelles a profils.....	43
<b>Figure 25</b> : Photo du rugosimètre utilisé dans les mesures.....	44
<b>Figure 26</b> : Photo représentative de la première méthode du calcul de RMS.....	49
<b>Figure 27</b> : Photo représentative du profil de la deuxième méthode de calcul de RMS.....	51
<b>Figure 28</b> : Exemple d'utilisation de la méthode de la chaine avec règle-vernier.....	51
<b>Figure 29</b> : Photo représentative de la troisième méthode de calcul de la rugosité (Inspirée de la méthode de la chaine).....	52
<b>Figure 30</b> : image ASAR de la HMADNA (bas Cheliff du 13/11/2009).....	56
<b>Figure 31</b> : image ASAR de la HMADNA (bas Cheliff du 26/11/2009).....	56
<b>Figure 32</b> : image ASAR de la HMADNA (bas Cheliff du 02/12/2009) ..	57
<b>Figure 33</b> : image ASAR de la HMADNA (bas Cheliff du 09/12/2009).....	57
<b>Figure 34</b> : image ASAR de la HMADNA (bas Cheliff du 18/12/2009).....	58
<b>Figure 35</b> : Schéma représentatif d'un model de correction radiométrique des images ASAR.....	60

<b>Figure 36</b> : image ALOS corrigée et géoréférencée de la plaine du BAS CHELIFF prise le 31/12/2007.....	60
<b>Figure 37</b> : représentation de deux images radar (géoréférencée/a géoréférencer) en présence des points communs.....	61
<b>Figure 38</b> : image ASAR géoréférencée qui couvre le périmètre de HMADNA du 02 décembre 2009.....	62
<b>Figure 39</b> : Schéma représentatif du model de conversion des images ASAR en mode linéaire.....	63
<b>Figure 40</b> : A gauche : une image radar en mode dB / A droite : l'image radar convertie en mode linéaire.....	63
<b>Figure 41</b> : A gauche : AOI sélectionné de 100m/100m sur l'image en mode linéaire A droite : l'ensemble des pixels que couvre l'AOI ainsi que le point échantillonné centré....	65
<b>Figure 42</b> : schéma représentatif de la démarche générale du travail.....	68
<b>Figure 43</b> : les images (1,2 et 3) en mode dB et en mode linéaire .....	73
<b>Figure 44</b> : les images (4 et 5) en mode dB et en mode linéaire.....	74
<b>Figure 45</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique (Du 09-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m).....	75
<b>Figure 46</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique (Du 09-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m).....	76
<b>Figure 47</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique (Du 09-12-2009 polarisation VV dimension 100m/100m).....	77
<b>Figure 48</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique (Du 18-12-2009 polarisation HH dimension 50m/50m).....	78
<b>Figure 49</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique (Du 18-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m).....	78

<b>Figure 50</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique (Du 18-12-2009 polarisation VV dimension 100m/100m).....	79
<b>Figure 51</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique du sol (Du 09-12-2009 polarisation HH dimension 50m/50m).....	81
<b>Figure 52</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique (Du 09-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m).....	82
<b>Figure 53</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique (Du 09-12-2009 polarisation VV dimension 100m/100m).....	83
<b>Figure 54</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique (Du 18-12-2009 polarisation HH dimension 50m/50m).....	84
<b>Figure 55</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique (Du 18-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m).....	85
<b>Figure 56</b> : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique (Du 18-12-2009 polarisation VV dimension 100m/100m).....	85
<b>Figure 57</b> : comportement du coefficient de rétrodiffusion ( $\sigma_0$ ) en fonction des polarisation (HH et VV).....	88
<b>Figure 58</b> : corrélation entre le RMS et la longueur de corrélation calculée.....	89
<b>Figure 59</b> : corrélation entre $\sigma_0$ moyen du 02/12/2009 pour les parcelles de 100m*100m en décibels avec le rapport L/L initial pour la polarisation HH et VV.....	90
<b>Figure 60</b> : relation entre RMS (en mètre / tout les points) et le coefficient de rétrodiffusion (DB) du 02/12/2009 en fonction des polarisation (HH et VV).....	91
<b>Figure 61</b> : corrélation entre RMS moyen et coefficient de rétrodiffusion moyen en décibels de chaque parcelle du 02/12/2009 en deux polarisations (A: HH et B:VV).....	92
<b>Figure 62</b> : Plan d'échantillons des points utilisés dans la cartographie de la salinité .....	96
<b>Figure 63</b> : Variogramme expérimental moyen.....	97

<b>Figure 64</b> : Variogramme expérimental moyen retenu.....	97
<b>Figure 65</b> : Variogramme théorique moyen de la CE ajusté à un modèle sphérique.....	98
<b>Figure 66</b> : Variogramme surfacique de la conductivité électrique .....	99
<b>Figure 67</b> : Carte de la salinité estimée par krigeage ordinaire.....	100
<b>Figure 68</b> : Carte de la salinité de la plaine du bas Chélif estimée par KO .....	101
<b>Figure 69</b> : Carte de la CE avec symbolisation de l humidité volumique du 09 décembre 2009 au périmètre de HMADNA .....	101
<b>Figure 70</b> : carte de la CE avec symbolisation de l'humidité volumique du 18 décembre 2009 au périmètre de HMADNA .....	102



## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de Hmadna (1985-2007).....	03
<b>Tableau 02</b> : Synthèse des sols de la plaine du Bas-Chéelif d'après la carte pédologique de Mc Donald et BNEDER, (1990).....	08
<b>Tableau 03</b> : Les principales formations géomorphologie de la plaine du bas-Chéelif.....	10
<b>Tableau 04</b> : Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25° C. (Mathieu et Pieltain, 2003).....	18
<b>Tableau 05</b> : Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25° C. (Mathieu et Pieltain, 2003).....	19
<b>Tableau 06</b> : permittivités diélectriques des constituants du sol .....	20
<b>Tableau 07</b> : récapitulatif des dates de sorties avec paramètres concernés.....	39
<b>Tableaux 08</b> : classement des données de l'humidité et la salinité selon les journées.....	46
<b>Tableau 09</b> :caractéristiques du satellite ASAR (mode, id, polarisation, incidence, fauchée) 55	
<b>Tableau10</b> : récapitulatif des identités des images ASAR de notre étude.....	58
<b>Tableau 11</b> : L'humidité volumique moyenne des cinq journées en répartition zonale.....	70
<b>Tableau 12</b> .La conductivité électrique moyenne des cinq journées en répartition zonale .....	70
<b>Tableau 13</b> : récapitulatif des identités des images ASAR de notre étude .....	71
<b>Tableau 14</b> : matrice de corrélation entre les RMS des trois méthodes .....	87
<b>Tableau 15</b> : récapitulatif des données des parcelles (H23, H25, H31 et H32) ainsi les images qui leurs correspond .....	93
<b>Tableau 16</b> : représentatif des superficies des classes des deux cartes .....	100

# Résumé

Le périmètre de HMADNA de la plaine du bas Chélif a fait l'objet de notre terrain d'étude. Il se trouve à 250 km à l'ouest d'Alger et s'étend sur la partie ouest de la plaine. Ce périmètre qui n'est qu'à 40 km de la méditerranée a un climat aride et connaît de graves problèmes de dégradation de son milieu physique.

Face à des sols à problèmes comme les sols de ce périmètre qui connaissent des niveaux de dégradation parfois avancés, la détermination de l'état de surface de ces sols devient impérative pour arriver à mieux les gérer. La connaissance donc de ces variables représentent l'outil idéal pour le faire ; sauf que la mesure in situ de ces derniers est parfois très difficile, longue, et dans la plupart du temps coûteuse.

Le but de notre étude était d'étudier la possibilité d'avoir une relation entre le signal radar et des paramètres physicochimique du sol telles que l'humidité, la salinité et la rugosité du sol et cela suite à l'utilisation du capteur radar ASAR.

Ce dernier a prouvé sa fiabilité. A partir des résultats obtenus. On a pu montrer la contribution significative de la salinité et de l'humidité des sols au coefficient de rétrodiffusion de l'image RSO. Les caractéristiques de cette dernière (angle d'incidence et polarisation) influent d'une manière directe le comportement du signal radar avec les paramètres étudiés.

Les deux polarisations ont donné de très bons résultats en termes de relation entre le signal rétrodiffusé et les paramètres (humidité et salinité des couches de surface du sol) tout en soulignant une amélioration remarquable sur la polarisation (HH) par rapport à (VV). Le signal radar est plus sensible à la salinité du sol aussi bien pour les grands angles d'incidence que pour les faibles et cela pour les deux polarisations existantes dans notre travail (HH et VV).

Le potentiel de la bande C pour la caractérisation de la rugosité de surface des sols a été analysé. Le signal radar est sensible à la rugosité (écart type des hauteurs RMS et longueur de corrélation L) autant plus sur la polarisation HH que VV et cela pour les trois méthodes de calculs de la rugosité.

Il existe toujours une interaction entre les caractéristiques physicochimique du sol (humidité, salinité et rugosité du sol) car on a trouvé sur le cas étudié pour des sols nus, le signal radar est influencé par l'humidité et aussi par l'angle d'incidence qui concerne l'image et cela pour la polarisation (HH) ainsi que pour la (VV).

La géostatistique et le krigeage ordinaire ont montré encore une fois leur fiabilité pour l'estimation et la cartographie des phénomènes naturels.

**Mots-clés : Périmètre de HMADNA ; télédétection radar; salinité ; humidité ; rugosité.**



# Abstract

The parameter of HMADNA of the plain low Chélif has been the object of our ground of study. It is located to 250 km west of Algiers and covers the western part of the plain.

This scope which is only 40 km from the Mediterranean has a dry climate and knows serious problems of degradation of its physical environment. In front of grounds with problems as grounds of this perimeter which know sometimes moved forward levels of degradation, determining the surface of the soil becomes imperative to manage them better. The knowledge thus of these variables is the ideal tool but its measurement is sometimes very difficult, time consuming, and most of the time expensive.

The purpose of our study was to investigate the possibility of having a relation between the radar signal and the physicochemical parameters of the ground: such as the humidity, the salinity and the roughness of the ground and this result was the use of ASAR sensor.

It has proven its reliability. From the results obtained. We were able to show the significant contribution of the salinity and the humidity of grounds to the coefficient of the image RSO. The characteristics of this image (polarization and angle of incidence) affect in a direct way the behavior of the radar signal with the studied parameters.

Both polarizations gave very good results in terms of the relation between back scattered signal and parameters (humidity and salinity of the coats of surface of the ground) while underlining a remarkable improvement on the polarization (HH) compared with (VV). The radar signal is more sensitive to soil salinity as well for the wide angles of incidence as for the weak one and this applies to both existing in our work (HH and VV).

The potential of the C band for the characterization of the surface roughness of the soil was analyzed. The radar signal is sensitive to roughness (standard deviation of RMS height and correlation length L) so much more on the polarization HH than VV and that for the three calculation methods of the roughness.

There is always an interaction between the physicochemical characteristics of the soil (humidity, salinity and soil roughness) because it was found on the case studied for bare soil, the radar signal is influenced by humidity and by the angle of incidence which concerns the image and that is for the polarization (HH) as well as for (VV).

Geostatistics and ordinary kriging showed once again its reliability for estimating and the mapping of natural phenomena.

**Keywords:** Perimeter HMADNA, radar remote detection, salinity, humidity, soil roughness.

## ملخص

\*تعلق موضوع دراستنا بمحيط الحمادنة من سهل الشلف المنخفض يقع هذا الأخير على بعد 250 كلم غرب الجزائر العاصمة ، هذا المحيط لا يبعد سوى 40كلم من البحر المتوسط إلا أنه يتميز بمناخ جاف و يعاني من مشاكل في تدهور البيئة التحتية.

معالجة أراضي محيط الحمادنة التي تعاني تدهور في غالب الأحيان خطير يتطلب معرفة حقيقية ،فتحديد وضعية سطح التربة ضروري لتحقيق تسيير أفضل.و معرفة المتغيرات هي أداة مثالية للقيام به إلا أن قياسها على أرض المبيدات في غالب الأحيان صعب مضيعة للوقت و مكلف .

-هدفنا من هذه الدراسة التحقيق في احتمال وجود علاقة بين إشارة الرادار و المعلومات الفيزيوكيميائية للتربة مثل الرطوبة ، و الملوحة و خشونة التربة و كان هذا نتيجة إستخدام جهاز الإستشعار ASAR . هذا الأخير أثبت موثوقية من خلال النتائج المتحصل عليها حيث تمكنا من توضيح إستجابة معامل الشتت الإرتدادي للصورة RSO مع خصائص التربة

(الرطوبة ، الملوحة ) ، مع تأثير خصائص هذه الصورة (الإستقطاب وزاوية السقوط بطريقة مباشرة على سلوك إشارة الرادار مع المعلومات المدروسة .

-نوعي الإستقطاب المتوفرة في دراستنا أعطيتنا نتائج جيدة مع الإشارة إلى الإستقطاب (HH) الذي كان متميز مقارنة مع الإستقطاب (VV) علماً أيضاً أن إشارة الرادار كانت حساسة لملوحة التربة و ذلك في حالة زاوية السقوط الكبيرة.

تم تحليل إمكانية الموجة C على وصف خشونة سطح التربة ، توصلنا إلى أن إشارة الرادار حساسة مع هذا المعيار (الإنحراف المعياري للارتفاعات RMS وطول الإرتباط L) خصوصاً على الإستقطاب (VV) و ذلك في الحالات الثلاثة المتبعة لقياساتنا

# **INTRODUCTION**

### **Introduction :**

La télédétection spatiale est d'une importance primordiale pour la cartographie et la surveillance des problèmes environnementaux. Son intérêt réside dans la capacité des capteurs satellitaires spatiaux à fournir des informations globales et permanentes de la planète, ou, aux échelles locale à régionale, à fournir une vision spatialisée et répétitive des territoires et écosystèmes. La télédétection radar a montré son grand potentiel ces dernières années dans la caractérisation des états de surface du sol (état hydrique, rugosité, végétation, salinité). L'état de la surface du sol, et en particulier l'humidité et la rugosité, exerce une influence fondamentale sur la répartition de la pluie entre infiltration, rétention superficielle et ruissellement. Il a un rôle essentiel dans les processus hydrologiques de surface et ceux associés à l'érosion et aux processus d'évapotranspiration. Dans ce cadre et depuis plusieurs années, plusieurs études scientifiques ont montré le potentiel des données micro-ondes actives dans l'estimation de l'état hydrique du sol et de sa rugosité de surface.

Face à des sols à problèmes comme les sols du périmètre de Hmadna de la plaine du bas-Cheliff qui connaissent des niveaux de dégradation parfois avancés (salinité, sodicité), la détermination de l'état de surface de ces sols devient impérative pour arriver à mieux les gérer. La connaissance donc de ces variables représentent l'outil idéal pour le faire ; sauf que la mesure in situ de ces derniers est parfois très difficile, longue, et dans la plupart du temps coûteuse.

La télédétection radar tend de plus en plus à remplacer ces méthodes longues et dispendieuses. Elle est d'une importance primordiale pour la cartographie et la surveillance des problèmes environnementaux. Les capteurs radar (Radio Detection And Ranging) permettent une cartographie quelles que soient les conditions météorologiques (nuages, pluie,) et temporelles (jour-nuit), ce qui n'est pas le cas des capteurs optiques (passifs) qui sont difficilement exploitables en hiver en raison de la couverture nuageuse.

De la, deux aspects ont été mis pour la connaissance et la caractérisation des états de surfaces des sols du périmètre de Hmadna :

-le premier aspect de notre travail vise à étudier l'aptitude du radar à estimer les différentes variables qui représentent l'état de surface (rugosité, humidité, salinité).

-le deuxième aspect est de mettre en évidence une cartographie de l'état de surface du périmètre irrigué tout en indiquant les différentes variables étudiées.

**CHAPITRE - I**

**MILIEU PHYSIQUE**

## Chapitre I. Milieu physique

### I. 1 Localisation de la zone d'étude :

La plaine du Bas-Chélif est l'une des trois plaines composant la vallée du Chélif (haut, moyen et bas Chélif). elle se situe au nord-ouest de l'Algérie à 250 Km d'Alger ; elle fait partie du bassin versant du Chélif et occupe sa partie ouest, elle est bordée par le périmètre de moyen Cheliff à l'est, le périmètre de la Mina à l'ouest, le massif du Dahra au Nord et le massif de l'Ouarsenis au sud. La région est limitée par l'Oued Touchait (environ 3 Km à l'ouest de la ville de Boukadir willaya de Chleff) à l'Est, et la ville de Sidi-Khattab (willaya de Mostaganem) à l'Ouest. Boukadir, Merdjet-Sidi Abed, Oued Rhiou, Djidiouia, Hmadna, Ouarizanze et Sidi-Khattab sont les principales villes situées dans le périmètre allant d'Est en Ouest.



**Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude.**

La région du Bas-Cheliff se trouve entre  $0^{\circ} 40'$  et  $1^{\circ} 6' 8''$  de longitude et entre  $34^{\circ} 3' 12''$  et  $36^{\circ} 5' 57''$  de latitude nord. Avec les coordonnées géographiques x et y, selon la projection UTM Algérie fuseau 31, sont :

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

$$Y = 3\ 968\ 469 \text{ et } 3\ 996\ 812 \text{ m.}$$

## I. 2. Le climat :

### I. 2. 1. Les températures :

Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août, avec une température moyenne de 29.72 °C. Les basses températures se manifestent au mois de janvier avec une température moyenne de 10.37 °C (Tab. 1).

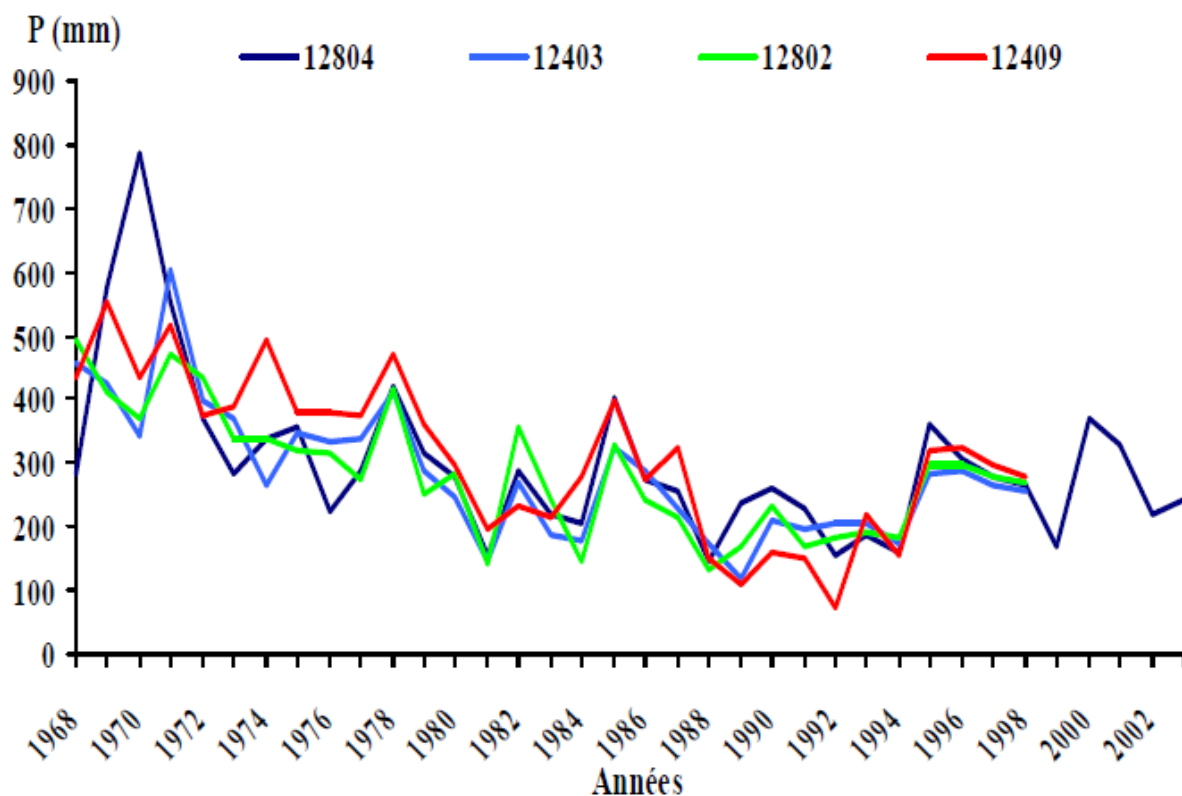
**Tableau 1. Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de Hmadna (1985-2007).**

Mois	Température (°C)	Précipitation (mm)
Janvier	<b>10,37</b>	37,71
Février	11,78	35,23
Mars	14,36	27,65
Avril	16,69	31,01
Mai	21,45	21,27
Juin	25,85	4,65
Juillet	29,31	1,18
Août	<b>29,72</b>	2,50
Septembre	25,35	14,91
Octobre	20,90	30,41
Novembre	14,63	49,34
Décembre	11,72	34,17
Max	29,72	49,34
Min	10,37	1,18
Ecart annuel	19,34	48,17
Moy annuelle	19,35	290,02

(Source : INRAA, 2009)

### I. 2.2. Les précipitations :

Décrites dans la bibliographie comme éléments primordiales, les précipitations de la plaine sont d'une part à la base du maintien et de l'avènement du couvert végétal d'autre part, elles jouent un rôle important dans la dégradation des sols par l'érosion hydrique lors des averses torrentielles comme l'a bien précisé Boulaine en 1957 : « Certaines années comme ce fut le cas en 1927-1928 ce fut la zone oranaise de la vallée du Chélif qui a reçu les précipitations les plus abondantes. Celles-ci se traduisent par des crues catastrophiques. La répartition des pluies suivant les mois de l'année est évidemment marquée par une sécheresse aiguë des mois d'été, juin et surtout juillet et août » ; en plus par la remontée des sels en cas d'insuffisance pluviométrique.



**Figure 2. Moyennes annuelles des précipitations aux différentes stations du Bas-Chélif (Guerina, 2008)**

D'où

- Station 12804 : DOMAINE SIDI LAKHDAR (1968-1999)
- Station 12403 : MERDJA KH (1968-1999)
- Station 12802 : EL HMADNA VILLAGE (1968-2002)
- Station 12409 : OUARIZANE VILLAGE (1968-1999)

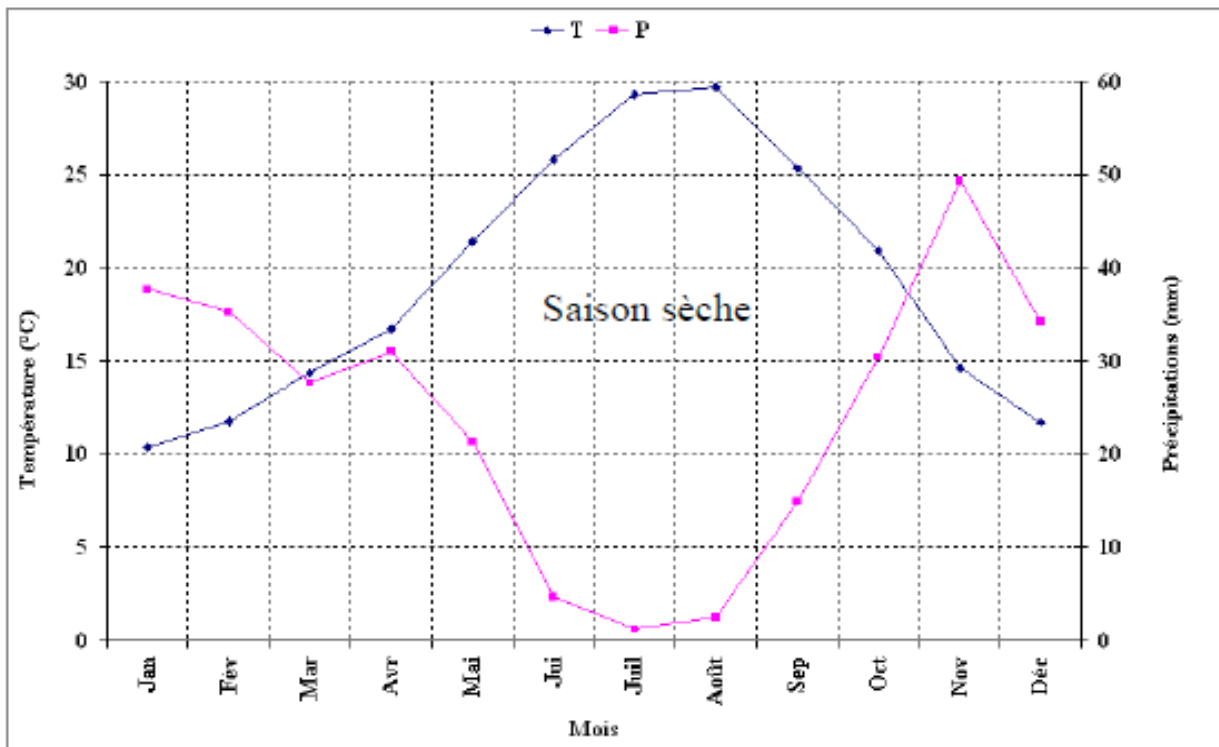
### I. 2.3. Le quotient pluviométrique d'Emberger :

Parmi les formules les plus utilisées qui combinent entre les précipitations et les températures on retient le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953), qui exprime la durée de la période sèche de l'année, et l'indice pluviométrique d'Emberger qui demeure l'indice le plus efficace dans la description du climat méditerranéen.

Bagnouls et Gausson (1953) définissent la saison sèche comme étant : « l'ensemble des mois où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètre est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés centigrades ( $P \leq 2T$ ). ».

Le diagramme ombrothermique de la station climatique de Hmadna entre 1985 et 2007 (Fig. 3) montre que un climat de type méditerranéen avec une période de sécheresse très longue, qui s'étale sur plus de 8 mois, allant du début du mois de Mars jusqu'à la fin du mois d'Octobre.





**Figure 3. Diagramme ombrothermique de Gausson de la station de Relizane de la période (1985/2007).**

L'indice pluviométrique d'Emberger appelé ( $Q_2$ ) est ainsi formulé :

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

M : Température moyenne mensuelle du mois le plus chaud exprimée en degrés Kelvin.

m : Température moyenne mensuelle du mois le plus froid exprimée en degrés Kelvin.

M-m : Amplitude thermique extrême moyenne.

La valeur du quotient pluviométrique varie en fonction inverse du caractère xérique du milieu. Plus la sécheresse annuelle globale est grande, moins la valeur du quotient est élevée. En reportant la valeur de  $Q_2$  (27.95) et de m (5 °C) sur le climagramme d'Emberger, (tableau 1 et fig. 4), notre station d'étude se situe dans l'étage bioclimatique aride supérieur, variante à hiver tempéré

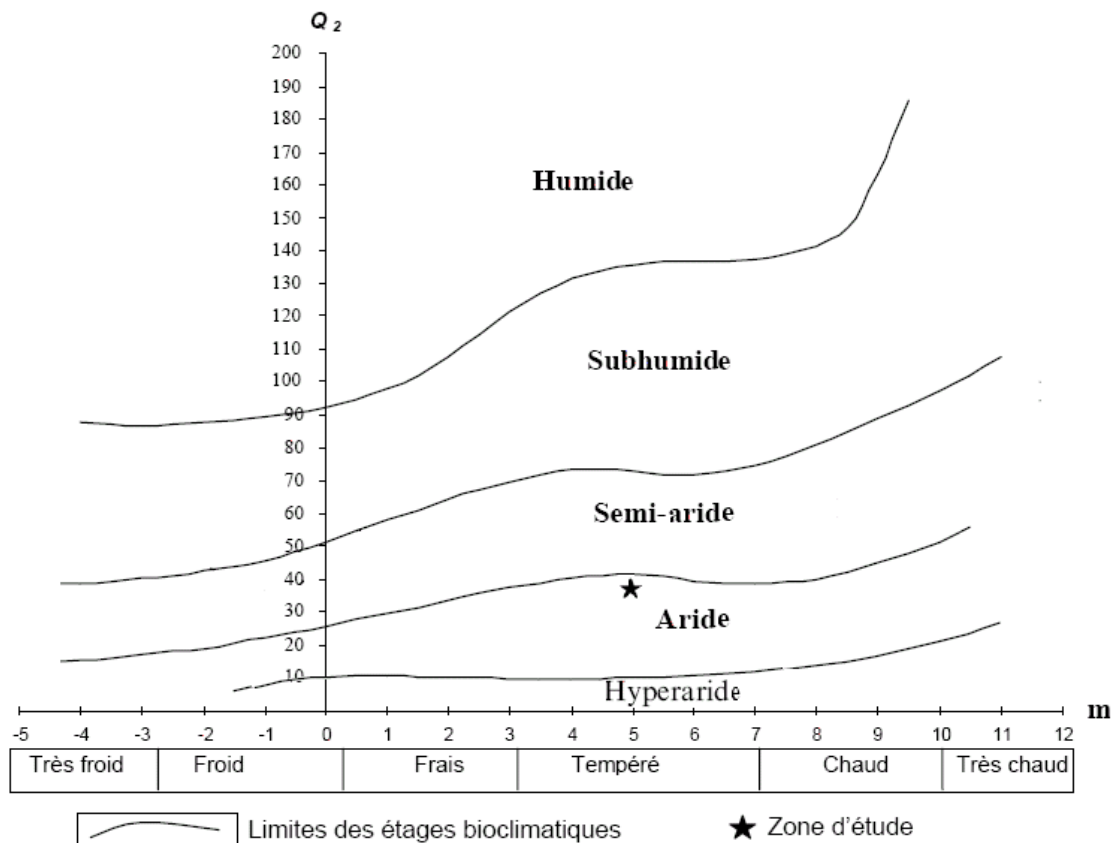


Figure 4. Position de la station de Hmadna sur le climagramme d'Emberger.

**I. 2.5. L'évapotranspiration (ETP) :**

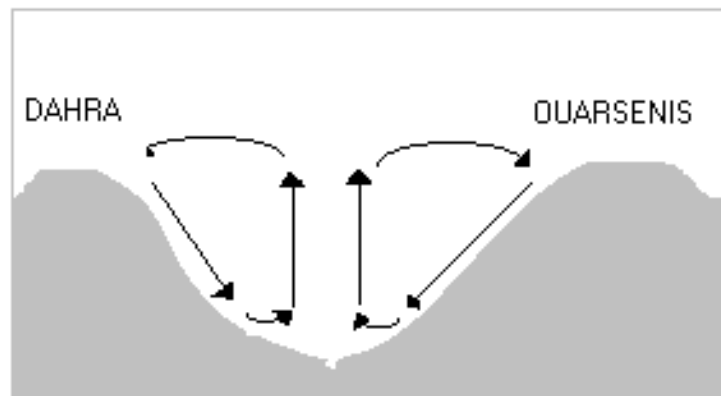
Elle est définie comme étant la valeur maximale possible de l'évaporation dans des conditions climatiques données. Elle résulte de deux phénomènes l'un physique (l'évaporation), l'autre biologique (la transpiration). L'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de Penman est de 1500 mm/an (Douaoui, 2005).

**I. 2.6. L'humidité :**

L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée le matin pour tous les mois, elle est de l'ordre de 65 à 75 % en hiver et près de 35 % en été. Elle peut compenser en un certain degré l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes. Le mois le plus humide est le mois de décembre, par contre le mois le plus sec est le mois de juillet.

### I.2.7. Le vent :

Le vent agit soit directement par une action mécanique sur le sol et les végétaux, soit indirectement en modifiant l'humidité et la température (Ozenda, 1982). D'après les observations effectuées à la station du Hmadna, il ressort que le vent dominant est le vent d'Ouest. Sa vitesse moyenne varie de 13 à 33 Km/h, jouant le rôle de la dégradation mécanique du sol et agit sur l'amplitude de la température. Il constitue ainsi un agent d'érosion efficace dans les régions à couverture végétale faible à nulle, surtout durant la période sèche où beaucoup de sols acquièrent une structure micro- polyédrique (pseudo-sables) à la surface voire poudreuse dans d'autres cas (Douaoui, 2005). Les lunettes qu'on retrouve autour de la sebkha Benziane sont dues à ce phénomène (Boulaine, 1957) (fig. 5).



**Figure 5. Système théorique des vents ascendant et descendant dans la vallée du Chélif (Yacono, 1955)**

### I. 3. Pédologie :

D'après la carte de Boulaine (1957) on distingue deux grandes divisions des sols :

#### I. 3.1. Les sols des bordures des plaines :

Ces sols sont formés par des associations de sols plus ou moins érodés, qui peuvent évoluer sur du calcaire dur ou tendre, des grès ou des marnes. Lorsque la roche n'affleure pas à la surface, ce sont des sols généralement calcimagnésiques, le plus souvent rendziniformes avec parfois la présence d'une croûte calcaire (fig. 6).

#### I. 3.2. Les sols de la plaine proprement dite :

Cinq classes ont été décrites : les sols salés, les sols hydromorphes, les vertisols, les sols peu évolués alluviaux et colluviaux et les sols calcimagnésiques (fig. 6).

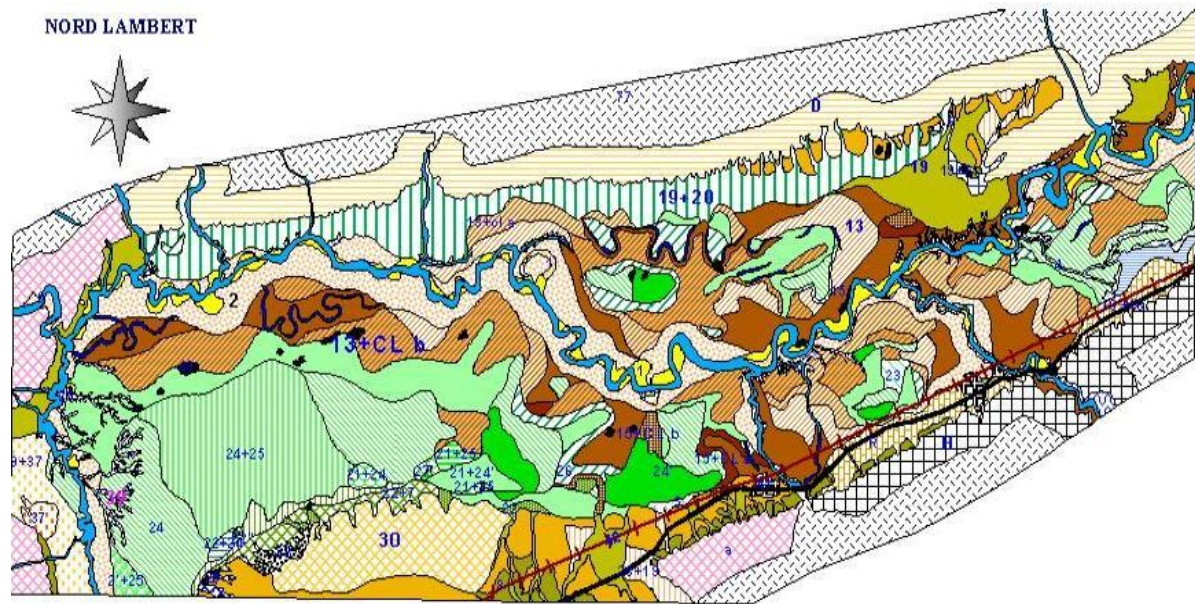
Dans la classe des sols salés, Boulaine (1957) distingue les Solontchaks inertes avec accumulation des sels en surface ou en profondeur, les Solontchaks vifs (horizon de surface à structure micropolyédrique en pseudo-sables durant l'été) pouvant être parfois hydromorphes,

les Solontchaks vifs défloculés (dispersés en surface), les Hyposolontchaks et les Eosolonetz des lunettes érodées.

La carte des sols établie par McDonald et BNEDER (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural) (1990) selon la CPCS (1967) montre l'existence des mêmes types de sols dans la plaine. On retrouve :

**Tableau 2. Synthèse des sols de la plaine du Bas-Chélif d'après la carte pédologique de Mc Donald et BNEDER, (1990).**

Type de sol	Caractéristiques
<b>Sols peu évolués</b>	- <i>Les sols peu évolués d'apport alluvial</i> : avec des caractéristiques physicochimiques très variées. Textures peu argileuses, limoneuse ou sableuse. Localisé surtout aux bords des oueds. - <i>Les sols peu évolués d'apport colluvial</i> : Ils sont caractérisés le plus souvent par des dépôts de cailloux et de graviers à la surface et en profondeur du profil. Leur texture peut être très variée. Localisés aux bords de la plaine.
<b>Les Vertisols</b>	Riches en argiles gonflantes (smectites). C'est des sols à mauvais drainage. On les retrouve sur les alluvions des terrasses Rharbiennes. Ils présentent souvent le caractère salin avec une hydromorphie en profondeur.
<b>Les sols Calcimagnésiques</b>	Des sols carbonatés, plus ou moins différenciés et présentent parfois des accumulations calcaires nodulaires ou continues sous forme d'encroûtement et de croûte. Ils montrent parfois des caractères vertiques.
<b>Les sols isohumiques</b>	Moins fréquents dans le Bas-Chélif. Ils sont de couleur marron et présentent, parfois, le caractère vertique ou des accumulations discontinues de calcaire. Localisés sur les colluvions de la partie Sud de la plaine et sur le plateau de Benziane.
<b>Les sols hydromorphes</b>	Des sols profonds avec un drainage imparfait dû à leur position basse. Ils forment généralement des dépressions fermées telles que les sols de la Gaa. On les rencontre un peu partout dans le Bas-Chélif.
<b>Les sols salsodiques</b>	Appelés halomorphes : sont des sols dont l'évolution est influencée par la présence de sels solubles et du pourcentage du sodium échangeable. Lorsque la conductivité électrique dépasse les 4 dS/m par la méthode de la pâte saturée, ils sont appelés sols salés <sup>1</sup> (Richards, 1954).



**Légende**

0 1.7 3.4 5.1 6.8 8.5 Km

- 1 : sols alluviaux non évolués des dépôts sableux des lits majeurs des oueds
- 1' : fréquemment inondés
- 1'' : salés par ruissellement latéral
- 2 : sols alluviaux non évolués des dépôts sableux des bourellets des oueds
- 2' : peu épais
- 3 : sols hydromorphes non salés des réseaux d'écoulement des eaux superficielles des plaines
- 4 : sols hydromorphes permanents
- 5 : sols hydromorphes temporaires, à nappes phréatiques non salées
- 7 : sols hydromorphes à inondations temporaires hivernales
- 8 : sols calciques formés sur carapace calcaire
- 13 : sols alluviaux complexes à horizon d'accumulation des sulfates
- 13+cla : sols alluviaux complexes à horizon d'accumulation des sulfates et chlorures
- 13+clb : sols alluviaux complexes à horizons d'accumulation des sulfates+accumulation de chlorures en profondeur (>0,18 %)
- 15 : sols alluviaux complexes évolués
- 15+cla : sols alluviaux complexes +accumulation de chlorures en profondeur (<0,18%)
- 15+clb : sols alluviaux complexes +accumulation de chlorures en profondeur (>0,18 %)
- 18+18' : sols colluviaux provenant des massifs calcaires, pente assez forte
- 19 : sols colluviaux provenant des massifs gréseux et des formations quaternaires anciennes
- 20 : sols colluviaux et alluviaux provenant des massifs marneux et argileux
- 21 : Solontchaks lessivés ou solonetz par ablation éolienne (sols des dayas des zones salés)
- 22 : Solontchaks vifs
- 22'' : Solontchaks vifs défloculés
- 23 : Solontchaks inertes avec plus de 0,18 % et moins de 0,5 % de C1 en surface
- 24 : Solantchaks inertes avec plus de 0,18 % de chlore en surface
- 24' : Solontchaks inertes avec plus de 0,18 % de C1 en surface et plus de 0,5 % de C1 en profondeur
- 25 : Hyposolontchaks avec 0,07 à 0,18 % de C1 en surface + accumulation de Chlorure en profondeur
- 26 : Hyposolontchaks avec 0,07 à 0,18 % de C1 en surface
- 27' : Eosolonetz des lunettes érodés
- 28 : sols partiellement décalcifiés à accumulation progressive de calcaire
- 30 : sols partiellement décalcifiés à accumulation brusque du calcaire
- 37 : sols dunaires rouges décalcifiés
- 38 : sols dunaires de la bordure nord de l'auréole de la sebkha Benziane
- 39 : griffes d'érosion
- 42 : voie ferrée
- 43 : villages ,douars,carneaux, etc...
- 77 : Massif (Dahra, Ouarsenis)
- a : Association des sols à carapace calcaire
- D : Association des sols jeunes formés sur grès et marnes
- H : Association des sols formés sur les calcaires tendres
- R : Route nationale n°4

Figure 6. Carte des sols (Boulaine, 1956)

#### I. 4. Géologie et géomorphologie :

La plaine du Bas-chélif est un synclinal comblé du rharbien (quaternaire) encadré au Nord et au sud par des collines de l'âge Miocène pliocène (tertiaire). En conséquences, les alluvions de la plaine du Bas-chélif proviennent directement de l'érosion de ces collines (McDonald et BNEDER, 1990).

Au sud, les collines coupées par l'oued Rhiou et l'oued Djidouia, consistent en de schistes et de marnes salés, ce qui explique la haute salinité des sols alluviaux de la plaine ainsi que le niveau de la salinité des eaux de la retenue du barrage Gargar. (McDonald et BNEDER, 1990).

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

Les collines de l'Est du Bas-Chélif sont plus récentes que le Dahra et le massif de l'Ouarsenis, d'âge Villafranchien et sont composées de limons calcaires intercalés de sables, extrêmement tendres, une érosion sévère a ravines profondes. Les principales formations géomorphologie sont synthétisées dans le tableau suivant:

**Tableau 3. Les principales formations géomorphologie de la plaine du bas-Chélif.**

Principales formations géomorphologie	Caractéristiques
Les glacis colluvionnaires	les glacis assez étroits de 3 % à 5 % qui se retrouvent en bordure de la plaine. Où les formations récentes sont dominantes. La présence des formations plus anciennes caractérisées par la présence des croûtes calcaires est moins fréquente
La plaine alluviale	La plaine alluviale du Bas-Chélif date principalement du Rharbien. Les alluvions sont d'une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres ; elles sont constituées par des matériaux récents originaires des bassins versants du Chélif, de l'oued Rhiou et de l'oued Djidouia où dominant des schistes et des marnes du Miocène et du Pliocène souvent riches en sels. Ces alluvions sont principalement des argiles et des limons souvent à caractères salins (Boulaine, 1957).
Les lits des oueds actuels	Les lits d'oueds sont encaissés dans la terrasse alluviale du Rharbien à un niveau inférieur à 10 mètres. Les bords sont très escarpés et très abrupts. L'oued Chlef est le principal oued de la plaine. Au moment des grandes crues, il déborde sur les terrasses récentes en déposant en bordure de ses berges des bourrelets alluviaux le plus souvent sableux connus sous le nom de formations actuelles et qualifiés de formations modernes par Gaucher (1947). L'oued Rhiou et l'oued Djidouia forment des cônes de déjections assez étendus

	en contact avec la plaine du Bas-Chélif.
<b>La Sebkhha de Benziane</b>	C'est une cuvette elliptique de 5 km de long sur près de 3 km de large, entaillée dans la région de Benziane au Nord de la ville de Oued El Djemaa sur une profondeur d'une quinzaine de mètres.
<b>La Gaa</b>	C'est une dépression fermée, couverte par des formations récentes très argileuses, elle se trouve dans la rive droite de l'oued Mina. Caractériser par une salinisation importante des sols (Douaoui, 2005).
<b>La colline de partage</b>	C'est un relief caractéristique dans cette partie des plaines du Chélif qui domine Merdjet Sidi Abed d'une dizaine de mètres. A ce niveau, la plaine alluviale est très étroite et ne fait que 2 à 3 km de large. Les formations géologiques de ces collines sont continentales du Pliocène supérieur, du Villafranchien et du Quaternaire moyen,

### I. 5. Ecologie et occupation du sol :

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

D'après la même étude de McDonald et BNEDER (1990), les types de cultures occupent en S.A.U. : l'orge 20 %, le blé 8,5 %, l'olivier 3,6 %, les melons, pastèques et artichaut 6,7 %.

La carte d'occupation du sol établie par Douaoui (2005) à partir des données recueillies directement sur le terrain lors de l'échantillonnage, même si elle reste incomplète, montre que les sols sont occupés à 10 % par les cultures maraîchères, 1 % par l'arboriculture, 22 % par les céréales, 21 % par la jachère, 43 % par la végétation halophyte, et 3 % sont des sols labourés. Les sols très salés abandonnés sont couverts par une végétation halophyte dont la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et dans le temps.

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

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

### I. 6. Ressources en eau :

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

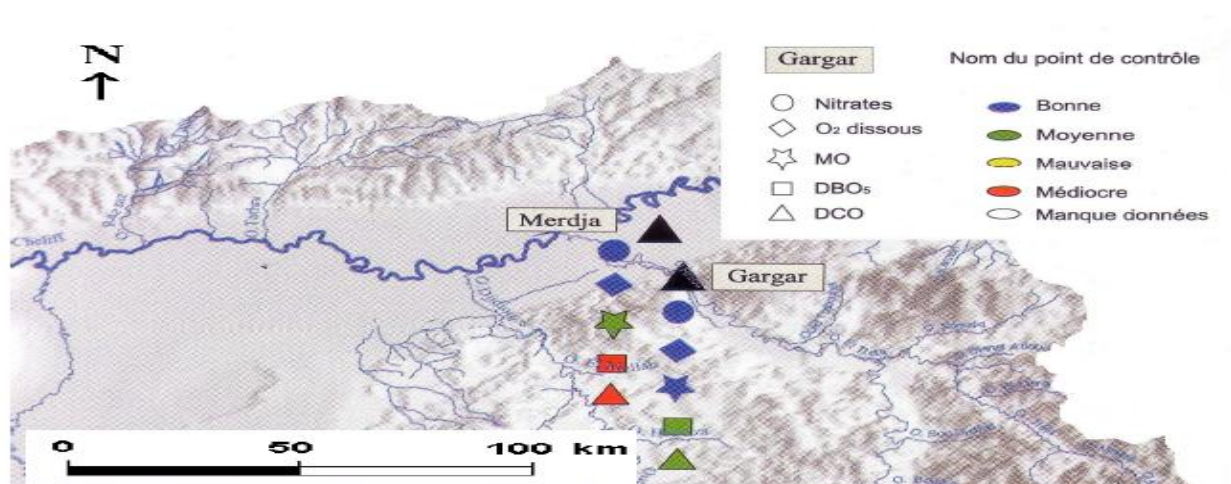
#### I. 6.1. Les ressources en eaux superficielles :

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

- Le barrage de Gargar sur l'oued Rhiou : d'une capacité de 450 millions de m<sup>3</sup>, il est l'un des plus importants barrages d'Algérie ;
- La retenue de la Merdjet Sidi Abed , un réservoir hors cours d'eau d'une capacité de 50 millions de m<sup>3</sup>, située à l'amont du périmètre existant, qui est remplie pendant l'hiver essentiellement par dérivation des eaux de l'oued Chlef. (dévasée en 2005).

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

La qualité de l'eau des cours d'eau du bassin de Chélif est aussi variable, mais elle est en général plutôt médiocre. La salinité de l'eau dans l'oued Rhiou varie entre 0,5 g / l environ pour les débits les plus forts et 2 g / l pour les débits d'étiage. La figure 7 montre la qualité des eaux du barrage de Gargar et de Merdjet Sidi Abed pour l'année 2002.



**Figure 7: Qualité des eaux des barrages de Gargar et de Merdjet Sidi Abed (Source : Agence des bassins hydrographiques, Chlef-Zahrez (ABH-CZ), 2002).**



### I. 6.2. Les ressources en eaux souterraines :

Les principaux aquifères du Bas-Chélif sont :

- le Miocène calcaire : il affleure le long de la limite sud de la plaine. Les descriptions lithologiques ont montré l'existence de zones de fracture productives entre 37 et 60 m.

- Le Pliocène marin : c'est une suite d'argiles et de marnes avec des couches minces de grès qui affleurent au nord de la plaine. On le retrouve dans la région de Ouarizane à plus de 55 m de profondeur et dans la région de Sebket Benziane à plus de 400 m de profondeur.

Le Quaternaire-Pliocène continental : il est constitué de sédiments à base d'argile, de marnes et des lits de sable, de graviers et de conglomérats. La profondeur de ces forages est très variable selon les régions où elle peut aller jusqu'à 300 m alors que la moyenne est de 70 m. (Douaoui, 2005).

### I. 8. L'irrigation :

La région du Bas-Cheliff comporte plusieurs périmètres où l'irrigation est fréquente, dont les plus importants sont : le périmètre de Oued Rhiou, le périmètre de Ouarizane, le périmètre de Djédouia, le périmètre Hmadna et le périmètre de Guerouaou (fig. 8).



**Figure 8: Les principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif (Douaoui, 2005).**

# **CHAPITRE – II**

## **APERCU BIBLIOGRAPHIQUE**

## CHAPITRE II. Aperçu bibliographique.

### Le radar et Le sol : Entre salinité, humidité et rugosité

(Définitions, origines, méthodes de mesure)

*Dans ce chapitre, nous allons donner, en premier lieu, un aperçu sur les paramètres du sol étudiés ainsi que les méthodes de calculs in situ et in vitro. et de formation de l'image radar satellitaire et les différentes étapes de traitement du signal rétrodiffusé pour l'obtention d'une image numérique. A la fin, nous présentons les données radar que nous avons utilisé dans notre travail.*

#### II.1. La Salinité :

##### II.1.1. Définition :

«Le terme salinité réfère à la présence dans le sol et l'eau des solutés électrolytiques minérales à des concentrations nocives pour plusieurs cultures. Les plus communs parmi ces solutés sont les cations dissociés :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  ; et les anions  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ » (De Forges, 1972 ; Tanji, 1990 in Hillel, 2000 ; Tabet, 1999 ; Baize, 2000).

##### II.1.2. La salinisation des sols :

La «salinisation» désigne le processus au cours duquel la salinité augmente. Toutefois, le terme «salinisation» est communément utilisé pour désigner la voie neutre de salinisation, alors que les voies acide et alcaline sont désignées respectivement par «sulfato-réduction» et «alcalinisation» et les processus de saturation du sol en sodium sont dits «sodisation» (Tabet, 1999).

##### II.1.3. Types de salinisation des sols :

Il existe deux types de salinisations : La salinisation primaire et la salinisation secondaire. Il y a une confusion quant à la définition de ces deux termes liée, à notre avis, aux profils différents de ceux qui travaillent sur le phénomène de la salinisation (pédologie, agronomie, géologie, hydraulique, géographie).

Les sols salés sont naturellement présents sous tous les climats et sous tous les continents (Szabolcs, 1989 in Girard et al., 2005 ; Robert, 1996). La salinité si elle est présente dans le sol implique la présence d'une source de sels qui peut être d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eau de mer ou nappe phréatique salée peu profonde) (Girard et al., 2005), on parle alors de salinité primaire ayant débuté en même temps que la genèse des sols ou une eau d'irrigation chargée : c'est la salinité secondaire qui peut être naturelle ou anthropique, elle intervient lorsque l'accumulation des sels se produit dans des sols ayant été déjà formés (Tabet, 1999 ; Condom, 2000 ; Douaoui, 2005).

#### **II.1.4.Facteurs intervenant sur la salinisation des sols**

On peut répartir en deux grandes catégories les facteurs qui déterminent la fréquence, l'étendue et le degré de salinisation des sols:

- les facteurs à long terme, qui demeurent plus ou moins inchangés comme les matériaux originels dans les couches géologiques, la topographie du paysage, le drainage du sol, l'hydrologie des eaux souterraines et les conditions climatiques régionales à long terme.
- les facteurs à court terme, susceptibles de changer, notamment les précipitations, l'évapotranspiration, l'utilisation des terres et les pratiques agricoles.

Dans le cas des plaines du Chéouiff, divers facteurs ont été à l'origine de la salinisation des sols (Douaoui, 2005) :

La salinisation des sols des plaines du Chéouiff est d'abord primaire, comme pour la plupart des sols d'Afrique du Nord, c'est-à-dire que les sols sont des alluvions dont le matériau originel était lui-même plus ou moins salé plus d'autres facteurs comme :

- l'aridité du climat : le déficit hydrique dû à une faible pluviométrie annuelle (250 mm) et à ne évapotranspiration annuelle très élevée (1500 mm) contribue à l'accumulation des sels dans les sols ;
- les techniques culturales utilisées : parmi ces techniques, les pratiques d'irrigation agissent comme catalyseur du phénomène naturel de concentration lorsque les quantités de sels

apportées par l'eau d'irrigation dans un sol ou un périmètre sont supérieures à celles qui sont exportées. Indirectement, en provoquant la remontée de nappe, elles accentuent aussi les remontées de sels des horizons profonds

-l'irrigation avec de l'eau dont la conductivité électrique dépasse souvent 4 dS/m en moyenne (eaux souterraines) avec le plus souvent des drains non fonctionnels.

- la remontée des eaux des nappes salées : cette remontée se fait soit par capillarité durant la période sèche, soit par remontée du niveau piézométrique suite à des fortes pluies ou des irrigations en absence de drainage. Ce type de contamination est devenu moins fréquent ces deux dernières décennies à cause de la baisse des niveaux des nappes suite à l'aridité croissante du climat (Yacono (1954) a rapporté qu'en 1904, suite à une pluviosité abondante, le niveau piézométrique de certaines nappes a remonté de 2,5 m dans la plaine de la Mina. Actuellement, les piézomètres installés dans la plaine de Hmadna montrent des niveaux piézométriques de 1,4 m à 3 m avec une conductivité électrique très élevée comprise entre 12 et 58 dS/m.

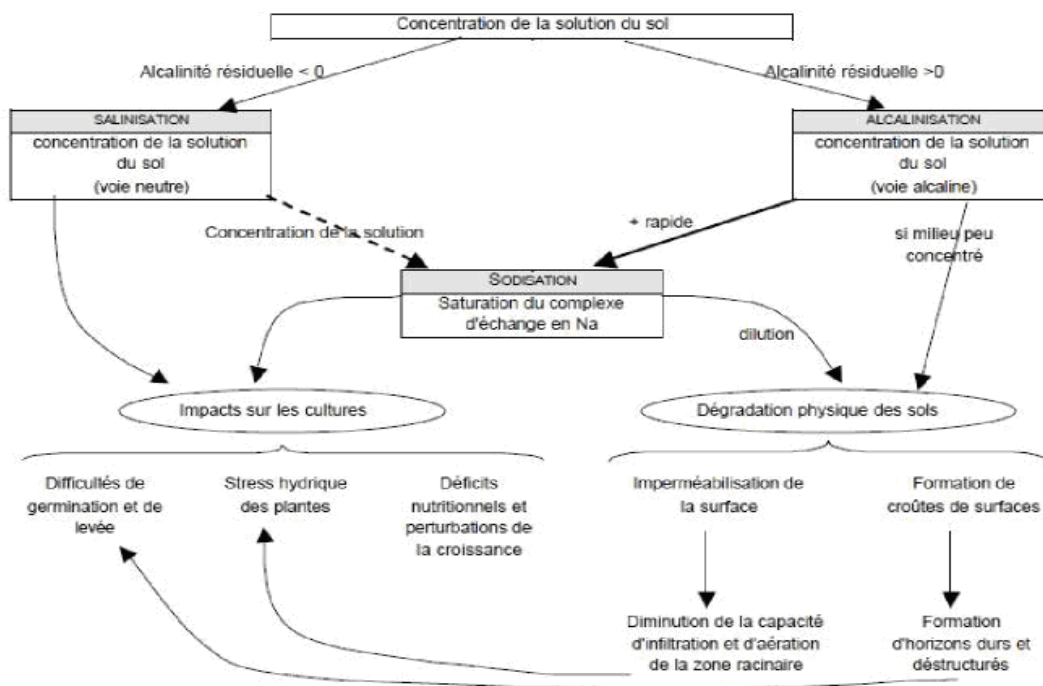
- Les grandes crues : lors des pluies abondantes, des grandes inondations touchant certaines parties ou la totalité de la plaine (Mina et Bas-Chélif) telles que celles produites en 1904, 1928, 1938, 1943 (Yacono, 1955 ; Boulaine, 1957 ; Gaucher et Burdin, 1974) contribuent à la propagation des sels et la contamination des zones non encore touchées par la salinité ou faiblement affectées. La dernière inondation en date a eu lieu en novembre 2001

### **II.1.5. Les processus géochimiques et voies de salinisation des sols :**

Si un minéral AB précipite au cours de la concentration de la solution du sol, A et B ne peuvent augmenter simultanément car le produit de solubilité (Q) :  $Q = (A) \cdot (B)$  reste constant. Ainsi, si  $A > B$ , A augmente et B diminue ; et inversement, si  $B > A$ , B augmente et A diminue.

La salinisation secondaire est considérée comme le processus général regroupant trois grands types de phénomènes : la salinisation neutre, la salinisation alcaline ou alcalinisation et la sodisation. Ces trois mécanismes peuvent apparaître lorsque la solution du sol se concentre. Le faciès chimique de cette dernière détermine alors la voie empruntée : soit la voie saline neutre, soit la voie alcaline. La sodisation est une résultante de ces dernières et traduit

le phénomène de fixation d'ions sodium sur la matrice solide (figure 08) (Tabet, 1999 ; Condom, 2000). Les états résultants de ces processus de salinisation neutre, d'alcalinisation et de sodisation sont qualifiés de salés, d'alcalins et de sodiques. La figure suivante nous montre l'existence de plusieurs voies d'évolution des propriétés des sols sous l'influence d'une concentration progressive de l'eau d'irrigation.



**Figure 09 : Schéma synthétique des processus géochimiques des différentes voies de salinisation et leurs impacts sur les propriétés physiques des sols et sur les cultures (Source: Tabet, 1999)**

**II.1.6.Mesure et classification de la salinité des sols :**

Les échelles de salinité des sols ont été mises au point à des fins agronomiques. Depuis de nombreuses années la conductivité électrique des extraits de sol par l'eau est utilisée comme diagnostic de la salinité des sols (U.S.S.L.S, 1954).

L'extrait de pâte saturée ou extrait saturé sert de référence générale (U.S.S.L.S, 1954), alors que les extraits obtenus avec des rapports eau/sol plus élevés, plus faciles d'emploi, restent sujets à caution et doivent être étalonnés par l'extrait saturé (Servant, 1975 in El Oumri et Vieillefon, 1981).

Lorsque l'on considère les sols avec des  $CE_e$  supérieures à  $8 \text{ dS.m}^{-1}$ , on sait que la plupart des plantes cultivées dans ces conditions voient leurs rendements nettement affectés par la salinité, sachant que déjà à partir de  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  la situation est défavorable pour plusieurs types de culture. Au-delà de  $16 \text{ dS.m}^{-1}$ , seuls des végétaux spécialisés peuvent croître normalement dans de tels milieux salés (Mathieu et Pieltain, 2003). Les tableaux 4 et 5 donnent quelques classifications de salinité de référence.

$\text{mmhos.cm}^{-1}$ $\text{dS.m}^{-1}$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
Riverside USA	non salé	légèrement salé	salé		très salé			extrêmement salé			
Servant 1975	non salé	faiblement salé	moyennement salé		salé		fortement salé		très fortement salé		
CPCS 1967	non salé	phase saline		sol salin							
R.P 1995	non salé			horizon salique (1)				horizon salique (2)			
FAO 1989	non salé	(1) phase saline ou (2) caractères saliques si $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} 1/1 > 8,5$						caractères saliques			
BRM 1999	non salé			horizon salique si $\text{pH}_{\text{CEe}} > 8,5$ ou $< 3,5$				horizon salique			

- (1) Sels de la série alcaline (bicarbonates et carbonates) et  $\text{pH}_{\text{CEe}} > 8,5$ .
- (2) Sels de la série neutre (chlorures, sulfates ou nitrates) et  $\text{pH}_{\text{CEe}} > 8,5$ .

**Tableau 04 Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de saturation à 25° C. (Mathieu et Pieltain, 2003)**

mmhos.cm <sup>-1</sup> dS.m <sup>-1</sup>	0,6		1	2	3	4	
CE <sub>1/5</sub>	non salé		légère-ment salé	salé	très salé		extrême-ment salé
CE <sub>1/10</sub>	non salé	légère-ment salé	salé	très salé	extrêmement salé		

**Tableau 05 : Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25° C. (Mathieu et Pieltain, 2003)**

## II.2. L'état hydrique du sol :

L'état hydrique du sol peut être mesuré in situ selon différentes méthodes dont les principales sont les méthodes gravimétrique, neutronique, capacitive, par réflectométrie en domaine temporel ou méthode TDR (Time Domain Reflectometry) et tensiométrique. Les quatre premières méthodes permettent la mesure de la teneur en eau du sol, alors que la tensiométrie mesure le potentiel hydrique dans le sol, variable décrivant directement la disponibilité en eau pour les végétaux.

Voici les méthodes d'analyse :

### II.2.1. La méthode gravimétrique :

Cette méthode consiste à sécher (passer dans un four à 105 °C) un échantillon de sol et connaître ensuite par pesée finale (ramenée à la pesée initiale) le poids d'eau contenu par l'échantillon.

Méthode de référence, mais longue, coûteuse et destructive

### II.2.2. La méthode neutronique :

Le principe de la méthode neutronique est le suivant:

Une source radioactive émet des neutrons à haute énergie qui se transforment en neutrons thermiques après collision essentiellement avec les atomes d'hydrogène. L'hydrogène, dans les sols, provient surtout de l'eau. Les neutrons thermiques sont détectés et le taux de comptage de ces particules est relié à une humidité du sol par étalonnage. La présence d'une source



radioactive impose des règles rigoureuses d'utilisation et de contrôle de l'appareillage, par ailleurs coûteux et complexe.

Pour effectuer des mesures en profondeur, la sonde est glissée dans un tube placé dans le sol pouvant rester en place. Cette méthode de mesure peut donc être considérée comme non destructive. Les mesures sont rapides, précises et automatisables. La courbe d'étalonnage linéaire à densité constante couvre toute la plage de valeur de l'humidité des sols, mais dépend de la nature chimique et de la densité du sol. Le volume de sol prospecté par les neutrons émis par la sonde diminue lorsque l'humidité croît. La profondeur minimale d'enfouissement de la sonde est de 15 cm en présence d'un réflecteur de surface.

### II.2.3. La méthode capacitive :

Cette méthode est fondée sur les propriétés diélectriques des sols. Le sol est un système triphasique, composé d'une matrice solide présentant des pores occupés par de l'eau et de l'air. La permittivité diélectrique d'un sol dépend de celle de chacun des constituants. Bien que l'on ne puisse pas déduire le comportement diélectrique d'un sol d'une simple connaissance des proportions de ses constituants, on constate que la permittivité diélectrique de l'eau est très élevée par rapport à celle des deux autres phases (tableau 06). Pour cette raison, humidité et permittivité diélectrique d'un sol sont étroitement liées tant que l'eau reste en phase liquide. En cas de gel, les méthodes d'évaluation de l'humidité du sol basées sur une mesure de la permittivité diélectrique du sol deviennent inopérantes à cause de la baisse brutale de cette grandeur lorsque l'eau passe de la phase liquide à la phase solide.

	permittivité diélectrique
Air	1
phase solide	2 à 10
particules minérales	2 à 3
eau en phase liquide	80
glace	4

**Tableau 06: permittivités diélectriques des constituants du sol**

Le principe de la mesure par sondes capacitives consiste à introduire deux électrodes dans le sol. Le système est alors assimilé à un condensateur électrique avec pertes (capacité parfaite avec résistance en parallèle). Les caractéristiques de ce condensateur varient en fonction de la permittivité diélectrique du sol se trouvant entre les armatures. La valeur de la capacité du condensateur est mesurée en introduisant celui-ci dans un circuit dont on relève les variations de la fréquence de résonance.

Un étalonnage individuel des capteurs doit être réalisé in situ. La stabilité temporelle de cet étalonnage est à vérifier. Un léger déplacement de la sonde peut altérer le contact électrode-sol et faire brusquement chuter la valeur de la permittivité diélectrique à cause de la présence d'une lame d'air. La corrosion des électrodes est une autre source de mesures erronées. Les mesures sont influencées par la conductivité électrique du sol (certains appareils possèdent un dispositif électronique de compensation de cet effet) et par la température. Nous rappelons de plus qu'en cas de gel, les mesures perdent toute signification. La pérennité du dispositif dépend de la fiabilité du dispositif électronique des mesures et de la résistance des électrodes aux phénomènes de corrosion.

#### **II.2.4. La méthode TDR (Time Domain Reflectometry) :**

L'appareil mesure la vitesse de propagation d'un signal micro-onde le long de guides d'ondes, de longueur connue et enfoncés dans le sol. Cette vitesse est fonction de la permittivité diélectrique du sol, elle-même liée, nous l'avons vu précédemment, à la teneur en eau dans le sol. Chaque guide d'ondes intègre la mesure sur le volume de sol prospecté (cylindrique de 5 cm environ de rayon autour de la sonde). La possibilité de visualiser la trace de la propagation de l'onde sur l'écran du processeur qui enregistre les mesures peut permettre de déceler des anomalies dans le sol (cailloux notamment).

La mesure présente l'avantage d'être peu influencée par la nature du sol. Ceci permet un affichage direct sur l'écran de l'humidité volumique par un étalonnage mis en mémoire par le constructeur. Toutefois, il est recommandé de vérifier cet étalonnage qui peut ne pas convenir pour certains sols. Cette méthode est très sensible aux variations de l'humidité. La rapidité des mesures et l'encombrement limité de l'appareillage permettent des mesures extensives de l'humidité du sol en surface par une méthode non destructive. La longueur minimale des guides d'ondes pour des mesures de surface est

généralement de\_ quinze centimètres. Certains constructeurs proposent des guides plus courts mais la précision des mesures est alors modeste. Par contre, pour suivre la teneur en eau d'un profil de sol, la mise en place des guides d'onde en profondeur en position horizontale est très destructive puisqu'elle nécessite le creusement d'une tranchée pour pouvoir mettre en place les capteurs. Pour un appareil laissé en place, l'automatisation des mesures est possible.

### **II.3. La rugosité du sol :**

#### **II.3.1. Définition :**

Le terme « rugosité de surface » exprime généralement la variation de la hauteur de la surface du sol à l'intérieur d'un site donné (Vazquez et al. 2002). Cependant, la rugosité de surface peut épouser différentes définitions selon les spécialités concernées et les échelles de perception visées (Le Hégarat-Masclé et al. 2001). Le plus souvent, on l'emploie à une micro-échelle pour décrire la microtopographie d'aires restreintes variant de 1 à 10 mètres carrés (Soil Survey Staff 1993). Cependant, les géomorphologues utilisent aussi la rugosité pour décrire la variabilité et la complexité d'organisation de la topographie à l'intérieur des pédopaysages (macro-échelle).

Les hydrologues sont plus particulièrement intéressés par la « rugosité géométrique du sol » qui explique une bonne partie de la contribution de la surface du sol dans le partage des pluies, entre le ruissellement et l'infiltration. Les spécialistes en télédétection, quant à eux, s'intéressent à la rugosité à l'échelle centimétrique due à son impact direct sur la rétrodiffusion des signaux radar selon l'angle d'incidence et la longueur d'onde des signaux (Le Toan et al. 1998). La rugosité de surface est souvent une caractéristique anisotrope, en ce sens qu'elle peut prendre des valeurs différentes selon la direction de la mesure et du milieu, plus particulièrement en milieu agricole pour les cultures en rangées. Ainsi, les agronomes et pédologues distingueront la rugosité selon l'orientation des lignes ou des surfaces d'échantillonnage par rapport aux champs et aux pratiques culturales.

#### **II.3.2. Paramètres utilisés pour décrire la rugosité de surface du sol :**

De façon générale, l'étude de la rugosité est très rarement l'objectif principal d'un programme ou d'un projet de recherche. Cependant, la rugosité influence tellement les propriétés et comportements des sols qu'elle devrait être évaluée systématiquement de façon à mieux isoler la contribution respective de chacune des propriétés étudiées à un processus donné. Les paramètres de rugosité sont des valeurs numériques utilisées pour qualifier ou quantifier l'amplitude et la structure d'organisation spatiale de l'état de rugosité de surface des sols ou des

cultures. Ces paramètres sont utilisés pour comparer différentes surfaces entre elles, pour établir des relations entre la rétrodiffusion radar et la rugosité, pour servir de variables d'entrées aux modèles de rétrodiffusion, pour décrire la géométrie de la surface ou tout simplement pour déterminer si une surface est lisse, intermédiaire ou rugueuse. On peut calculer les paramètres de rugosité à partir de profils linéaires (2D) ou de surface (3D), mesurés avec différents instruments, parfois simples et parfois complexes, et selon différentes directions (Hirschi et al. 1987).

Le paramètre de rugosité le plus couramment utilisé est *l'écart type* de la hauteur ou « hauteur *RMS* (*root mean square height*) ». Ce paramètre fournit un descripteur vertical de la rugosité du sol car il consiste à mesurer, généralement à intervalle régulier, l'élévation de la surface le long d'une ou de plusieurs lignes d'observation et de calculer l'écart type des valeurs enregistrées

$$rms^2 = \left\langle (z(x) - \langle z \rangle)^2 \right\rangle$$

### II.3.3. Différentes méthodes de mesure de la rugosité des sols :

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la rugosité de surface des sols. Ainsi, plusieurs appareils ont été conçus pour mesurer la rugosité sans contact physique avec la surface étudiée. Ceci inclut l'utilisation d'un sonar, d'un laser, ou d'une caméra photographique et d'un « flash ». Il existe des méthodes de mesure plus complexes que d'autres et des outils présentant différentes échelles de mesure variant de fine à grossière. Certains appareils sont dispendieux et donc peu accessibles, tandis que d'autres sont plutôt économiques et accessibles. Certains outils permettent de faire des mesures sur des profils linéaires (2D; x, z) alors que d'autres visent à quantifier la rugosité pour des surfaces (3D; x, y, z) de dimensions diverses. Enfin, certains instruments nécessiteront beaucoup de temps sur le terrain tandis que d'autres exigeront des temps de traitement plus longs au retour de la campagne de terrain (numérisation, calcul, etc.). Les diverses applications de la rugosité de surface des sols (télédétection radar, modélisation de l'érosion éolienne, évaluation du travail du sol, etc.) et les précisions qui s'y rattachent auront une influence sur le type d'appareil utilisé.

Que ce soit pour des raisons de coût ou de leur utilisation complexe, certains appareils ne sont généralement disponibles qu'en un seul ou en très peu d'exemplaires au sein d'un même centre de recherche, rendant difficile l'acquisition d'un grand nombre de mesures, distribué sur un grand territoire et en une courte période de temps. Des méthodes plus simples et facilement disponibles ont donc été développées bien qu'elles présentent parfois certaines limitations.

### II.3.3.1. Méthode de la chaîne et de la règle :

Elle est aussi appelée « méthode de la chaînette ». Il s'agit de la méthode décrite précédemment pour mesurer  $b$ ,  $r$ , et IC. La méthode de la chaîne est surtout utilisée en pédologie, mais elle est parfois employée pour l'appréciation qualitative de la rugosité de surface dans les campagnes de mesures reliées à la télédétection radar (McNairn et al. 1995). Cette méthode est décrite en détail dans Saleh (1993) qui utilise une chaîne à roulements. Des résultats satisfaisants peuvent être obtenus avec d'autres types de chaînes en autant que leurs maillons ne puissent se refermer les uns sur les autres (figure 10). Dans une étude menée sur 30 profils mesurés dans l'Arctique canadien et en comparant cette méthode simple à un profilomètre économique (profilomètre à pailles), Beaulieu et al. (1995) ont montré que pour une appréciation approximative de la rugosité, la méthode de la chaîne pourrait remplacer efficacement la mesure plus laborieuse d'un profil de rugosité établi à partir d'une des méthodes décrites plus bas. Les principaux avantages sont les faibles coûts et la rapidité. Le désavantage de cette méthode est qu'elle ne permet pas de mesurer directement les trois paramètres officiels de la rugosité.

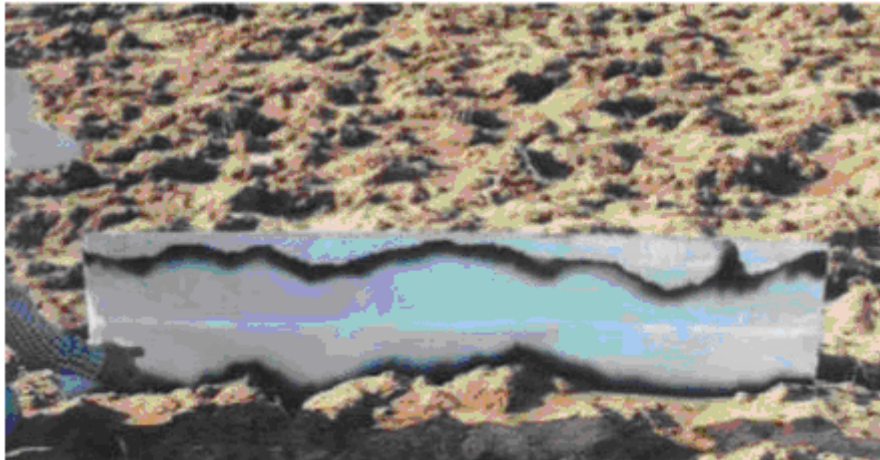


Figure 10: Exemple d'utilisation de la méthode de la chaîne avec une règle-venier.

### II.3.3.2. Méthode du panneau rigide quadrillé

La méthode du panneau rigide quadrillé est l'une des méthodes les plus couramment employées pour quantifier un profil linéaire de rugosité. Le panneau quadrillé est particulièrement utilisé dans le cas d'un sol nu (après labour ou semis) ainsi que dans la neige. Cette méthode consiste généralement à photographier le panneau rigide quadrillé que l'on a enfoncé légèrement dans le milieu étudié (sol labouré, neige, etc.) tout en respectant l'horizontalité à l'aide d'un niveau. Le profil peut également être peint à l'aide d'un contenant de peinture noire en aérosol (figure 11). Dans les deux cas, pour faciliter le calcul des profils et des paramètres de rugosité, les images et photos, si elles ne le sont pas, doivent être géoréférencées et numérisées. Des logiciels et algorithmes d'analyse d'images, comme Image Pro Plus (Dr' Anne Smith,

AAC, Lethbridge communication personnelle) peuvent être utilisés ou développés pour accélérer la procédure de traitement automatique de l'image.



**Figure 11 : Exemple d'utilisation d'un panneau rigide quadrillé et d'un contenant de peinture en aérosol pour marquer et mesurer le profil de rugosité de surface d'un sol nu.**

#### **II.3.3.3. Profilomètre à aiguilles :**

Un des premiers instruments utilisés pour mesurer la rugosité de surface des sols est le profilomètre à aiguilles, à tiges ou à pailles (Kuipers 1957). Cet appareil consiste généralement en un fond rectangulaire rigide ou semi-rigide, sur lequel on a imprimé un quadrillage ou de nombreux points de contrôle pour la numérisation, et délimité à chaque extrémité par des piquets afin de pouvoir le fixer à la surface du sol (figure 12). La rugosité est alors mesurée à partir d'un réseau linéaire de pailles ou d'aiguilles maintenues en rangée par des gaines (p. ex. des pailles à diamètres plus grands) contiguës qu'on laisse tomber à la surface du sol à l'aide d'un mécanisme de déclenchement, pour en épouser toutes les irrégularités du profil. La largeur de ces profilomètres peut varier de 0,5 à 4,0 mètres. Cette méthode exige également la prise de photographies numériques ainsi que le traitement d'images et d'analyses spatiales. Cependant, comparativement au panneau rigide quadrillé, le profilomètre à aiguilles n'est pas influencé par les objets en avant-plan car l'image enregistrée est celle illustrant la variation de chacune des aiguilles dont la hauteur varie selon l'élément à la surface du sol (résidu végétal, plantes, cailloux, agrégats, etc.) qui en a bloqué la chute le long de la gaine de cheminement. La procédure sur le terrain peut s'avérer assez longue lorsque le sol est humide et collant. Les particules de sol peuvent adhérer aux aiguilles, obstruer les gaines d'entraînement et bloquer le mécanisme.

Il existe aussi des méthodes de mesure de la rugosité du sol plus développées comme le profilomètre à laser et les méthodes photogrammétriques qui restent plus complexes dans le mécanisme de leur fonctionnement et plus coûteuses.



Figure 12 : profil linéaire mesuré sur un couvert végétal

## II.4. La télédétection radar :

### Un peu d-histoire :

Le terme RADAR, acronyme pour Radio Detection And Ranging, est le nom de code adopté au cours de la seconde guerre mondiale par la marine américaine. On désigne sous ce nom, un système qui illumine une portion de l'espace avec une onde électromagnétique puis recroite les ondes réfléchies par les objets présents dans cette zone, ce qui permet de détecter leur existence et de déterminer certaines de leurs caractéristiques.

### II.4.1. Définition et intérêts de la télédétection:

« La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information. » (CCT, 1999)

Le radar (Radio Detection And Ranging) est un système actif centimétrique télédétection. Le sens actif rend compte de l'autonomie du radar ; il délivre ses propres faisceaux d'ondes électromagnétique (émetteur) et capte les ondes rétrodiffusées par les éléments initialement illuminés par son faisceau d'ondes (récepteur) (Paquerault, 1998).

Les systèmes radar ont pour principe l'émission d'ondes électromagnétiques et la réception du signal réfléchi par la surface. Ce sont des systèmes actifs qui envoient un signal électromagnétique pour illuminer la zone à imager et mesurer le signal rétrodiffusé par les cibles présentes. Contrairement aux capteurs optiques qui sont de systèmes passifs, les

capteurs actifs ne dépendent pas des conditions solaires et peuvent opérer 24 heures sur 24. Les systèmes radar peuvent acquérir des images quelles que soient les conditions météorologiques (nuages, brume, brouillard, fumée, ...), de jour comme de nuit, d'où leur appellation capteurs tout-temps.

Le premier intérêt de la télédétection est de fournir des images de l'espace géographique. Elle fournit des images pour s'orienter à établir des cartes topographiques, et des images pour mener des inventaires de la plupart des ressources. A un autre niveau d'utilisation, la télédétection est un puissant outil cartographique pour appréhender des questions extrêmement variées et toujours plus nombreuses relevant entre autres, de la géographie rurale (ex : société rurale appréhendée par ses composantes paysagères comme le parcellaire ou la pratique du brûlis), de la géo-archéologie, de l'aménagement, de la géomorphologie, de la géographie urbaine depuis la possibilité de la très haute résolution visible (ex : relation entre architecture et composantes socioculturelles et socioéconomiques), de la démographie (ex : évaluation de la population par les densités de bâti), etc...

Par la répétitivité des acquisitions, elle autorise une analyse diachronique (ex : impacts d'une sécheresse, rythme et forme de l'urbanisation ou de la déforestation). D'une façon générale, elle permet de dater l'inscription d'un fait dans le paysage, d'en apprécier le contenu, la forme, le sens et le rythme d'évolution.

#### **II.4.2.Principes d'acquisition et de formation de l'imagerie radar SAR**

Le radar (Radio Detection and Ranging) émet des ondes radio (*détection et télémétrie par onde radio*) qui sont réfléchies lorsqu'elles rencontrent un objet solide.

Un système radar a trois fonctions principales :

- Emettre un signal hyperfréquences vers une cible terrestre (zone terrestre).
- Capturer le signal rétrodiffusé de la cible.
- Enregistrer le signal rétrodiffusé complexe, qui comporte deux informations qui sont l'amplitude et la phase.

Le radar fournit lui-même l'énergie requise et peut être utilisé aussi bien de nuit que de jour. Ce type de système est appelé système de télédétection actif.



Le principe du radar consiste à émettre, un faisceau étroit pendant une durée très courte. Les ondes électromagnétiques qui atteignent la cible, après réflexion, retournent vers l'émetteur. La connaissance de la durée du trajet aller-retour des ondes permet de contribuer à la détermination de la position de la cible. Les ondes utilisées par le radar sont des ondes centimétriques. Plus les ondes sont courtes, plus on les concentre facilement en un faisceau étroit, et plus elles sont aptes à détecter des cibles présentant une faible surface de réflexion.

Les radars utilisés pour l'observation de la Terre sont dits à synthèse d'ouverture (SAR). Nous présentons dans cette partie, le principe d'acquisition et de formation de l'image SAR

### **II.4.3.Principe d'acquisition des données SAR :**

Le SAR est un capteur actif qui émet un signal dans le domaine des hyperfréquences. Il mesure la puissance rétrodiffusée par la portion de sol qui intercepte le signal émis. Le coefficient de rétrodiffusion  $\sigma_0$  mesuré est de nature complexe, il est décrit par deux grandeurs physiques : qui sont la phase et l'amplitude. Par ailleurs, ce coefficient de rétrodiffusion est conditionné par la géométrie et la constante diélectrique de la cible.

La formation d'une image radar repose sur le principe de traitement des signaux radar rétrodiffusés par la cible et de l'analyse temps/distance de ces signaux. Le signal hyperfréquence est émis sous forme d'impulsions brèves dont la fréquence de répétition est fixée à une cadence appelée *la Fréquence de Répétition des Impulsions (FRI)* de façon à éviter le chevauchement des réponses.

A chaque impulsion, un réflecteur éclairé par l'antenne du radar va renvoyer vers le capteur un signal qui sera reçu dans le lobe principal de l'antenne. A cet effet, la variation de la fréquence et de la phase de ce signal va permettre de retrouver les contributions de chaque réflecteur pendant le temps où il est éclairé par l'antenne. La sommation de tous les réflecteurs ainsi que les différentes contributions élémentaires forment un point de l'image.

#### **II.4.3.1.Géométrie de prise de vue :**

Le radar à ouverture de synthèse est un radar à visée latérale. Cela veut dire que l'antenne portée par un avion ou un satellite, vise le sol suivant une direction perpendiculaire au vecteur vitesse de ce mobile. La géométrie de la prise de vue du radar à ouverture de synthèse est donnée par la (figure 13) Nous donnons les symboles des différents paramètres utilisés dans la géométrie d'acquisition du radar SAR:

$L$  : Longueur de l'antenne SAR.

$l$  : Largeur de l'antenne SAR.

$\lambda$  : Longueur d'onde.

$\theta_i$  : Angle d'incidence.

$\theta$  : Ouverture du lobe en site (perpendiculaire au déplacement du satellite).

$\beta$  : Angle entre la ligne principale du lobe et la position d'un diffuseur dans la largeur de l'empreinte  $l_f$ . De l'antenne

$\tau$  : Retard temporel entre l'impulsion et l'écho.

$l_f$  : Largeur de la portion de terrain illuminée par le radar.

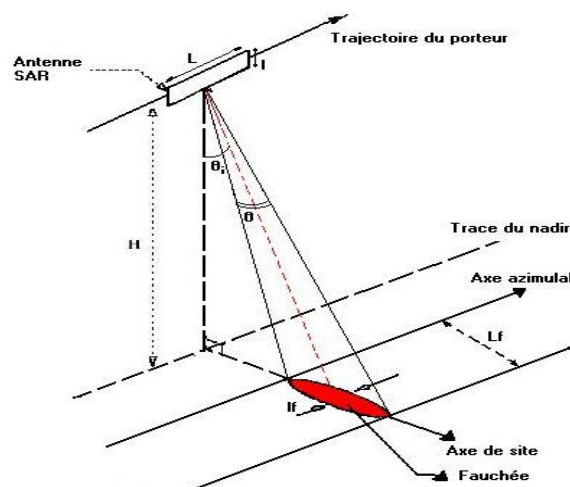
$L_f$  : Longueur de la portion de terrain illuminée par le radar.

$H$  : Altitude du satellite.

$R$  : Distance entre le point central de la surface au sol illuminée et l'antenne.

$C$  : Vitesse de la lumière.

$V$  : Vitesse du satellite.



**Figure 13 : géométrie de la visée latérale**

L'antenne radar se déplace dans la direction azimutale, elle délivre des impulsions de signal, illuminant chacune une région sur la surface de la terre qui décrit une bande d'observation appelée fauchée. On appelle axe en distance (axe de site) l'axe perpendiculaire au vecteur vitesse du porteur et tangent à la surface de la terre. L'axe d'azimut est l'axe parallèle au vecteur vitesse du porteur est dirigé dans le même sens. Enfin, l'axe d'altitude, orienté vers le haut, est perpendiculaire aux deux axes précédents.

La résolution radiale ou en distance est de l'ordre de la dizaine de mètres. Elle est obtenue par la technique de compression d'impulsions. La synthèse de l'image qui assure la résolution en azimuth repose d'une part, sur l'analyse temps/distance des échos renvoyés et d'autre part, sur l'analyse des décalages Doppler.

#### **II.4.3.2. Formulation de l'interaction de l'onde avec la surface :**

L'intensité de l'énergie rétrodiffusée à partir de la cible, excitée par le signal radar, dépend de la manière dont cette énergie interagit avec la surface en fonction de plusieurs variables ou paramètres représentant aussi bien les caractéristiques des systèmes radar que les caractéristiques de la surface excitée telles que la topographie et l'humidité. Ces différents paramètres sont: la longueur d'onde  $\lambda$ , les directions de polarisation des ondes incidentes et rétrodiffusées, l'angle d'incidence, les propriétés géométriques de la surface observée et l'humidité.

##### **II.4.3.2.1. Longueur d'onde $\lambda$ :**

Elle rentre en compte dans la profondeur de pénétration de l'onde dans le milieu observé et dans la définition de la rugosité de la surface observée. Par exemple le satellite ERS- 1, la longueur d'onde est de 5,66 cm correspondant à une fréquence de 5,3 Ghz qui définit la bande C. Pour un taux d'humidité donné, plus la longueur d'onde est grande plus la pénétration dans le sol sera importante.

##### **II.4.3.2.2. Directions de la polarisation des ondes incidentes et rétrodiffusées :**

La polarisation de l'onde EM est la direction du vecteur champ électrique E. Les systèmes imageurs présentent différentes configurations de polarisation. Toutefois, les configurations les plus utilisées sont les configurations de polarisation linéaire : HH, VV, HV et VH où la première lettre correspond à la polarisation à l'émission de l'onde, et la deuxième lettre à la polarisation lors de la réception de l'onde.

La polarisation d'une onde électromagnétique définit l'orientation du vecteur champ électrique E (Champ magnétique B étant perpendiculaire). La matrice de rétrodiffusion, en multi-polarisation reliant l'onde émise par le radar à l'onde reçue par celui-ci est définie comme suit:

$$\begin{bmatrix} E_{rv} \\ E_{rh} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{vv} & S_{vh} \\ S_{hv} & S_{hh} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_{iv} \\ E_{ih} \end{bmatrix}$$

La connaissance de cette matrice permet de calculer la puissance reçue pour toutes les combinaisons de polarisation, d'émission et de réception d'antenne. L'aspect polarimétrique de l'onde radar permet la mesure de quatre quantités physiques donnant plus d'informations sur le mécanisme de rétrodiffusion que si on utilise une seule polarisation.

#### II.4.3.2.3. Propriétés géométriques de la surface observée :

La rugosité relative d'une surface par rapport à une onde radar dépend de la longueur d'onde et de l'angle d'incidence. En effet, la loi de Rayleigh précise qu'une surface est considérée comme lisse lorsque la hauteur moyenne  $h$  de ses irrégularités est :

$$h < \lambda / 8 \cdot \cos\theta_i$$

Toute surface ayant des irrégularités supérieures à cette dernière sera considérée comme rugueuse.

#### II.4.3.2.4. Angle d'incidence :

Pour une longueur d'onde et une surface données, l'angle d'incidence joue un rôle important dans la rugosité d'une surface. L'utilisation de l'angle d'incidence locale est plus appropriée pour comprendre la relation entre la pente et l'angle d'incidence du radar. L'angle d'incidence local  $\beta_i$  se définit comme étant l'angle mesuré entre le faisceau radar et la normale à la pente au point d'incidence (figure 14)

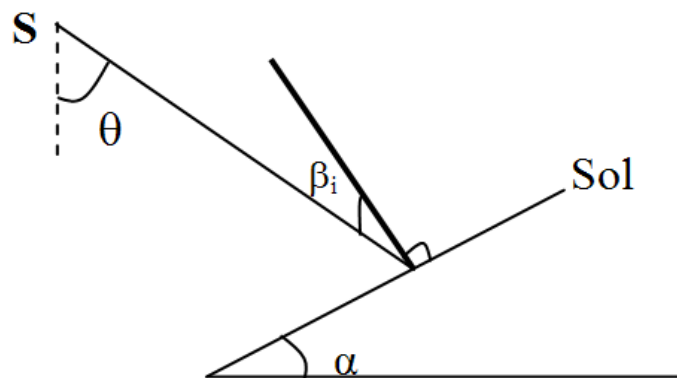


Figure 14 : Géométrie d'une surface inclinée.

En général, les pentes faisant face au radar auront un petit angle d'incidence local causant un fort signal rétrodiffusé vers le radar.

#### II.4.4.Principe de formation de l'image radar SAR :

Le principe de la formation des images radar est basé sur la réception des signaux du spectre électromagnétique qui sont enregistrés sur la base des paramètres suivants:

- La puissance relative.
- Le temps mis par l'impulsion pour atteindre l'objet et en revenir.
- La phase.

La (figure 15) présente les éléments ainsi que les étapes de traitement d'un système radar:

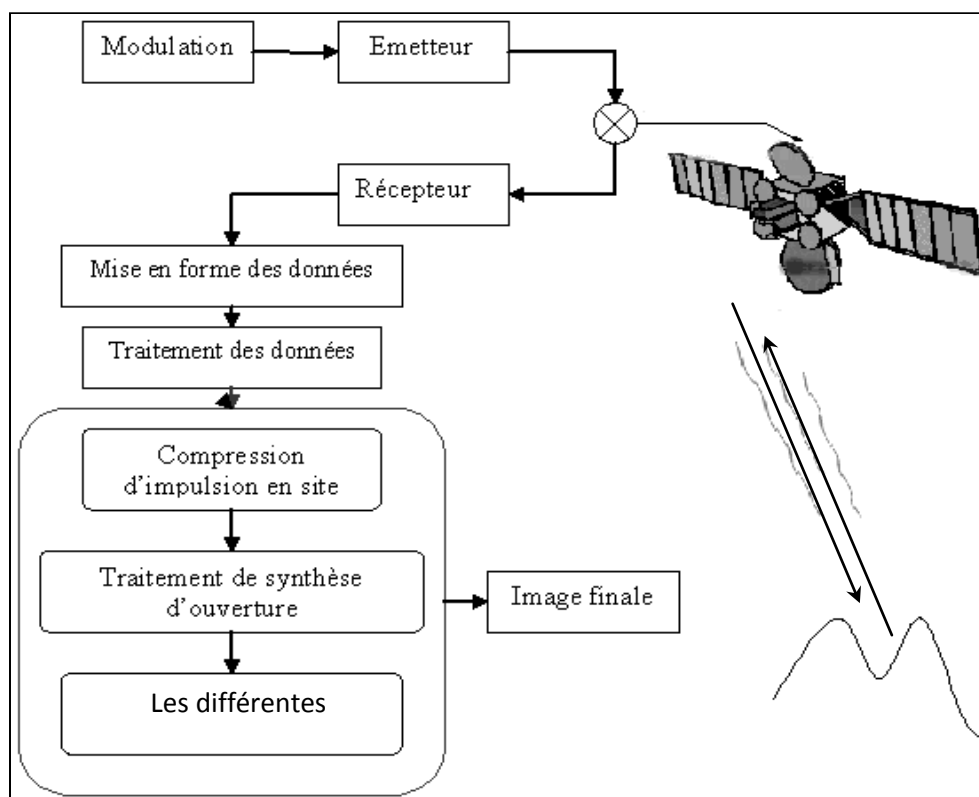


Figure 15: Système d'acquisition et de formation d'image

##### II.4.4.1. Correction radiométrique :

La radiométrie d'une image radar, générée, pose de sérieux problèmes de représentation. Les importantes variations d'amplitude d'une image radar contribuent à rendre difficile sa visualisation et son interprétation sans traitement préalable.

Les corrections radiométriques servent à compenser les distorsions de l'intensité de l'image dues aux traitements précédents, afin de rendre l'intensité des pixels proportionnelle à celle du coefficient de rétrodiffusion du sol.

#### **II.4.4.2. Correction du speckle :**

Le chatoiement ou le speckle est un bruit granulaire caractérisé par une multitude de tâches brillantes qui affectent les systèmes d'imagerie en dégradant les contrastes et en réduisant la possibilité de discriminer les structures fines. Il est produit par l'interférence, constructive et destructive, provenant de la diffusion multiple qui se produit dans chaque cellule de résolution. Généralement, le speckle est modélisé comme étant un bruit multiplicatif statiquement indépendant du signal. La réponse d'une cellule de résolution est la somme de  $N$  réponses de cibles ponctuelles aléatoirement réparties dans la cellule.

Les techniques de réduction du speckle sont regroupées en deux catégories. La première dite multi-looks qui est considérée comme étant un prétraitement du speckle. La deuxième catégorie regroupe les méthodes de filtrage du speckle.

#### **A. Technique multi-looks :**

Le principe des techniques multi-looks consiste à moyennner un nombre  $N$  d'échantillons. Ce moyennage permet d'atténuer considérablement l'écart type du speckle et de réduire les fluctuations du bruit. L'image obtenue est appelée image  $N$ -looks. Il y'a deux manières d'effectuer les multi-looks:

- **Spectralement :**

Cette technique consiste à diviser l'ouverture synthétique en  $N$  segments (figure 18) ce qui se traduit par la division de la bande Doppler en  $N$  sous-bandes, on découpe ce spectre en autant de parties que l'on veut de vues indépendantes, on obtient autant d'images ayant chacune une résolution dégradée (d'un facteur égal à  $N$ ) par rapport à la résolution maximale en azimuth. Ensuite, on recalcule les images entre elles, et on fait le moyennage.

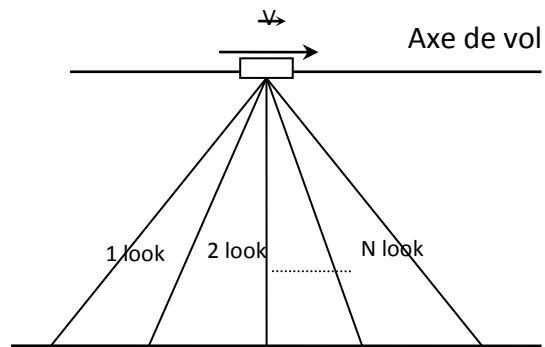


Figure 18: Traitement multi-looks

- **Spatialement :**

Le procédé consiste à acquérir une image pleine résolution SLC et à effectuer un moyennage de  $N$  pixels adjacents pour former une image basse résolution avec atténuation du speckle. Plus le nombre de looks est grand, plus le speckle est atténué et plus la résolution spatiale en azimuth de l'image est dégradée ; il faut donc faire un compromis entre la résolution spatiale et la réduction du speckle.

**B. Technique de filtrage :**

Malgré cette opération Multi-looks, un filtrage s'avère nécessaire pour améliorer la résolution radiométrique. Les filtres les plus utilisés pour effectuer ce traitement sont des filtres adaptatifs qui s'appuient sur la connaissance à priori du signal en utilisant les statistiques du signal bruité comme les filtre de Lee, Kuan, etc..

**II.4.4.3. Correction géométrique :**

L'image radar traitée possède des pixels échantillonnés en site et en azimuth. Pour qu'elle soit utilisée pratiquement, elle doit être transformée en une image échantillonnée selon des coordonnées de position au sol. Or, chaque image spatiale à une géométrie particulière liée au mode d'acquisition de la donnée. Elle n'est donc pas directement superposable à une carte ou à une autre image.

Il est possible de modifier la géométrie des images spatiales en fonction d'un système pris comme référence. Cette opération est appelée correction géométrique ou géocodage, elle s'appuie sur un modèle qui établit la relation entre les coordonnées image et les coordonnées au sol.

### II.4.5. Causes de distorsions géométriques :

Sur les zones terrestres possédant du relief, les images d'amplitude obtenues à partir du capteur SAR à visée latérale sont bien différentes de celles obtenues à partir des capteurs optiques. La morphologie des reliefs induit des distorsions géométriques bien particulières dans les images radar qui sont de trois types :

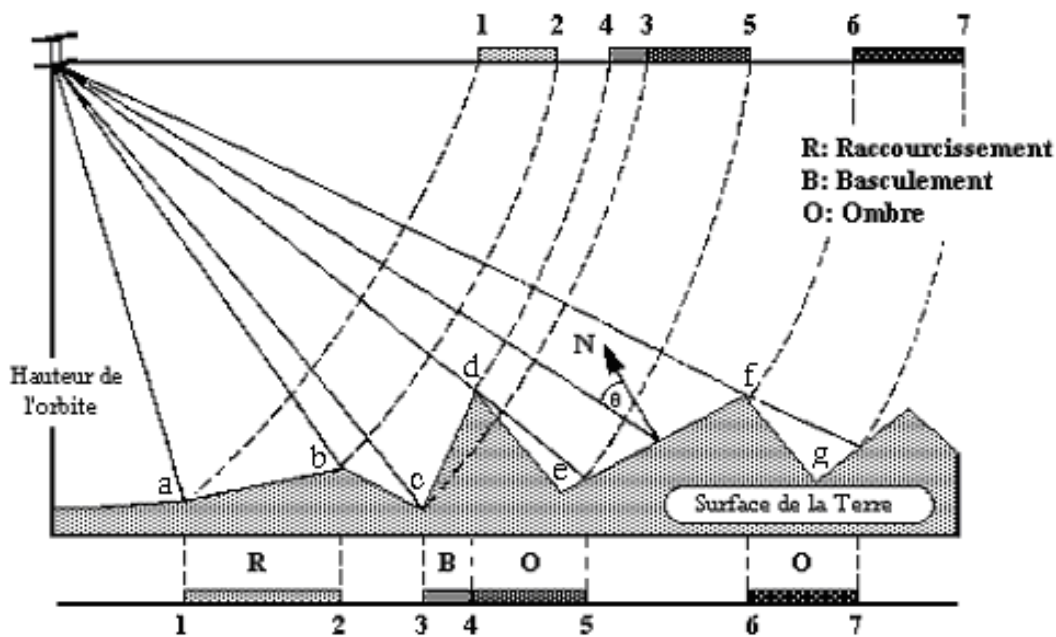


Figure 19: Les diverses distorsions géométriques dues à la morphologie du relief

#### II.4.5.1. Zone de raccourcissement et Zone de recouvrement :

Cette distorsion est appelée foreshortening, sur la figure 19, nous avons indiqué les deux éléments a et b, leur pente du terrain est orientée face au radar, avec un angle inférieur à l'angle de visée du capteur, suite à l'illumination par le faisceau d'onde radar, leurs échos sont représentés par deux points distincts 1 et 2 dans le plan image. Il est clair que la distance 1-2 dans le plan image est plus petite que la distance a b du relief réel. La limite de cette distorsion est obtenue lorsque la pente est perpendiculaire au faisceau d'onde électromagnétique. Dans ce cas particulier, toute l'énergie rétrodiffusée par cette portion de terrain se retrouve complètement compressée dans un seul et unique pixel de l'image. Ce cas limite est appelé recouvrement.



**II.4.5.2. Zone d'inversion ou basculement :**

Une inversion 'layover' du relief survient pour les fortes pentes, sur le schéma de la figure 20. On remarque que la pente  $c d$  orientée face au radar est supérieure à l'angle d'incidence. L'illumination de cette portion produit une inversion dans l'image radar. Ce phénomène d'inversion est fréquemment rencontré dans les scènes de différents capteurs acquises dans des zones montagneuses. Car l'incidence centrale ( $\theta=23^\circ$ ) est souvent jugée insuffisante pour des applications de cartographie terrestre.

**II.4.5.3. Zone d'ombre :**

La dernière distorsion géométrique est le phénomène d'ombre 'shadowing'. Ce phénomène est important dans le cas de reliefs accidentés et est dû à la nature même du système imageur qui génère sa propre source d'illumination. Ce phénomène est représenté par la portion  $f g$ . On peut remarquer que cette portion de terrain est orientée face opposée au radar et elle n'est pas illuminée par le faisceau radar. Ces parties figurent dans l'image sous forme de pixels noirs en raison de l'absence de réponse.

**CHAPITRE – III**

**MATERIELS ET METHODES**

# Démarche générale du travail

## Poser la problématique et tracer les aspects de notre travail

### 1. Collecte des données

- Les données de terrain :
  - L'échantillonnage du sol pour les mesures de la salinité et l'humidité.
  - Mesure de l'humidité in situ a l'aide d'un TDR.
  - Prendre les profils de la rugosité en photos numériques.
- Les données da la télédétection :

Cinq images radar ont été mises en disposition.

### 2. l'analyse des données de terrain (in vitro) au laboratoire et au centre de calcul :

- Mesure de la salinité des échantillons du sol au laboratoire (extrait dilué 1/5) et (extrait de la pâte saturée)
- Mesure de l'humidité pondérale et de la densité apparente des échantillons.
- Traitement des photos numériques et calcul des RMS et L et la fonction d'autocorrélation pour chaque profil de Rugosité

### 3. Traitement des données de la télédétection :

- visualiser les cinq images radar et tirer les caractéristiques de chacune.
- La correction radiométrique des images.
- Le géo référencement des images.

- Transfert des images en mode linéaire.
- Extraction du coefficient de rétrodiffusion moyen pour les parcelles qui contiennent les points échantillonnés (50 m et 100 m) pour chaque image et avec différentes polarisations.
- Conversion des moyennes des comptes du mode linéaire en mode DB

#### **4. Confrontation des données de terrain aux données de la télédétection :**

Confrontation des données de la salinité (60 points) aux données du radar (60 AOI) pour les cinq images. Avec des comparaisons entre :

- les parcelles de 100m et les parcelles de 50m.
- Les deux polarisations en même dimension pour la salinité.

Confrontation des données de l'humidité (60 points) aux données du radar (60 AOI) pour les cinq images. Avec des comparaisons entre :

- les parcelles de 100m et les parcelles de 50m
- Les deux polarisations dans la même dimension pour l'humidité.

Confrontation des données de la rugosité (150 RMS) aux données du radar (150 AOI) pour les cinq images. Avec des comparaisons entre :

- les parcelles de 10m, 20m, 50m et de 100m.
- Les deux polarisations dans la même dimension pour la rugosité.

5. **la cartographie :** Cartographier les deux paramètres (salinité, humidité) dans des cartes indépendantes par la géostatistique (Variographie et Krigeage).

### III.1.Les données de terrain :

#### III.1.1.L'échantillonnage :

L'échantillonnage consiste en général, à choisir dans un ensemble, un nombre limité d'éléments de façon à obtenir des informations objectives d'une précision mesurable (Gounot, 1969).

La reconnaissance du terrain et les prélèvements des échantillons ont été effectués durant une campagne qui a été organisée à la fin de l'année 2009. Cette campagne contenait 6 sorties sur le terrain en 6 dates différentes.

Le choix de cette période a été basé d'un côté sur la possibilité d'avoir une variation des paramètres étudiés dans l'axe du temps pris dans notre étude, et d'un autre, qu'elle soit identique ou proche des dates des images satellitaires utilisées. Voici le tableau récapitulatif des dates de sorties (tableau07):

Date de sortie	Paramètre concerné dans l'échantillonnage
13.11.2009	Humidité – salinité
26.11.2009	Humidité – salinité
28 .11.2009 au 30.11.2009	Rugosité
02.12.2009	Humidité – salinité
09.12.2009	Humidité – salinité
18.12.2009	Humidité – salinité

**Tableau 07 : récapitulatif des dates de sorties avec paramètres concernés**

L'échantillonnage adopté est de type stratifié et aléatoire au même temps ; il s'est basé sur les connaissances du terrain et l'aspect visuel au champ en tenant compte l'homogénéité des parcelles, tout en veillant aussi à ce que la densité d'échantillonnage soit plus ou moins homogène sur toute la zone étudiée (HMADNA).

Chaque site échantillonné a été photographié par un appareil photo numérique et même géo référencement et localisé sur le terrain par l'utilisation d'un système de

localisation géographique GPS (Geographical Positioning System) de navigation de type Garmin. La saisie des coordonnées géographiques de chaque point permet le positionnement de ces points en utilisant le même système de projection des cartes et de l'image satellitaire.

On a utilisé la projection UTM (Zone 31 North, WGS 1984). Le positionnement géographique des points d'échantillonnage présente une information d'aide dans le travail de la télédétection.

### III.1.1.1. Le premier échantillonnage :

La première campagne d'échantillonnage concerne les deux paramètres (humidité et salinité) et qui contient dans la moyenne 60 points sur une surface de plus de 10 km<sup>2</sup> comme le montrent les figures 20 et 21 et la deuxième campagne concerne uniquement l'étude de la rugosité et qui contient de son côté aussi 150 points (profils) comme le montrent les figures 22 et 23.

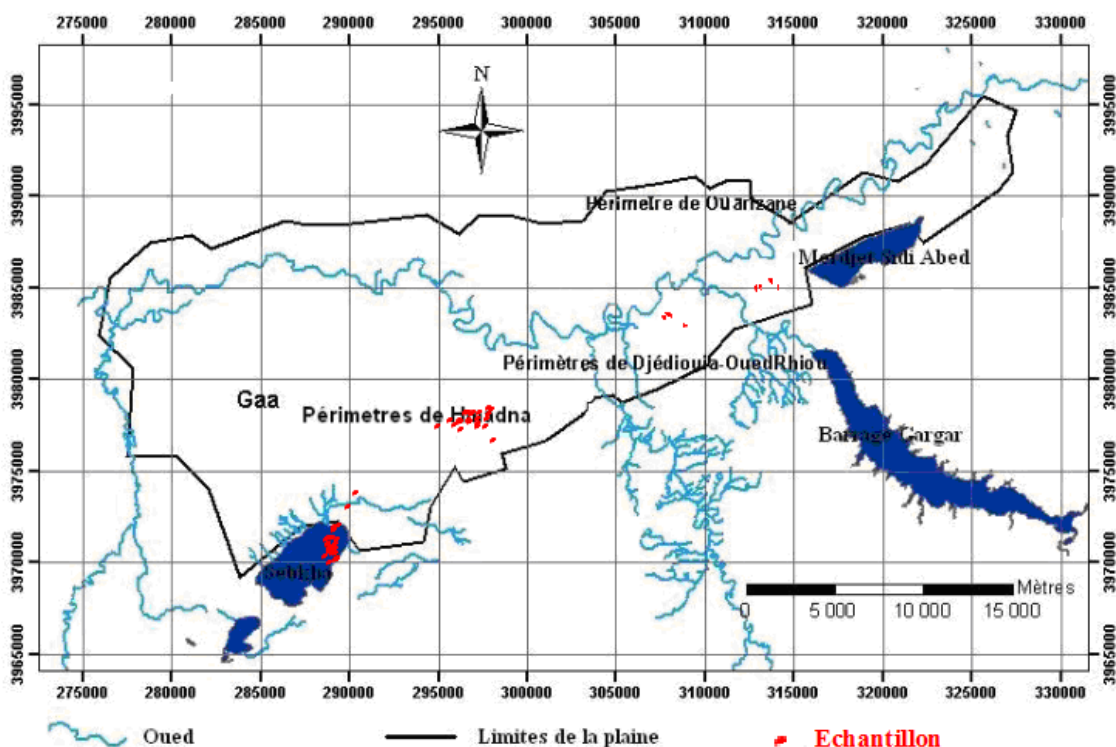
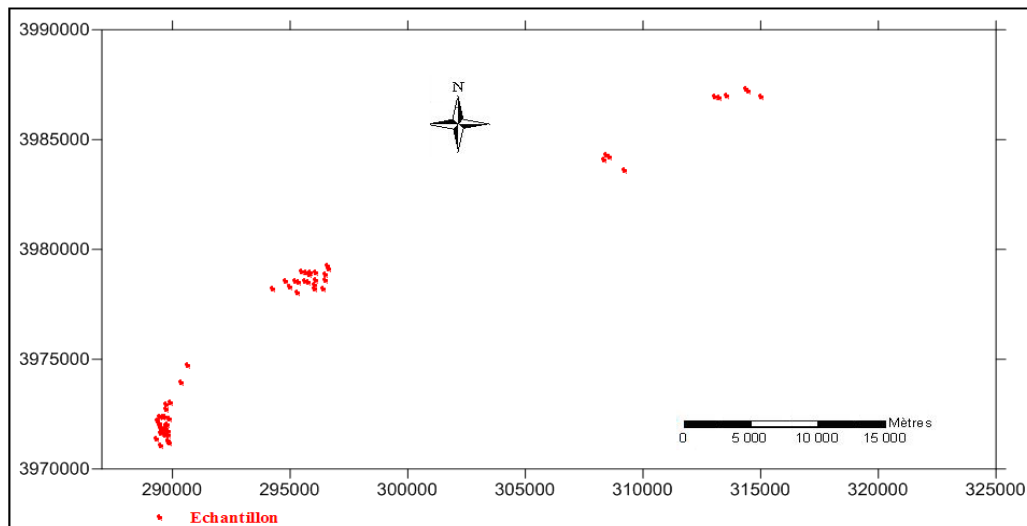


Figure 20 : Carte représentative des différents périmètres avec les points échantillonnés de la HMADNA



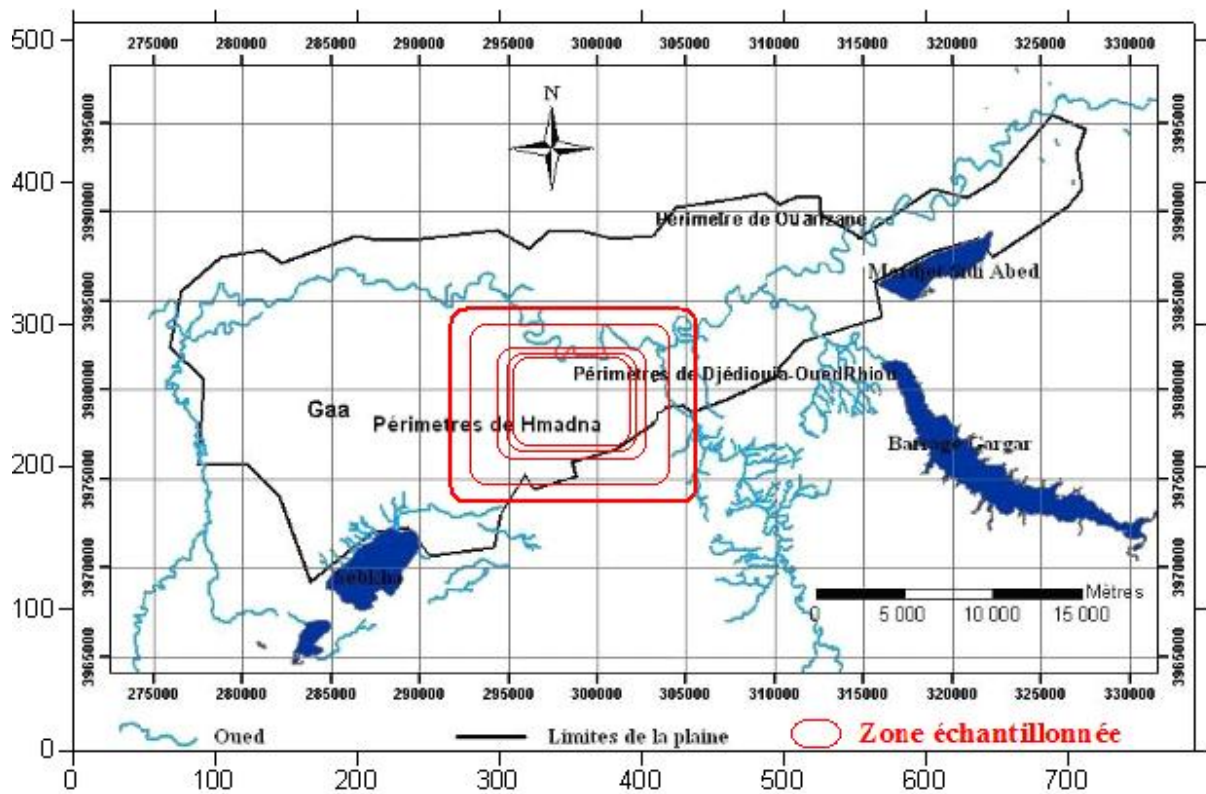
**Figure 21 : Schéma représentatif du premier plan d'échantillonnage pour les deux paramètres (humidité et salinité)**

Les points échantillonnés ont été pris en double prenant en compte la quantité suffisante pour calculer les deux paramètres au laboratoire ainsi, on a veillé sur les bonnes notifications sur les échantillons. Ces derniers ont été bien conditionnés tout en gardant les propriétés physicochimiques de chacun. Une glacière a été utilisée pour bien conserver l'humidité des échantillons.

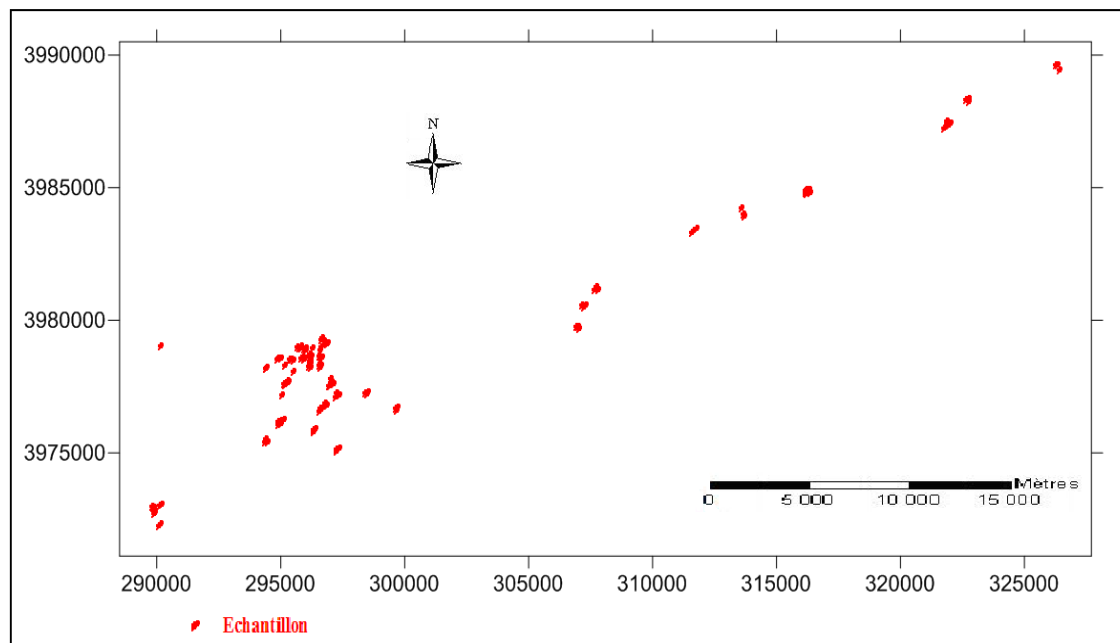
A l'aide d'un TDR, on a mesuré l'humidité in situ que pour avoir une bonne surveillance des échantillons et pour faire une présélection après avoir mesurer les humidités au laboratoire.

### **III.1.1.2.le deuxième échantillonnage :**

Le deuxième échantillonnage était toujours à HMADNA mais d'une manière et objectifs complètement différents, cette fois ci le paramètre concerné est la rugosité du sol. De même le plan était différent avec de nouveaux points et de nouveaux concepts. Voici une carte (figure 22) qui représente les différents périmètres de la plaine du bas Cheliff, la zone étudiée et un schéma (figure 23) pris de près qui représente la dispersion des points même dans la zone échantillonnée (périmètre de HMADNA)



**Figure 22 : Carte représentative des différents périmètres de la plaine du CHELIF avec localisation du deuxième échantillonnage de la rugosité dans la HMDNA**

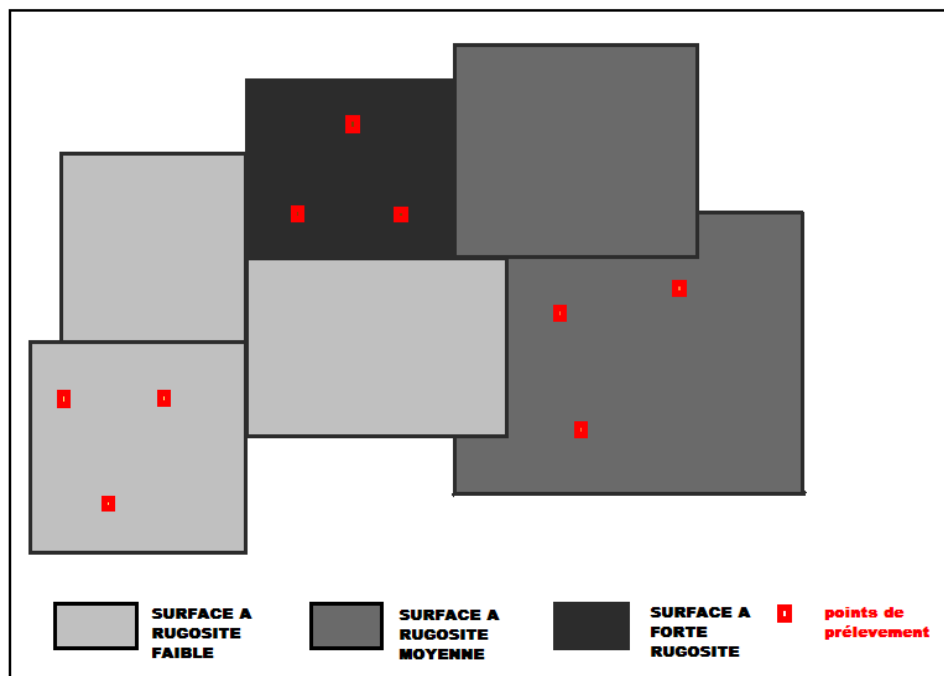


**Figure 23 : Schéma représentatif du deuxième plan d'échantillonnage réservé pour la rugosité dans la HMDNA**



En fait ces points sont des profils de la rugosité du sol pris en photos a l'aide d'un appareil photos numérique d'une résolution connue après avoir utilisé un rugosimètre.

L'échantillonnage est stratifié et systématique à la fois dans cette étude (figure 24). Il est stratifié à l'échelle du périmètre, parce que le choix des parcelles est basé sur l'aspect visuel. En sorte de pouvoir couvrir tout genre de parcelle et de rugosité différentes et systématique aussi parce que a l'échelle de la parcelle elle même on devait faire trois profils dont la distance entre ces derniers est approximativement 50 m.



**Figure 24 : Schéma représentatif du choix des parcelles a profils**

### III.1.1.3.Type et caractéristiques du rugosimètre utilisé dans l'étude :

Le rugosimètre utilisé est un rugosimètre à aiguilles qui a été conçu spécialement pour cette étude.il fait 1m de largeur et contient 49 aiguilles. Réglable en hauteur et avec verrou de condamnation des aiguilles comme le montre la figure 25.



**Figure 25 : Photo du rugosimètre utilisé dans les mesures**

### **III.1.2.Traitement des données de terrain :**

#### **III.1.2.1.Les analyses au laboratoire :**

Les analyses au laboratoire ont concerné la salinité et l'humidité du sol que nous avons analysé nous même dans le laboratoire de pédologie de la faculté des sciences agronomiques et biologiques / Université de Hassiba Benbouali (UHB/Chleff).

##### **III.1.2.1.1.Mesure de la salinité :**

L'analyse a touché 60 échantillons prélevés de la couche superficielle (0 a 20cm) de chaque sortie de la campagne de la salinité (conductivité électrique ou CE) a été mesurée suite à la méthode de l'extrait dilué 1/5 (USSS,1954) et puis convertie en pate saturée dS m-1. (Douaoui et al.,2006).

Pour les sols du bas Chélif (Douaoui et al.,2006) :

$$\text{CE pate saturée (dS m-1)} = (4.8222 * \text{CE 1/5}) + 0.3965$$

### **III.1.2.1.2.Mesure de l'humidité :**

#### **A. La densité apparente :**

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur le calcul de l'humidité du sol et même certainement des travaux sur la structure du sol. Elle est, en effet, liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol. Elle permet, en outre, de calculer la porosité et d'apprécier ainsi indirectement la perméabilité, la résistance à la pénétration des racines, la cohésion des horizons et la réserve en eau du sol (Hennin,1990 ; Monnier, 1965).

La porosité totale peut être déterminée à partir de mesures effectuées au laboratoire ou sur le terrain. Il est clair que leur signification n'est pas tout à fait la même en raison notamment, de la variabilité spatiale du sol. On trouvera des informations pratiques sur les techniques dans plusieurs ouvrages ( Danielson, 1986 ; Gras, 1988 ; Baize, 2000)

La mesure directe du volume occupé par les pores peut être effectuée, soit par la détermination de la masse d'un liquide (dans notre cas c'est l'eau) nécessaire au remplissage de l'espace poral, soit, par planimétrie des vides sur des images de lames minces du sol.

Outre leurs difficultés de mise en œuvre, ces deux méthodes ne permettent pas d'obtenir des valeurs de très grande qualité, ce qui explique qu'elles soient le plus souvent complétées ou remplacées par le calcul de la porosité à partir des masses volumiques apparente et réelles des échantillons du sol.

Dans le cas de notre étude, la masse volumique apparente d'agrégats ou de mottes est déterminée par une méthode connue sous l'appellation de « méthode des agrégats » elle a été inventée par Shaw en 1908 (cité par Baver et al, 1972) puis développées par plusieurs chercheurs (Brasher et al, 1966 ; Monnier et al, 1973).elle consiste à mesurer le volume d'agrégats ou de mottes enrobés d'une pellicule protectrice par immersion dans un liquide approprié.

#### **B. L'humidité pondérale et l'humidité volumique :**

Les mesures de l'humidité pondérale ont été effectuées pour tous les échantillons de notre étude au laboratoire de la faculté à l'aide d'une balance haute précision et un four

tout en respectant le protocole scientifique. De la, l'humidité volumique a été calculée suivant l'équation suivante :

L'humidité volumique (Hv) % = L'humidité pondérale (Hp) x la densité apparente (D)

### C. Mesure du PH du sol :

Il existe de nombreuses façons de mesurer le pH d'une solution aqueuse. On peut tout d'abord le mesurer par électrochimie à l'aide d'un appareil appelé **pH-mètre**.

Les solutions du sol ont été extraites et mesurées directement en utilisant cet appareillage.

### D. Classement des données de la salinité et de l'humidité:

Les données du terrain de notre étude (résultats de laboratoire) ont été classées selon les journées (j1, j2, j3, j4, j5) et les paramètres mesurés dans des fichiers Excel en cinq tableaux récapitulatifs de chaque journée comme c'est indiqué ci-dessus :

<b>Journée 1</b>	<b>Journée 2</b>	<b>Journée 3</b>	<b>Journée 4</b>	<b>Journée 5</b>
13/11/2009	26/11/2009	02/12/2009	09/12/2009	18/12/2009

Et pour chaque journée ça a été comme suit :

<b><u>Nom</u></b>	<b><u>X</u></b>	<b><u>Y</u></b>	<b><u>CE 1/5</u></b>	<b><u>CE Ps</u></b>	<b><u>Hp</u></b>	<b><u>D</u></b>	<b><u>Hv</u></b>	<b><u>PH</u></b>
<b><u>ECH</u></b>	<b><u>UTM</u></b>	<b><u>UTM</u></b>	<b><u>dS m-1</u></b>	<b><u>dS m-1</u></b>			<b><u>%</u></b>	<b><u>Supl</u></b>
<b>60</b>								

### Tableaux 08 : classement des données de l'humidité et la salinité selon les journées

Dont :

Nom ECH : nom de l'échantillon.

X UTM/Y UTM : les coordonnées (X.Y) d'échantillon selon la projection UTM fuseau 31 nord

CE 1/5 : la conductivité électrique du sol par l'extrait dilué 1/5 en dS m-1

CE ps : la conductivité électrique du sol par l'extrait de la pate saturée en dS m-1.

Hp : l'humidité pondérale.

D : la densité apparente.

Hv : l'humidité volumique.

### III.1.2.2. Mesure de la rugosité :

De façon générale, l'étude de la rugosité est rarement l'objectif principal d'un programme ou d'un projet de recherche. Cependant, la rugosité influe tellement les propriétés et les comportements des sols qu'elle devrait être évaluée systématiquement de façon mieux isoler la contribution respective de chacune des propriétés étudiées a un processus donné.

Les paramètres de rugosité sont des valeurs numériques utilisées pour qualifier ou quantifier l'amplitude et la structure d'organisation spatiale de l'état de la rugosité de surface des sols. ces paramètres sont utilisés pour comparer différentes surfaces entre elles. Pour décrire la géométrie de la surface ou tout simplement si une surface est lisse, intermédiaire ou rugueuse.

La description de la rugosité de surface des sols agricoles nus est basée sur trois paramètres qui sont l'écart type des hauteurs (*rms*), la longueur de corrélation (L) et la fonction d'autocorrélation (e. g. Ulaby et al., 1986 ; Fung et al., 1994 ; Zribi, 1998 ; Shi et al., 2002).

On peu calculer les paramètres de rugosité a partir de profils linéaires (2D) ou de surface (3D), mesurées avec différents instruments, parfois simples et parfois complexes, et selon différentes directions (Hirschi et al, 1987).

Dans le cas de notre étude on a utilisé le profil linéaire (2D) à laide d'un rugosimètre à aiguilles, on a calculé le paramètre de rugosité le plus couramment utilisé. C'est l'écart type de la hauteur RMS ou « root mean square height » ce paramètre fournit un descripteur vertical de la rugosité du sol car il consiste a mesurer, généralement a un intervalle régulier,

l'élévation de la surface le long d'une ou plusieurs lignes d'observation et de calculer l'écart type des valeurs enregistrées :

$$rms^2 = \left\langle (z(x) - \langle z \rangle)^2 \right\rangle$$

Selon le critère de Rayleigh, une surface est dite rugueuse si l'écart type des hauteurs défini par le *rms* est  $\geq \lambda / 8 \cos \theta$ ; sinon, la surface est considérée comme lisse (Ulaby et al., 1982).

Une même surface apparaît donc d'autant plus rugueuse avec une petite longueur d'onde, ou suivant un petit angle d'incidence.

Le paramètre *rms* ne suffit pas à caractériser la rugosité de la surface du sol. En effet, il ne tient pas compte des relations pouvant exister entre les différents points de la surface.

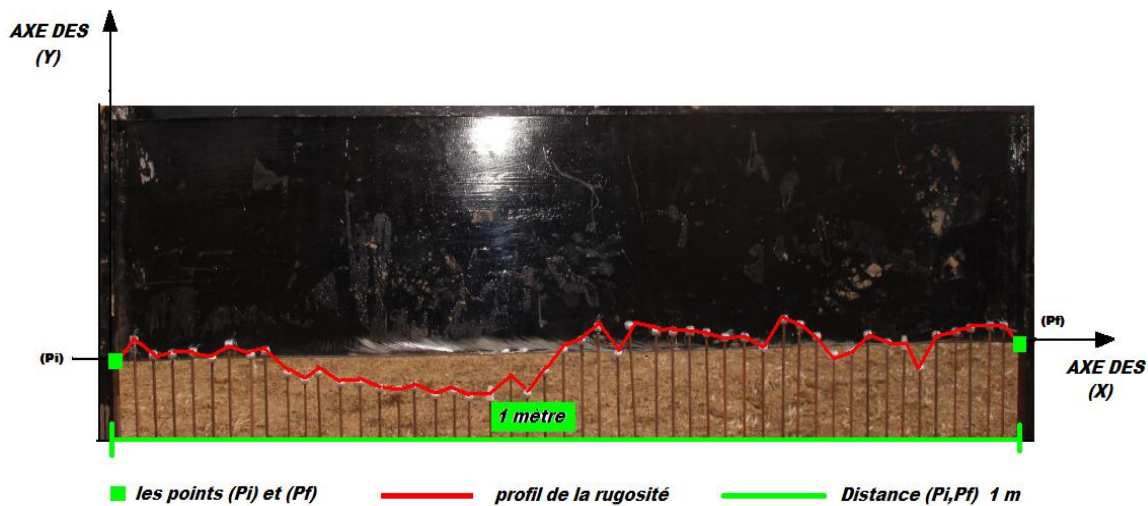
#### **III.1.2.2.1. Méthodes de calcul de l'écart type des hauteurs (RMS) :**

Pour le calcul des écarts types de hauteur (**RMS**) on a 150 profils de rugosité pris en photos numériques. Chaque profil est nommé et géo-référencé (x,y,z) en projection UTM fuseau 31. l'extraction des hauteurs ne se fait qu'en utilisant un logiciel de cartographie (Erdas 8.6) qui nous permet de faire la digitalisation et avoir en même temps les coordonnées (x,y) de chaque point digitalisé. Trois méthodes ont été suivies pour cela et pour augmenter la précision dans ce cas.

##### **A. Première méthode (MT1):**

Puisque on est dans le calcul des hauteurs, on avait besoin beaucoup plus des valeurs de (Y) par rapport à (X), dans cette méthode on avait 51 points digitalisés tout au long des profils y compris les 49 points qui représentent les sommets des aiguilles qui sont en réalité les hauteurs. L'intérêt dans tout ça est d'avoir ces hauteurs en unité réelle c'est-à-dire en mètre (m) ou en centimètre (cm).

En fait les seules données de l'axe des (X) qui sont utilisées dans cette méthode sont celles des deux points (Pi) et (Pf) qui restent des 49 points. ce sont deux points ou la distance entre eux sur le rugosimètre est connue. On avait besoin d'une distance connue et horizontale pour qu'elle soit considérée par la suite le point « 0 » du départ de toutes les valeurs des (Y) et pour que toutes les hauteurs soient extraites par règle de trois. La photo suivante (figure 26) montre le schéma de digitalisation de la première méthode:



**Figure 26 : Photo représentative de la première méthode du calcul de RMS**

On a commencé la digitalisation par le point (Pi) ou ses coordonnées sont considérés comme les coordonnées du point 0 c'est à dire  $X=0$  et  $Y=0$ . De là toutes les hauteurs sont calculées par rapport à ce point exemple d'un point N :

**X du point N = X du point N sur l'image – X du point Pi sur l'image.**

**Y du point N = Y du point N sur l'image – Y du point Pi sur l'image.**

Elles sont converties en unités de mesure (mètre ou centimètre) grâce à la distance connue sur le rugosimètre :

$$X (Pi) - X (Pf) = 1 \text{ m}$$

Les données sont enregistrées selon les profils (journée, nom du cite, X, Y et Z des point digitalisés en **m** ou **cm**) dans des fichiers Excel ainsi que le RMS est calculé. Dans ce cas la le RMS (écart type des hauteurs) représente l'écart type des valeurs de (Y).

**B. Deuxième méthode (MT2):**

Dans cette méthode, l'objectif est d'améliorer les résultats du RMS de telle manière on augmente la précision dans le calcul par rapport à la première méthode et corriger la marge d'erreur dans le cas où l'horizontal de notre rugosimètre n'est pas parfaitement en parallèle avec l'image prise ou avec notre appareil photos.

La digitalisation elle aussi a tenu 51 points comme la première méthode sauf que dans le calcul, les points qui représentent les sommets des aiguilles sont divisés en deux groupes. Cette fois-ci les valeurs du (Y) ne sont pas calculées par rapport à un seul point comme c'était dans la première méthode qui était le (Pi).

Les deux groupes ont un nombre de points presque égaux. Comme le montre l'image (figure 27) les premiers points qui font le profil en rouge, font partie du groupe (P1) et le reste qui font le profil en mauve font partie du groupe (P2).

Même dans le calcul des hauteurs. Chaque point est calculé par rapport au groupe qui lui correspond.

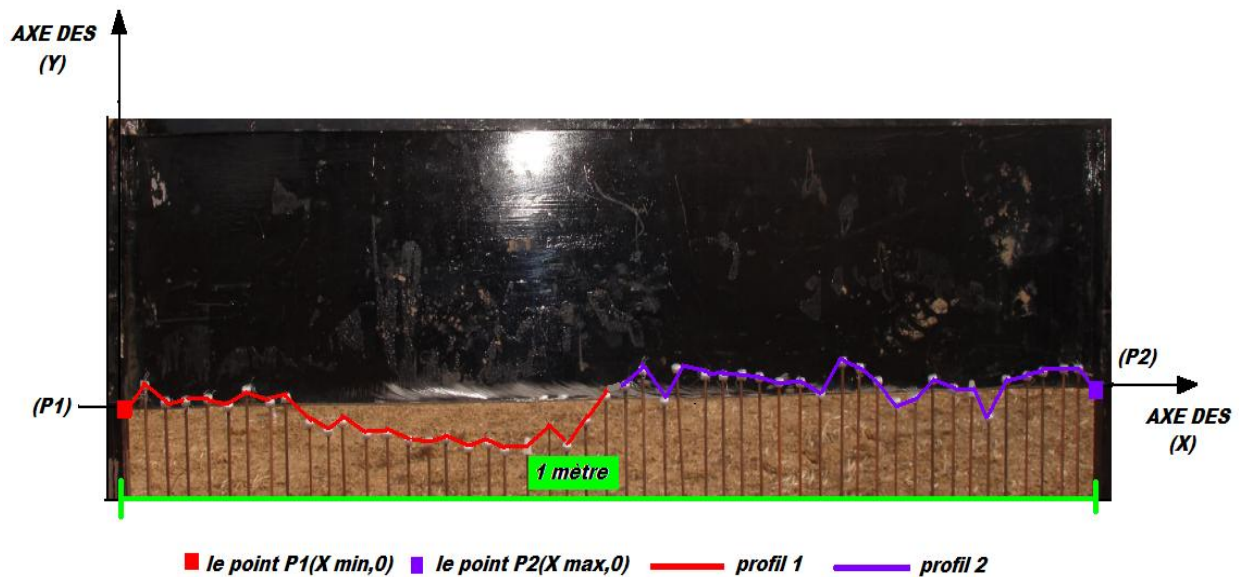
**(Y) point rouge = (Y) point rouge de l'image – (Y) P1**

**(Y) point mauve = (Y) point mauve de l'image – (Y) P2**

Les hauteurs sont converties aussi en mètre ou en centimètre grâce à la distance P1.P2 qui est égale à 1 mètre.

De là, les RMS sont calculés pour chaque profil par Excel qui est l'écart type et enregistrés selon les sites échantillonnés. Voici l'image qui représente la deuxième méthode :





**Figure 27 : Photo représentative du profil de la deuxième méthode de calcul de RMS**

### C. Troisième méthode (MT3):

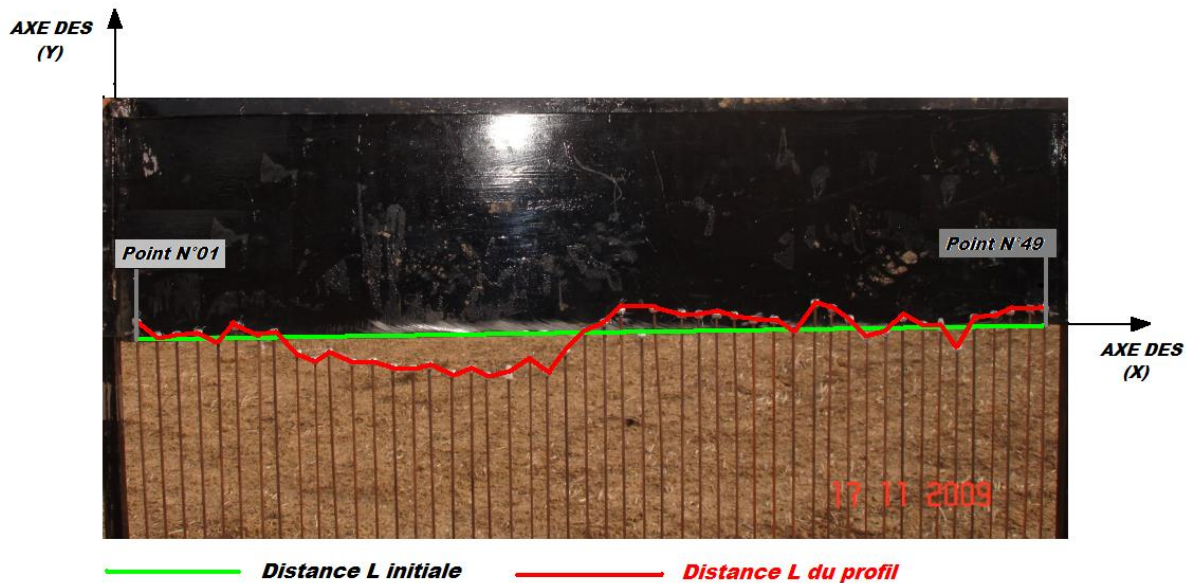
Cette méthode est inspirée de la méthode de la chaîne et de la règle ou « méthode de la chaînette ». Elle est souvent utilisée en pédologie dans l'appréciation qualitative de la rugosité de surface dans les campagnes de mesures reliées à la télédétection radar (MC Nairn et al 1995) cette méthode est décrite en détail dans Saleh(1993) qui utilise une chaîne à roulement. Voici une image (figure 28) qui montre cet outil sur le terrain :



**Figure 28 : Exemple d'utilisation de la méthode de la chaîne avec règle-vernier**

Dans cette méthode, on a utilisé toujours les mêmes profils du rugosimètre. C'est-à-dire les 150 profils. Mais on s'intéressait plus au RMS cette fois-ci. On a fait la digitalisation des points pour mesurer en même temps la longueur des profils (L) qui est représenté dans la

photo (figure 29) en ligne rouge. et mesurer aussi la distance horizontale entre les deux points 1 et 2 qui est ( $L$  initiale).



**Figure 29 : Photo représentative de la troisième méthode de calcul de la rugosité**

**(Inspirée de la méthode de la chaîne)**

Dans cette partie la rugosité est représentée par le rapport ( $L$ ) sur ( $L$  initiale) :

**La rugosité du site =  $L / L$  initiale**

Après avoir appliqué les trois méthodes, un fichier a été créé qui contient les coordonnées ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) de tout les sites avec les données de la rugosité RMS (méthode 1), RMS (méthode 2) et le rapport  $L / L$  initiale (troisième méthode).

### III.1.2.3. La fonction d'autocorrélation et la longueur de corrélation $L$ :

Pour tenir compte de la relation qui peut exister entre les altitudes de deux points de la surface, écartés d'une distance  $u$ , on définit la fonction d'autocorrélation ( $\rho(u)$ ) de la surface et on calcule la longueur de corrélation  $L$  :

$$\rho(u) = \frac{\langle \{z(x+u) - \langle z \rangle\} \{z(x) - \langle z \rangle\} \rangle}{rms^2}$$

Lorsque  $u = 0$ , la distance entre les altitudes de deux points de la surface est nulle, la corrélation entre ces deux points confondus est maximale et la fonction d'autocorrélation est unitaire  $\rho(u) = 1$

Lorsque  $u$  augmente, les points s'éloignent et sont de moins en moins corrélés et la fonction  $\rho(u)$  diminue. Enfin, il existe une distance pour laquelle les points sont considérés comme n'étant plus corrélés. Cette distance est la longueur de corrélation ( $L$ ). Elle est définie comme étant la distance (depuis l'origine du profil) à partir de laquelle la fonction d'autocorrélation est égale à  $e^{-1}$ . Lorsque la rugosité est faible et le sol est lisse, la fonction d'autocorrélation a une forme exponentielle. Inversement, pour des rugosités élevées, la fonction d'autocorrélation a une forme gaussienne (Ulaby et al., 1982 ; Oh et al., 1992 ; Fung et al., 1994 ; Rakotoarivony et al., 1995 ;

$$\rho(x) = e^{-\left(\frac{x}{L}\right)} : \text{Exponentielle.}$$

$$= e^{-\left(\frac{x}{L}\right)^2} : \text{Gaussienne}$$

### III.2. La télédétection RADAR

« La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information. » (CCT, 1999)

Le radar (Radio Detection And Ranging) est un système actif centimétrique télédétection .le sens actif rend compte de l'autonomie du radar ;il délivre ses propres faisceaux d'ondes électromagnétiques (émetteur) et capte les ondes rétrodiffusées par les éléments initialement illuminés par son faisceau d'ondes (récepteur) (paquerault,1998).

### **III.2.1. Données de la télédétection :**

Cinq scènes d'images ASAR (*Advanced Synthetic Aperture Radar*) ont été mises en disposition, sachant que « ASAR » est un instrument du satellite ENVISAT (en anglais *ENVironment SATellite*). Ces images ont été prises en cinq dates différentes de telle manière qu'elles soient identiques aux dates de sorties sur le terrain. C'est à dire que chacune a sa date et heure de prise et ses caractéristiques.

### **III.2.2. Caractéristiques techniques du satellite :**

ENVISAT est un satellite de grande taille : il forme un parallélépipède de 10x4x4 mètres. Une fois ses instruments et les panneaux solaires déployés, ses dimensions hors tout passent à 25x7x10 mètres. Sa masse totale au lancement est de 8 050 kg dont 2 050 kg de charge utile. Les panneaux solaires ont une superficie de 14x5 mètres. Le satellite comprend deux sous-ensembles principaux : la Plateforme Polaire (Polar Platform PP) et la charge utile.

#### **III.2.2.1. Stockage et transfert des données :**

Les données recueillies par les instruments scientifiques sont enregistrées dans deux mémoires (composants électroniques) ayant une capacité unitaire de 70 Gigabits ainsi qu'un enregistreur sur bande magnétique de 30 gigabits. Le transfert des données vers le sol est assuré à la fois par deux liaisons en bande Ka passant par le satellite Artemis placé en orbite géostationnaire et par deux liaisons directes en bande X. Dans les deux cas les capacités sont de 50 ou 100 Mégabits/s

#### **III.2.2.2. Les instruments scientifiques :**

ENVISAT embarque dix instruments scientifiques, complétés par le système de positionnement DORIS. Chaque instrument fonctionne dans une portion spécifique du spectre électromagnétique (le visible et l'infrarouge pour SCIAMACHY, GOMOS, AATSR, MIPAS et MERIS; les micro-ondes pour MWR, RA-2, ASAR et DORIS). L'ensemble qui forme la charge utile a une masse de 2050 kg et consomme en moyenne 1930 Watts avec des pointes à 3000 W. Dans la présente étude l'instrument utilisé est ASAR.

### III.2.2.3. Le radar imageur à synthèse d'ouverture ASAR :

ASAR (*Advanced Synthetic Aperture Radar*) est un radar à synthèse d'ouverture en bande C capable d'opérer dans une large variété de modes. Il assure la continuité des missions ERS1 et ERS2, tout en ajoutant de nombreuses fonctionnalités telles que les observations dans différentes polarisations ou combinaison de polarisations, différents angles d'incidence et différentes résolutions spatiales.

Mode	Id	Polarisation	Incidence	Résolution	Fauchée
Polarisation alternée	AP	HH/VV, HH/HV, VV/VH	15-45°	30-150 m	58-110 km
Image	IM	HH, VV	15-45°	30-150 m	58-110 km
Vague	WV	HH, VV		400 m	5 × 5 km
Suivi global (ScanSAR)	GM	HH, VV		1 km	405 km
Champ large (ScanSAR)	WS	HH, VV		150 m	405 km

**Tableau 09 : caractéristiques du satellite ASAR (mode, id, polarisation, incidence, résolution, fauchée)**

Ces différents types d'acquisition sont accessibles à plusieurs niveaux de traitement (suffixe ajouté à l'identifiant du mode d'acquisition, i.e. IMP, APS, etc.) :

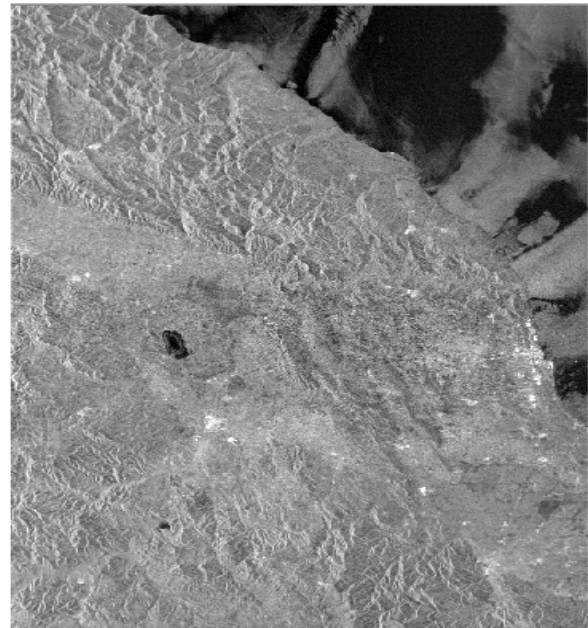
- RAW (données brutes, ou de niveau 0), qui contiennent toutes les informations nécessaires à la création des images.
- S (données complexes, Single Look Complex), images sous forme complexe, partie réelle et imaginaire du signal de sortie du processus de compression
- P (image précision), image d'amplitude améliorée en radiométrie à taille de pixel constante (12,5 m pour IMP)
- M (images précision moyenne), image d'amplitude améliorée en radiométrie et à résolution plus grossière qu'en mode précision
- G (image géocodée), image d'amplitude à laquelle est appliquée une transformation géographique simple sans prise en compte des effets du relief.

Les acquisitions en mode vague (WV) sont particulières en cela qu'elles sont constituées d'une série d'images de 5 km par 5 km espacées de 100 km.

### III.2.3. Identification des images ASAR utilisées dans notre étude :

#### III.2.3.1. Première image :

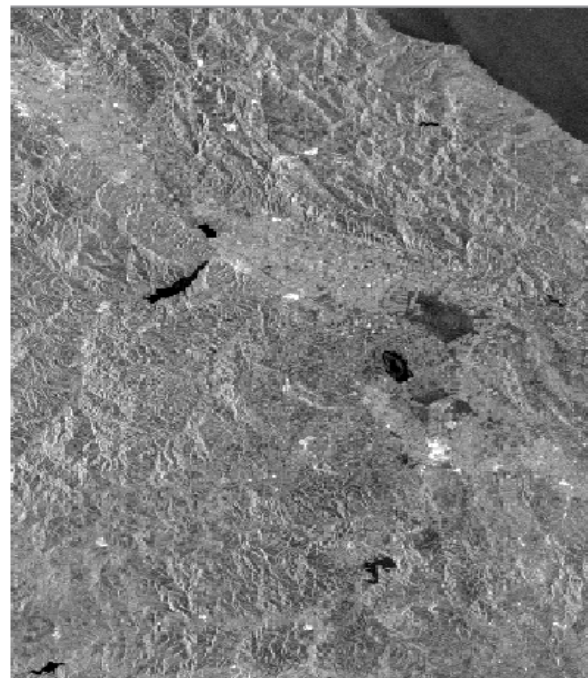
Cette scène radar brute a été prise le 13 novembre de l'année 2009 à 10 heures 12 minutes et 26 secondes, elle couvre pratiquement tout le périmètre de HMADNA. Elle est d'une résolution de 12.5 mètres. Le mode d'acquisition pour cette image est descendant pour un angle d'incidence de  $18.25^\circ$ . Les deux modes de polarisations sont disponibles (HH et VV) et le nombre de pixels pour cette scène est de  $8476 \times 8905$  (colonnes\*lignes).



**Image ASAR de la HMADNA (BAS CHELIFF)  
du 13/11/2009**

#### III.2.3.2. Deuxième image 26/11/2009:

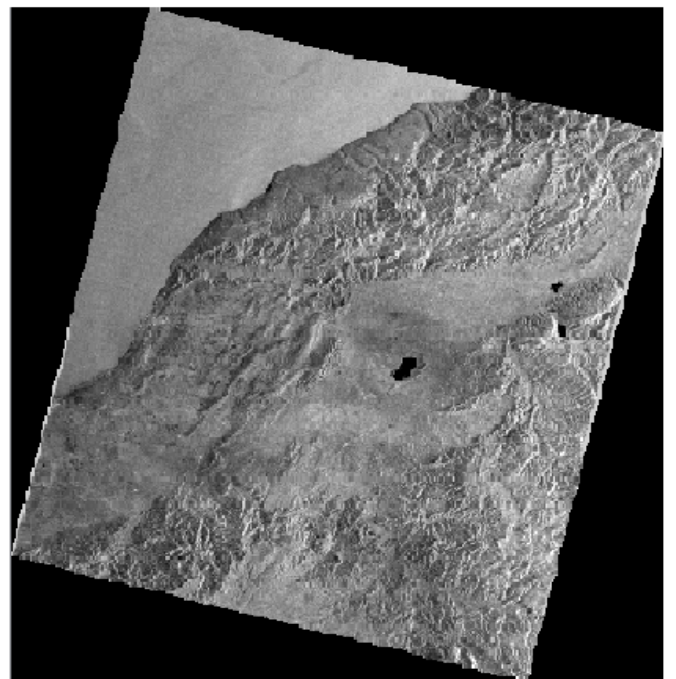
Cette scène radar brute a été prise le 26 novembre de l'année 2009 à 10 heures 01 minutes et 05 secondes, elle couvre pratiquement tout le périmètre de HMADNA. Elle est d'une résolution de 12.5 mètres. Le mode d'acquisition pour cette image est descendant pour un angle d'incidence de  $33.75^\circ$ . Les deux modes de polarisations sont disponibles (HH et VV) et le nombre de pixels pour cette scène est de  $6526 \times 8825$  (colonnes\*lignes).



**Image ASAR de la HMADNA (BAS CHELIFF)  
du 26/11/2009**

### III.2.3.3. Troisième image 02/12/2009 :

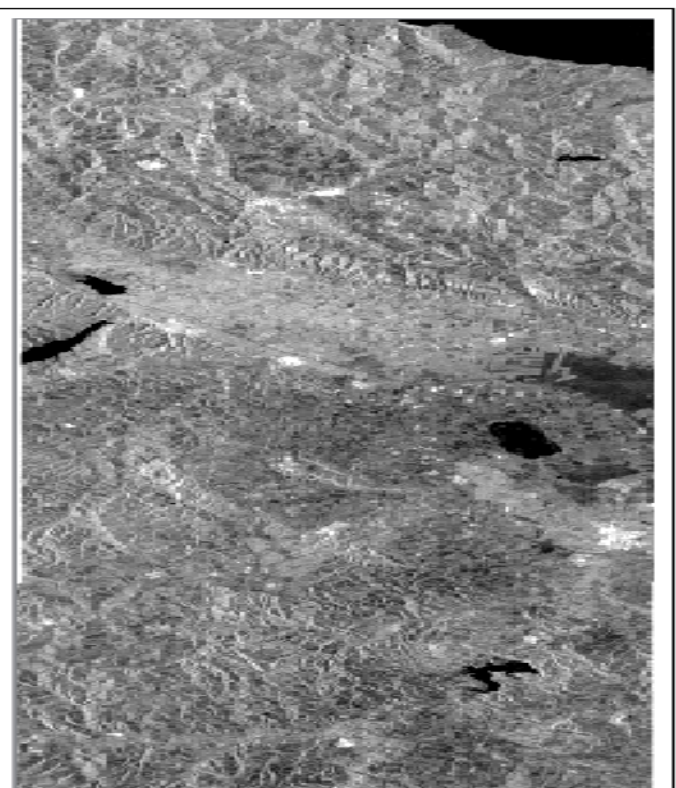
L'image brute ASAR du 02 décembre 2009 à été prise a 10 heures 12 minutes et 26 secondes. Cette image couvre aussi toute la région échantillonnée du périmètre de HMADNA.elle est d'une résolution de 12.5 mètres.Le mode d'acquisition pour cette image est descendant pour un angle d'incidence de  $18.25^\circ$ .les deux modes de polarisations sont disponibles (HH et VV) et le nombre de pixels pour cette scène aussi est de  $8476 \times 8905$  (colonnes\*lignes).



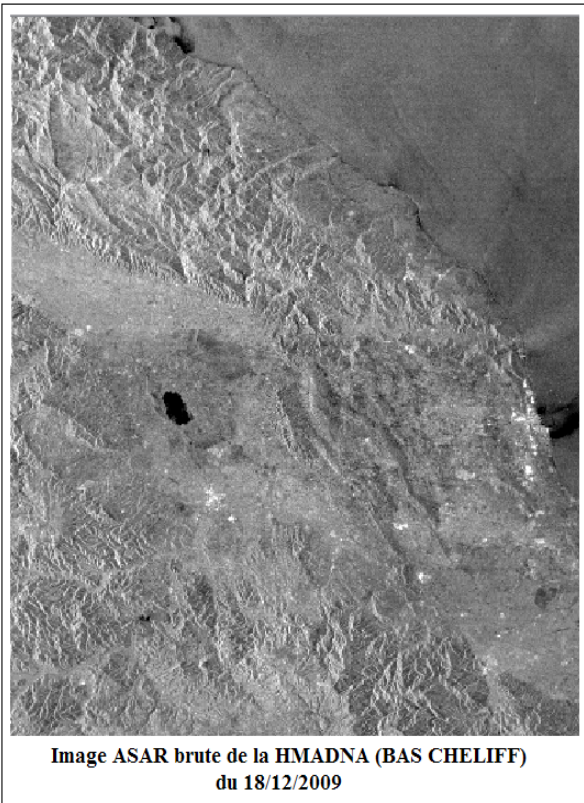
**Image ASAR brute da la HMADNA (BAS CHELIFF)  
du 02/12/2009**

### III.2.3.4 Quatrième image 09/12/2009:

Cette scène radar brute a été prise le 09 decembre de l'année 2009 a 09 heure 52 minutes et 31 secondes,elle s'étalle sur une grande partie du périmètre de HMADNA.elle est d'une résolution de 12.5 mètres.Le mode d'acquisition pour cette image est descendant pour un angle d'incidence de  $44.25^\circ$ .les deux modes de polarisations sont disponibles (HH et VV) et le nombre de pixels pour cette scène est de  $3259 \times 8720$  (colonnes\*lignes).



**Image ASAR brute de la HMADNA  
(BAS CHELIFF) du 09/12/2009**



### III.2.3.5. Cinquième image 18/12/2009 :

cette présente image est la dernière image prise qui correspond à la dernière sortie du 18 décembre 2009. elle couvre aussi pratiquement le périmètre de HMADNA. elle a été prise à 10 heures 09 minutes 36 secondes, d'une résolution de 12.5 mètres. Le mode d'acquisition pour cette image est descendant pour un angle d'incidence de  $22.25^\circ$ . les deux modes de polarisation sont disponibles (HH et VV) et le nombre de pixels pour cette scène est de  $6651 \times 8923$  (colonnes \* lignes).

Voici le tableau 10 résume l'ensemble des informations qu'on peut tirer des cinq images ASAR de notre étude

<u>Images</u>	<u>Mode d'acquisition</u>	<u>Heure de prise de vue</u>	<u>polarisation</u>	<u>Angle d'incidence</u>	<u>Résol</u>	<u>Nombre de pixels</u> <u>(colonnes*lignes)</u>
ASAR 13/11/2009	Descendant	10.09.38	HH.VV	$23.25^\circ$	12.5m	$6653 \times 8913$
ASAR 26/11/2009	Descendant	10.01.05	HH.VV	$33.75^\circ$	12.5m	$6526 \times 8825$
ASAR 02/12/2009	Descendant	10.12.26	HH.VV	$18.25^\circ$	12.5m	$8476 \times 8905$
ASAR 09/12/2009	Descendant	09.52.31	HH.VV	$44.25^\circ$	12.5m	$3259 \times 8720$
ASAR 18/12/2009	Descendant	10.09.36	HH.VV	$22.25^\circ$	12.5m	$6651 \times 8923$

**Tableau10 : récapitulatif des identités des images ASAR de notre étude.**



### III.2.4. Traitement des images radar :

**III.2.4.1. Correction radiométrique :** la correction radiométrique se fait par la transformation de l'image d'amplitude en image coefficient de rétrodiffusion (transformation des valeurs numériques de chaque pixel en coefficients de rétrodiffusion  $\sigma_0$  en décibels), cette étape doit se faire avant le géoréférencement, parce que le géoréférencement modifie les comptes numériques. Cette transformation se fait par différentes relations (algorithme) selon le type d'images.

Par exemple pour TerraSAR-X la formule est la suivante (Baghdadi, 2009):

$$\sigma_{i0} \text{ (dB)} = 20\log_{10}DN_i + 10\log_{10} k + 10\log_{10} (\sin (\theta)).$$

Pour ASAR:

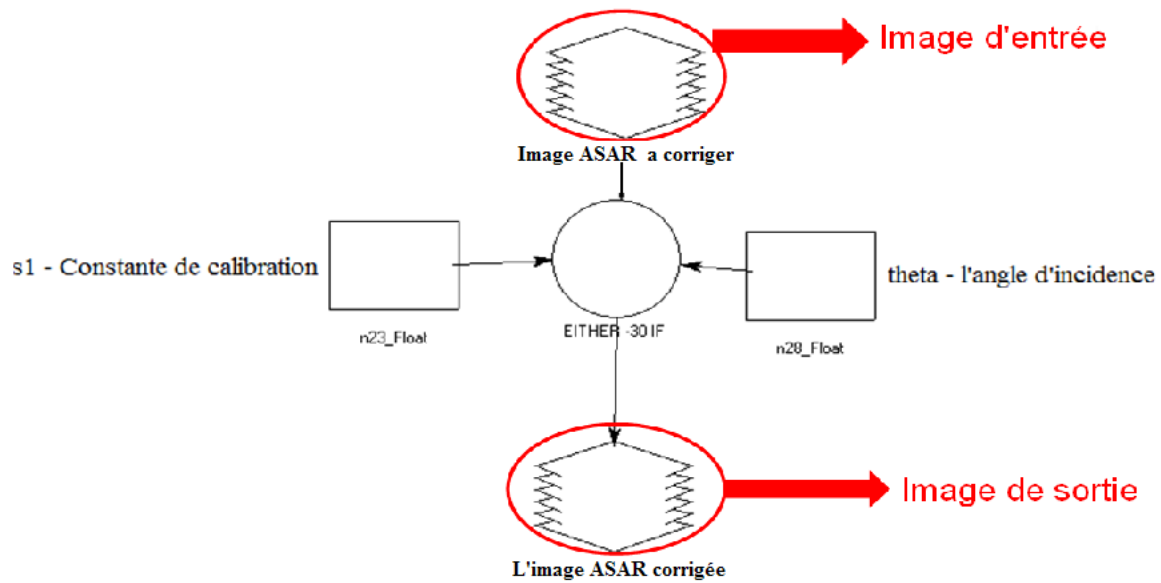
$$\sigma_{i0} \text{ (dB)} = 20\log_{10}DN_i - 10\log_{10} k + 10\log_{10} (\sin (\theta)).$$

Pour PALSAR:

$$\sigma_{i0} \text{ (dB)} = 20\log_{10}DN_i + kdb.$$

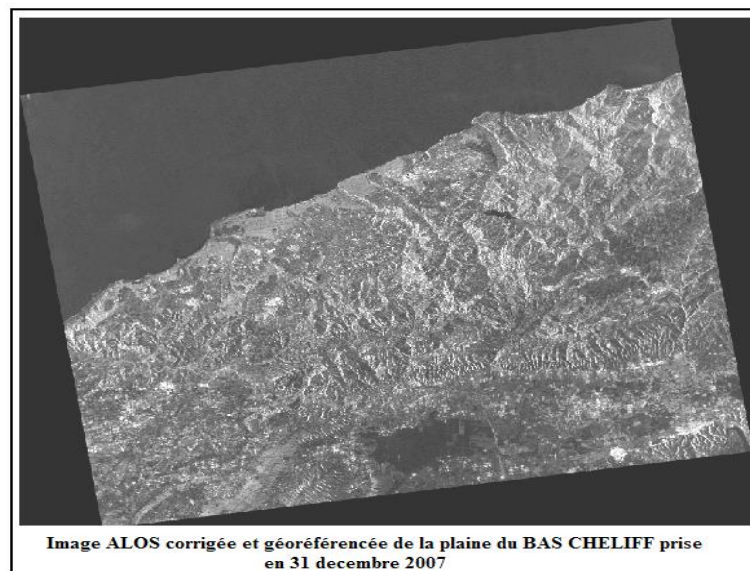
Où  $k$  est la constante de calibration du satellite,  $\theta$  est l'angle d'incidence et  $DN$  est l'amplitude du signal rétrodiffusé de chaque pixel de l'image PRI.

L'opération se fait pour toutes les images grâce à un modèle de correction radiométrique sur un logiciel de cartographie, dans notre cas le logiciel est **Erdas 8.6** et l'algorithme utilisé est celui pour les images ASAR  $\sigma_{i0} \text{ (dB)} = 20\log_{10}DN_i - 10\log_{10} k + 10\log_{10} (\sin (\theta))$  là où la constante de calibration et l'angle d'incidence de chaque image sont connus. Voici un schéma (figure 35) qui explique le fonctionnement de ce modèle :



**Figure 35 : Schéma représentatif d'un modèle de correction radiométrique des images ASAR**

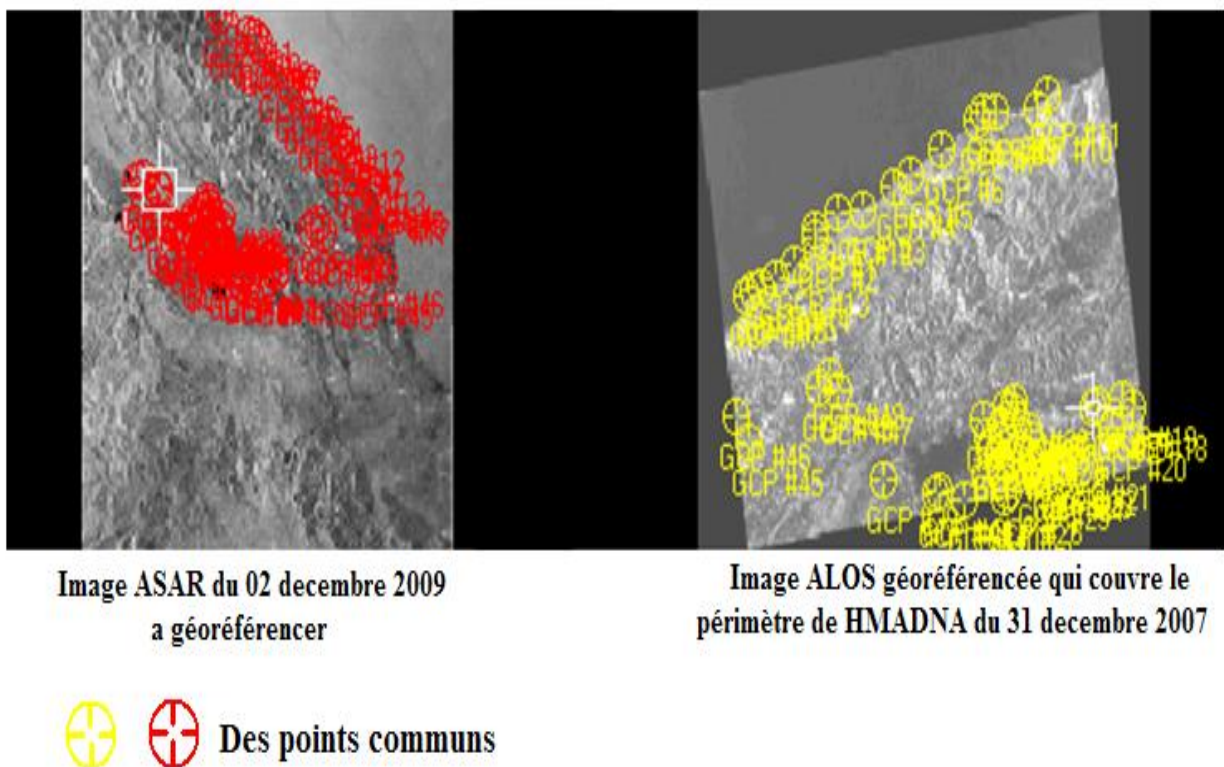
**III.2.4.2. Géoréférencement des images ASAR (Correction géométrique):** Une image géoréférencée contient des informations en coefficient de rétrodiffusion  $\sigma^0$  en décibels. On ne peut l'obtenir qu'après corrections radiométriques. Le géoréférencement est fait à l'aide d'une autre image radar géoréférencée (image radar ALOS du 31 décembre 2007 dans la figure 36).



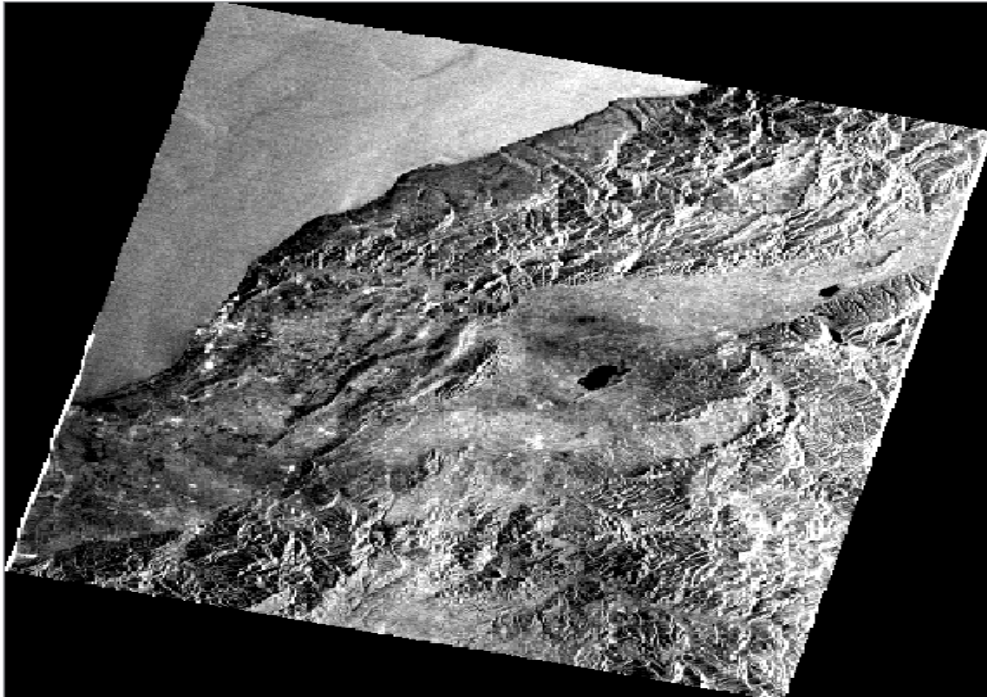
**Figure 36 : image ALOS corrigée et géoréférencée de la plaine du BAS CHELIFF prise le 31/12/2007**

Le géoréférencement peut se faire à l'aide du logiciel qu'on a utilisé pour la correction radiométrique (ERDAS 8.6) tout en gardant la même projection UTM WGS 84 zones 31.

La façon dont elle se fait, on sélectionne plusieurs points communs sur les deux images, avec le maximum de précision en jouant sur le zoom. Les points doivent être dispersés sur toute l'image. On ne peut avoir un bon géoréférencement qu'on prenant un nombre maximum de points c'est-à-dire plus on augmente le nombre de points communs, plus la qualité du géoréférencement est bonne (dans notre cas, l'opération se faire séparément pour chaque image d'ASAR) voici l'exemple de l'image ASAR du 02/12/2009 de la polarisation horizontal/horizontal (HH) comme le montre la figure suivante (figure 37)



**Figure 37 : représentation de deux images radar (géoréférencée/a géoréférencer) en présence des points communs**



**Image ASAR géoréférencée qui couvre le périmètre de HMADNA du 02 décembre 2009**

**Figure 38 : image ASAR géoréférencée qui couvre le périmètre de HMADNA du 02/12/2009**

#### **III.2.4.3. Conversion des images en mode linéaire :**

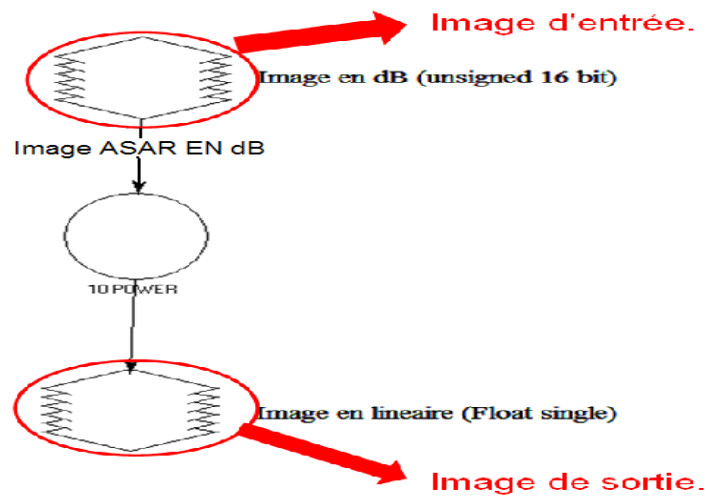
Pour pouvoir corréler les données de l'image aux données de terrain, il faut convertir les images coefficient de rétrodiffusion décibels en image coefficient de rétrodiffusion linéaire (figure 39) selon la formule :

$$\sigma_0 \text{ (dB)} = 10 * \log_{10} (\sigma_0 \text{ linéaire}).$$

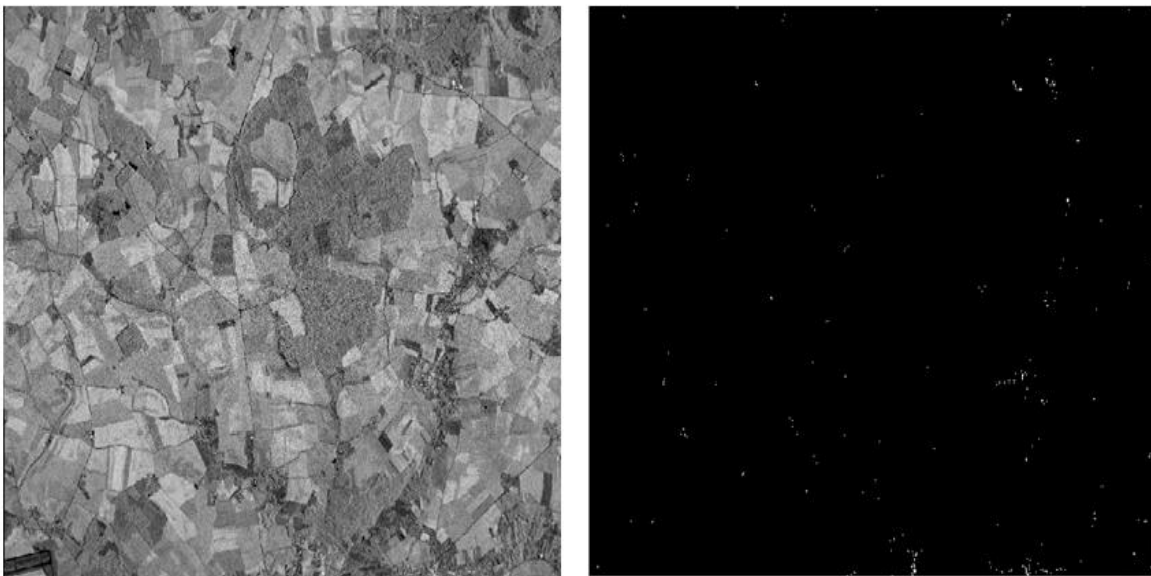
Alors :

$$\sigma_0 \text{ (linéaire)} = 10^{(\sigma_0 \text{ dB} / 10)}.$$

On obtient ainsi une image coefficient de rétrodiffusion en linéaire géoréférencée très sombre à l'affichage avec des valeurs qui varient entre 0 et 1 .l'opération se fait suite au modèle suivant (figure 40) sur un logiciel de cartographie.



**Figure 39 : Schéma représentatif du modèle de conversion des images ASAR en mode linéaire**



**Figure 40: A gauche : une image radar en mode dB / A droite : l'image radar convertie en mode linéaire**

**Remarque :**

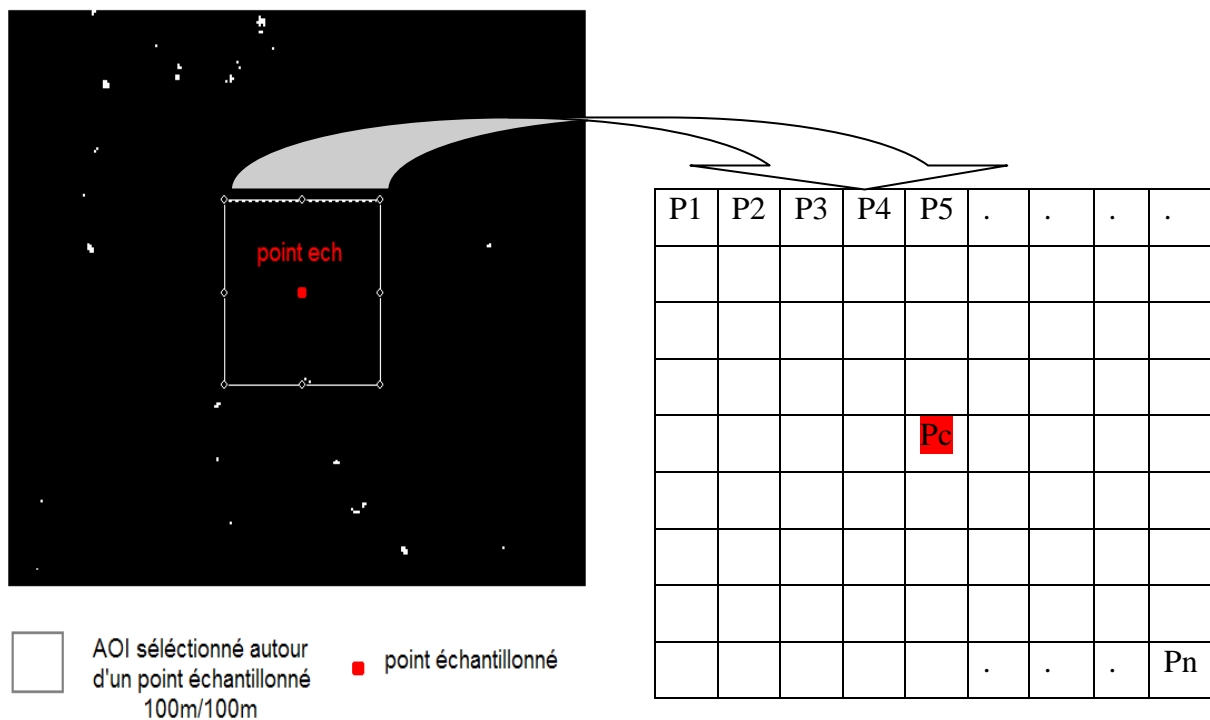
Une image en dB à des valeurs négatives et une image en linéaire à des valeurs entre 0 et 1. Le travail a été fait pour chaque polarisation (HH) et (VV) de chaque image.

#### III.2.4.4. Extraction du coefficient de rétrodiffusion moyen :

Comme on ne peut pas travailler directement sur les pixels à cause du bruit, on va travailler sur un ensemble de pixels pour obtenir un coefficient de rétrodiffusion moyen. Cet inconvénient qui peut être interprété comme une perte du détail de l'information est au fait un avantage dans notre cas, puisqu'il nous permet de raisonner à l'échelle de la parcelle qui est souvent l'unité homogène dans les zones agricoles. Pour se faire, on sélectionne des parcelles (AOI, zones d'intérêt) de 50m/50m et de 100m/100m autour des points d'échantillonnage pour l'ensemble des paramètres (salinité, humidité et rugosité), ce qui représente les dimensions moyennes d'une parcelle agricole dans la zone d'étude sur laquelle on a calculé le coefficient de rétrodiffusion linéaire moyen pour chaque parcelle. Comme le montre la figure (41).

A gauche : l'AOI sélectionné sur l'image en mode linéaire a une dimension de 100m/100m dans ce cas le point échantillonné prend le centre de l'AOI et le coefficient de rétrodiffusion moyen pour ce point est égal à la moyenne des coefficients de rétrodiffusion ( $\theta$ ) des pixels ( $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ ) dont  $P_c$  sur la figure à droite est le pixel qui contient le point échantillonné. Puis les valeurs du ( $\theta$ ) ont été converties en dB pour qu'elles soient prêtes à être confrontées aux données du terrain.

La même méthode de calcul a été appliquée pour les cinq images, pour les deux dimensions des parcelles (50m/50m) et (100m/100m) et pour les deux polarisations aussi HH (horizontale horizontale) et VV (verticale verticale).



**Figure 41 : A gauche : AOI sélectionné de 100m/100m sur l'image en mode linéaire.**

**A droite : l'ensemble des pixels que couvre l'AOI ainsi que le point échantillonné centré.**

### III.2.5. Confrontation des données de terrain aux données de la télédétection radar :

Confrontation des données de la salinité (60 points) aux données du radar (60 AOI) pour les cinq images avec des comparaisons entre :

- les parcelles de 100m et les parcelles de 50m
- Les deux polarisations dans la même dimension pour la salinité.

Confrontation des données de l'humidité (60 points) aux données du radar (60 AOI) pour les cinq images avec des comparaisons entre :

- les parcelles de 100m et les parcelles de 50m
- Les deux polarisations dans la même dimension pour l'humidité.

Confrontation des données de la rugosité (150 RMS) aux données du radar (150 AOI) pour les cinq images avec des comparaisons entre :

- les parcelles de 10m, 20m, 50m et de 100m.
- Les deux polarisations dans la même dimension pour la rugosité.

### III.2.6. La géostatistique en tant que méthode de cartographie de la salinité :

Les techniques géostatistiques procèdent en deux étapes qui sont les suivantes :

- l'analyse de la structure spatiale de la variable étudiée grâce au variogramme ;
- l'emploi de la technique de prédiction spatiale par le krigeage.

#### III.2.6.1. La variographie :

La variographie est une étape indispensable en géostatistique. Elle permet d'établir le variogramme qui nous renseigne sur variabilité spatiale de la salinité dont les paramètres sont utilisés pour tracer la carte de la CE par krigeage.

#### III.2.6.2. Le krigeage :

L'estimation spatiale de la salinité a été faite par krigeage ordinaire à variogramme global. Dans ce cas, le krigeage permet l'estimation d'une propriété  $Z$  en un point quelconque de l'espace de coordonnées  $x_0$  selon une combinaison linéaire des observations faites en des points voisins  $x_i$

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Les paramètres de la structure spatiale de la variable à kriger sont déterminés à partir de l'ajustement du variogramme à un modèle théorique (sphérique, exponentiel...) dans le cadre de l'hypothèse intrinsèque.

#### III.2.7. Logiciels utilisés :

- La saisie, le filtrage et la codification des données de la salinité, de l'humidité et de la rugosité ont été faites par le Microsoft Excel.

- Les traitements des images radar ASAR (visualisation des images, correction radiométrique, géoréférencement, conversion en linéaire, choix des AOI et extraction des moyennes du coefficient de rétrodiffusion) a été fait avec le logiciel de cartographie Erdas imagine 8.6



-la digitalisation sur les photos de la rugosité pour le calcul des RMS a été fait avec le logiciel surfer 9.0 ainsi que d'autres calculs a cause du nombre important des valeurs.

-l'ENVI (logiciel de cartographie) pour valider la qualité de la digitalisation faite avec Erdas 8.6

- Le Variowin a été utilisé pour analyser la variabilité spatiale de la salinité par variographie

- Le calcul des corrélations a été fait par le logiciel Statistica 6.1 Fr.

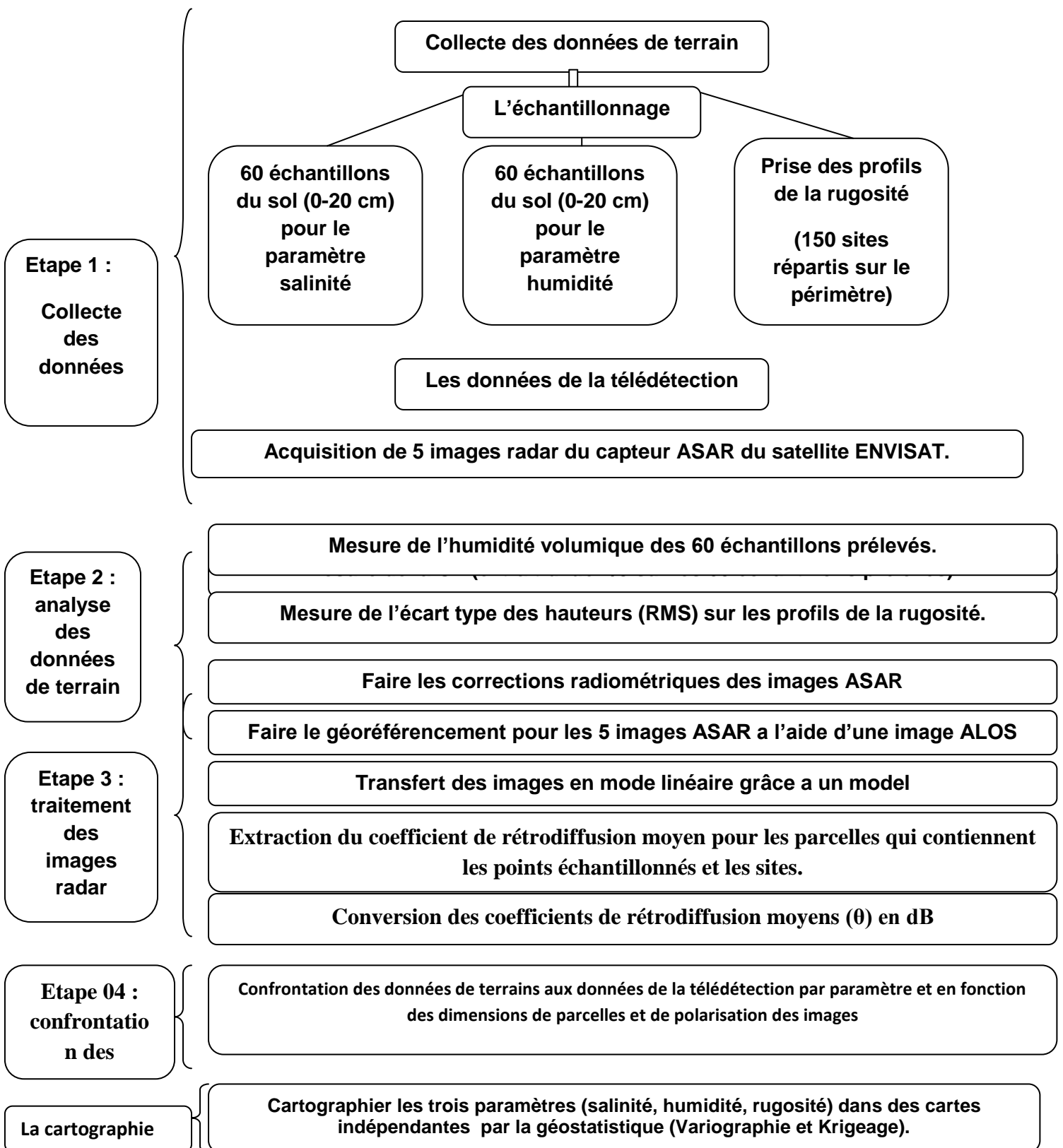


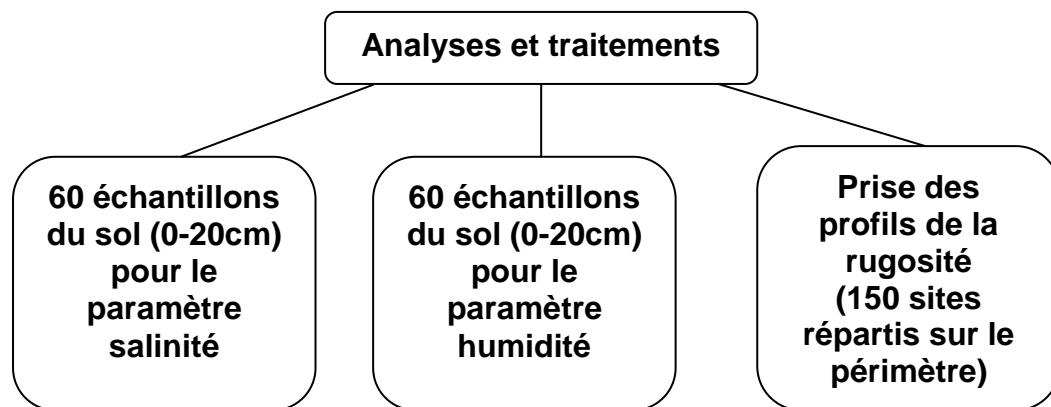
Figure 42 : schéma représentatif de la démarche générale du travail.

## **CHAPITRE – IV**

### **RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

## Chapitre IV : Résultats et interprétations

### IV. 1. Les résultats du laboratoire :



Les échantillons qui ont été prélevés pour notre étude (l'échantillonnage a été indiqué auparavant) et qui tenaient en compte les trois paramètres (physiques, chimiques) de notre travail (salinité, humidité et rugosité) ont été traités et analysés de manières différentes. Les analyses au laboratoire ont été effectuées avec succès et qui concernaient en premier lieu la mesure de la salinité et de l'humidité. Les résultats ont été classés selon les journées de sorties sur le terrain.

A l'aide d'une image satellitaire optique aster (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer) prise en aout 2005, on a pu retenir les grandes unités agro paysagiques de la « HMADNA » a partir des images ASAR utilisées. C'est une étape importante pour mieux gérer nos données et pour mieux s'orienter car les images radar ont une forme noire et blanc et parfois il est difficile de distinguer et repérer les endroits. On a remarqué clairement l'apparition de la dépression appelée la « SEBKHA » ainsi que les résultats du laboratoire ont montré les valeurs extrêmes de cette région. et cela pour les deux paramètres (salinité et humidité).

#### IV.1.1. Les résultats globaux de l'humidité moyenne du sol des points échantillonnés :

On remarque dans le tableau (11) qui résume les résultats issus des analyses au laboratoire pour la mesure de l'humidité volumique moyenne pour chaque journée que dans l'ensemble, les valeurs moyennes de la sebkha sont des valeurs extrêmes, ce qui s'explique par la nature

de cette région « la sebkha de benziane située dans la dépression fermée du plateau de benziane. C'est une zone d'accumulation des eaux salées ou se forme une croûte de sels en été »

Par exemple pour la J01, on trouve que l'humidité volumique moyenne de la sebkha est de 48.85 %. Avec cette valeur, elle est nettement supérieure à la moyenne de l'humidité volumique de toute la zone étudiée qui est de 22.6 %, ainsi par rapport au reste de la Hmadna qui elle montre une valeur de 14.19 %

<b>Humidité volumique(%)</b>	<b>J01</b>	<b>J02</b>	<b>J03</b>	<b>J04</b>	<b>J05</b>
<b>Hv moy zone globale (%)</b>	<b>22.6</b>	<b>26.13</b>	<b>33.49</b>	<b>34.85</b>	<b>30.66</b>
<b>Hv moyenne Hmadna %</b>	<b>14.19</b>	<b>19.24</b>	<b>22.51</b>	<b>23.214</b>	<b>25.023</b>
<b>Hv moy sebkha (%)</b>	<b>48.85</b>	<b>53.36</b>	<b>48.59</b>	<b>47.79</b>	<b>44.24</b>

**Tableau 11. L'humidité volumique moyenne des cinq journées en répartition zonale.**

#### **IV.1.2. Les résultats globaux de la CE moyenne du sol des points échantillonnés :**

Ainsi pour la salinité des sols, les résultats de la conductivité électrique ont montré la même logique d'humidité, les CE moyennes ont marqué un large intervalle entre ceux de la sebkha et le reste de la Hmadna. Ce qui explique aussi la nature de cette dépression et l'accumulation des sels dans cette dernière. Par exemple pour la journée J02, la conductivité électrique moyenne de la sebkha est de 246.54 ds/m qui est largement supérieure à la moyenne de la Hmadna (12.44 ds/m) et même par rapport à la zone globale étudiée qui est de 62.33 ds/m.

<b>CE (ds/m)</b>	<b>J01</b>	<b>J02</b>	<b>J03</b>	<b>J04</b>	<b>J05</b>
<b>CE ps moy zone globale</b>	<b>57.41</b>	<b>62.33</b>	<b>101.68</b>	<b>114.98</b>	<b>113.46</b>
<b>CE ps moyenne hmadna</b>	<b>11.79</b>	<b>12.44</b>	<b>11.31</b>	<b>7.56</b>	<b>7.72</b>
<b>CE ps moy sebkha</b>	<b>194.28</b>	<b>246.54</b>	<b>227.19</b>	<b>216.76</b>	<b>225.17</b>

**Tableau 12. La conductivité électrique moyenne des cinq journées en répartition zonale.**

## IV.2.Traitement des images ASAR :

Aussi pour les images radar ASAR utilisées dans notre étude, les identités de ces dernières ont été relevées et classées dans le tableau 13.

Chaque image radar a ses caractéristiques techniques spécifiques, comme l'angle d'incidence, la polarisation, nombre de pixels (lignes\*colonnes), résolution et même le jour et l'heure de prise de ces scènes.

Images	Mode d'acquisition	Heure de prise de vue	polarisation	Angle d'incidence	Résol	Nombre de pixels (colonnes*lignes)
ASAR 13/11/2009	Descendant	10.09.38	HH.VV	23.25°	12.5m	6653*8913
ASAR 26/11/2009	Descendant	10.01.05	HH.VV	33.75°	12.5m	6526*8825
ASAR 02/12/2009	Descendant	10.12.26	HH.VV	18.25°	12.5m	8476*8905
ASAR 09/12/2009	Descendant	09.52.31	HH.VV	44.25°	12.5m	3259*8720
ASAR 18/12/2009	Descendant	10.09.36	HH.VV	22.25°	12.5m	6651*8923

**Tableau 13: récapitulatif des identités des images ASAR de notre étude.**

### IV.2.1.Les images corrigées et géoréférencées :

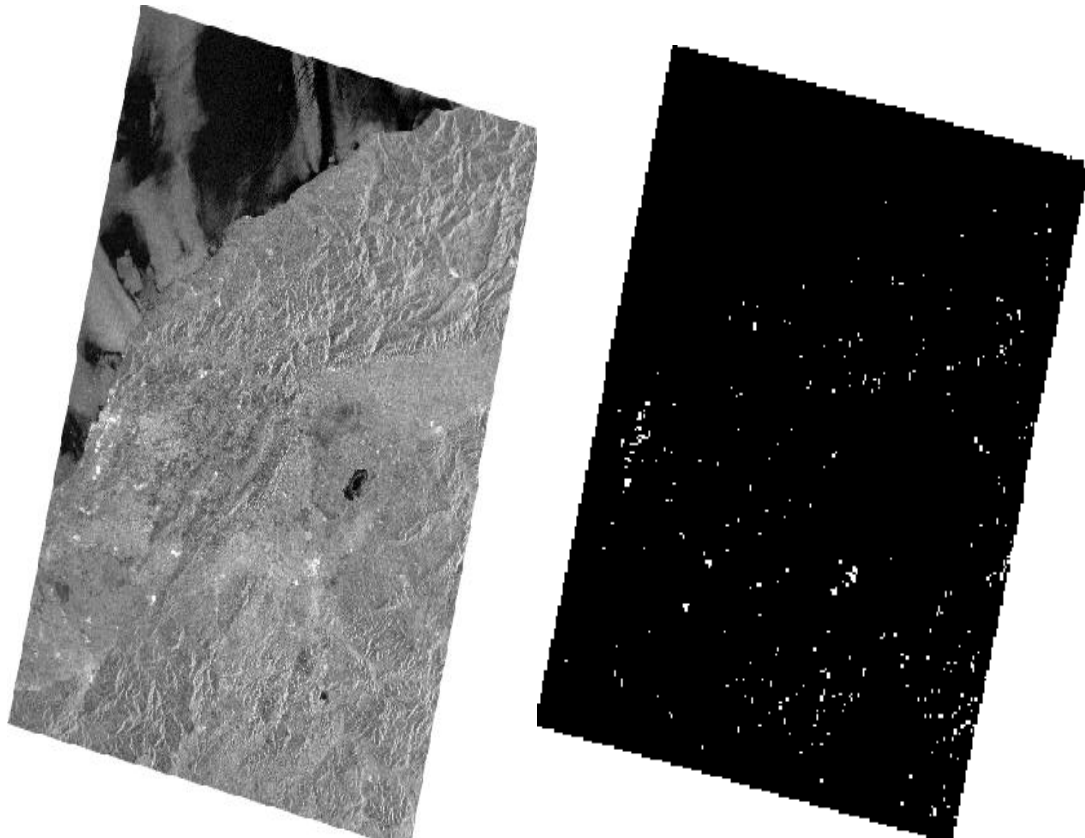
La correction radiométrique a été faite par la transformation des valeurs numériques de chaque pixel en coefficients de rétrodiffusion  $\sigma_0$  en décibels par l'algorithme qui correspond aux images ASAR :  $\sigma_0 \text{ (dB)} = 20\log_{10} DNi - 10\log_{10} k + 10\log_{10} (\sin(\theta))$ .

De la, on a eu la possibilité de faire le géoréférencement des cinq images conçues pour notre travail et cela pour les deux polarisations HH (horizontal-horizontal) et VV (vertical-vertical) Les images obtenues ont des informations en coefficient de rétrodiffusion  $\sigma_0$  en décibels sous la projection UTM WGS 84 zones 31.

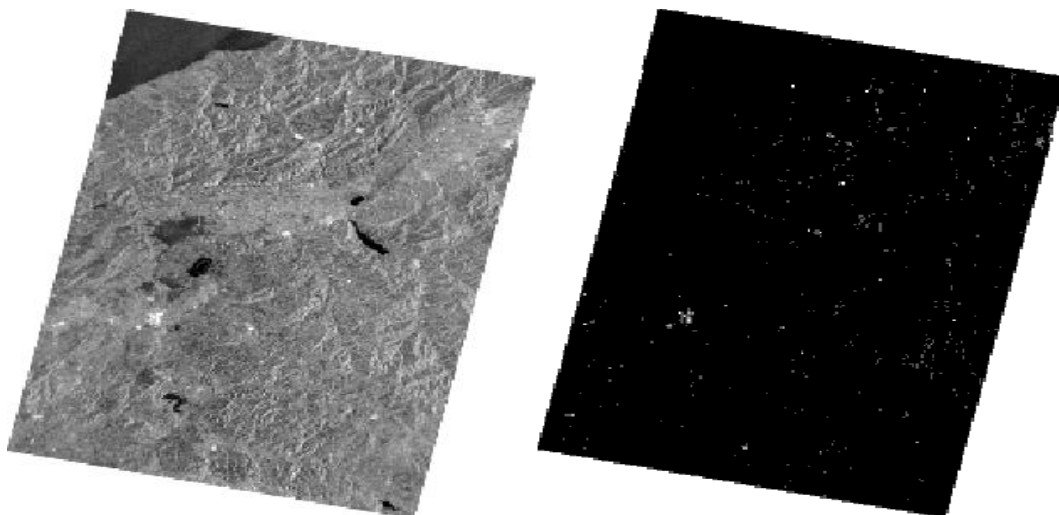
**IV.2.2. Les images converties en mode linéaire :**

Les images coefficient de rétrodiffusion décibels ont été converties en image coefficient de rétrodiffusion linéaire selon la formule :  $\sigma^0 \text{ (dB)} = 10 * \log_{10} (\sigma^0 \text{ linéaire})$ .

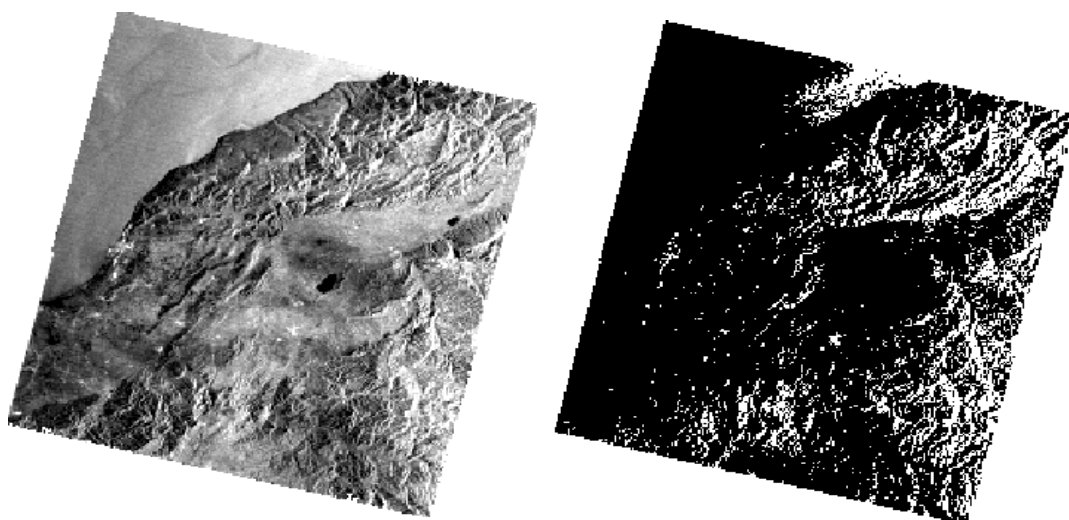
Les images obtenues ont des valeurs qui varient entre 0 et 1 et qui ont une allure très sombre et cela pour les deux polarisations disponibles dans notre cas HH et VV.



**(A) : image ASAR du 13/11/09 corrigée et géoréférencée/ (A') : en mode linéaire.**

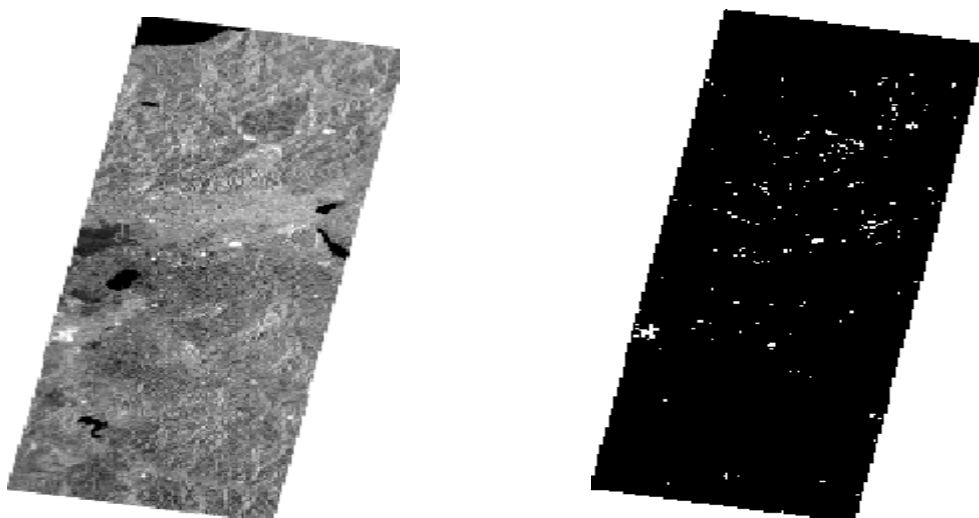


**(B) : image ASAR du 26/11/09 corrigée et géoréférencée/ (B') : (B) en mode linéaire.**



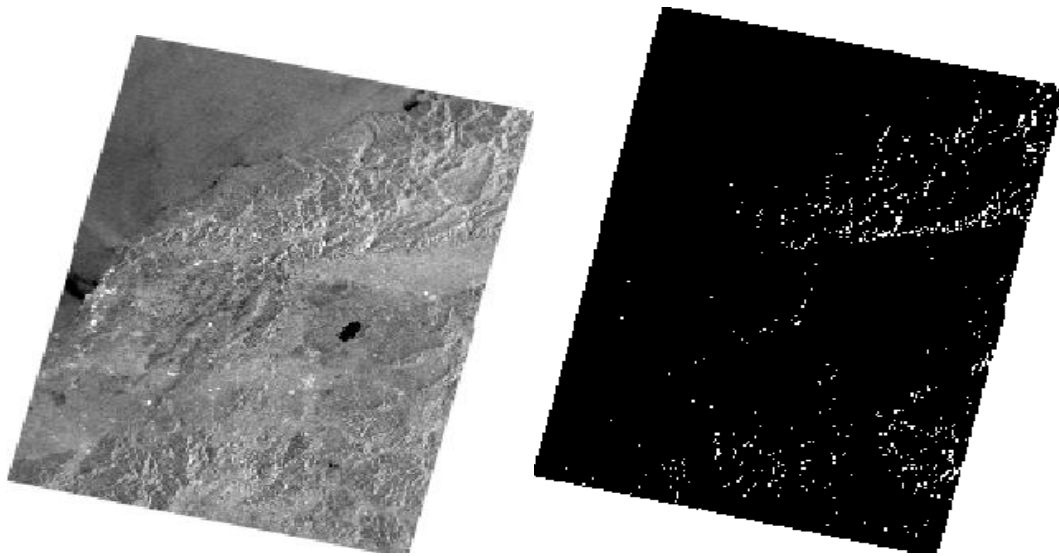
**(C) : image ASAR du 02/12/09 corrigée et géoréférencée (C') : (C) en mode linéaire.**

**Figure 43 : Les images (1, 2 et 3) en mode dB et en mode linéaire.**



**(D): image ASAR du 09/12/09 corrigée et géoréférencée / (D') : (D) en mode linéaire.**





**(E) : image ASAR du 18/12/09 corrigée et géoréférencée/ (E') : (E) en mode linéaire.**

**Figure 44. les images (4) et (5) en mode dB et en mode linéaire.**

Comme on a cité auparavant, on ne peut pas travailler directement sur les pixels à cause du bruit, c'est pour cela qu'on a travaillé sur un ensemble de pixels pour obtenir un coefficient de rétrodiffusion moyen. Cet inconvénient qui peut être interprété comme une perte du détail de l'information est au fait un avantage dans notre cas, puisqu'il nous permet de raisonner à l'échelle de la parcelle qui est souvent l'unité homogène dans les zones agricoles.

De là, on a sélectionné des parcelles (AOI, zones d'intérêt) de dimension (100m/100m) autour des points d'échantillonnage, ce qui représente dans la réalité la dimension moyenne d'une parcelle agricole dans la zone d'étude sur laquelle on a calculé le coefficient de rétrodiffusion linéaire moyen pour chaque parcelle.

Aussi on a fait d'autres sélections de parcelles a une dimension de (50m/50m) pour voir qu'est ce que ça donne en résultat tout en comparant avec la dimension moyenne réelle.

Ce travail a été fait en double vue les polarisations disponibles. C'est à dire la sélection et l'extraction du coefficient de rétrodiffusion a été faite en polarisation HH (horizontal/horizontal) et aussi pour la polarisation VV (vertical/vertical).

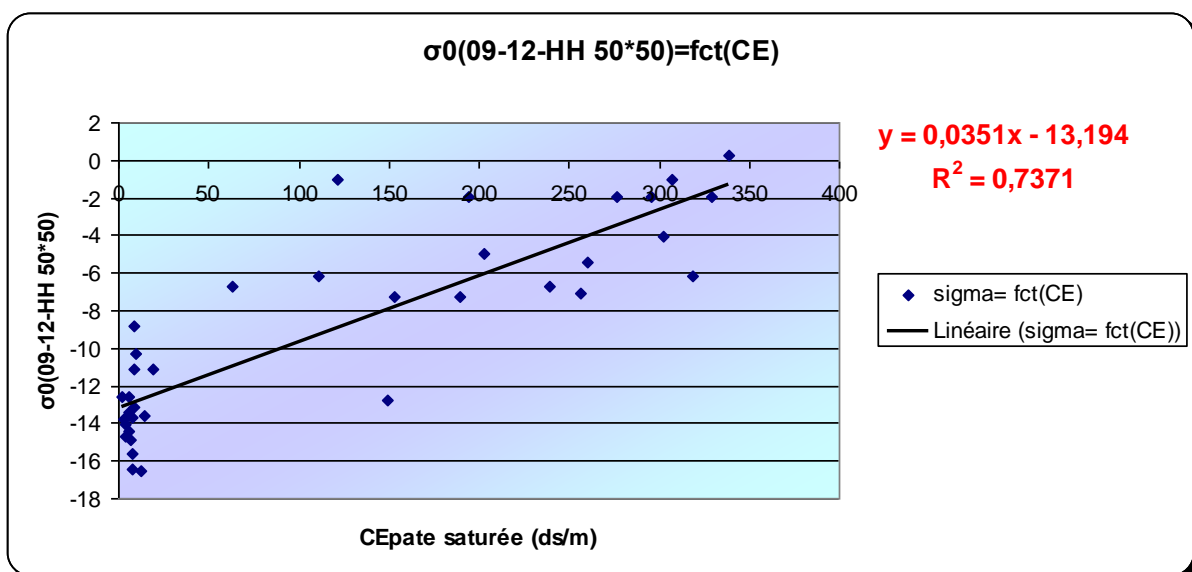
### IV.3. L'aptitude du radar à estimer la salinité et l'humidité du sol:

#### IV.3.1. Confrontation des données de la salinité aux données radar :

Les données de la conductivité électrique des points échantillonnées ont été confrontées aux données de la télédétection radar (coefficient de rétrodiffusion moyen) en fonction des journées, dimension des parcelles et la polarisation. Cela a été fait par des corrélations linéaires entre ces deux dernières.

##### IV.3.1.1. Les résultats issus de la journée du 09/12/2009 :

Tout d'abord on a commencé à corrélérer entre le coefficient de rétrodiffusion moyen de cette journée issu des parcelles de 50m/50m dans la polarisation horizontal horizontal (HH) dont on a obtenu le résultat suivant :



**Figure 45 : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique  
(Du 09-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m)**

On a remarqué une bonne relation entre le signal rétrodiffusé (50m/50m polarisation HH) et la conductivité électrique de cette journée avec un coefficient de détermination de **0.73** qui est très significatif avec une relation linéaire :  $\sigma_0 = 0.0351 CE - 13.194$  (figure45)

On remarque que le coefficient de rétrodiffusion moyen augmente en croissance de la conductivité électrique tout au long de la zone étudiée. Ainsi l'apparition d'un ensemble de

valeurs de CE extrêmes qui peut être expliqué par l'endroit ou les échantillons ont été prélevés.

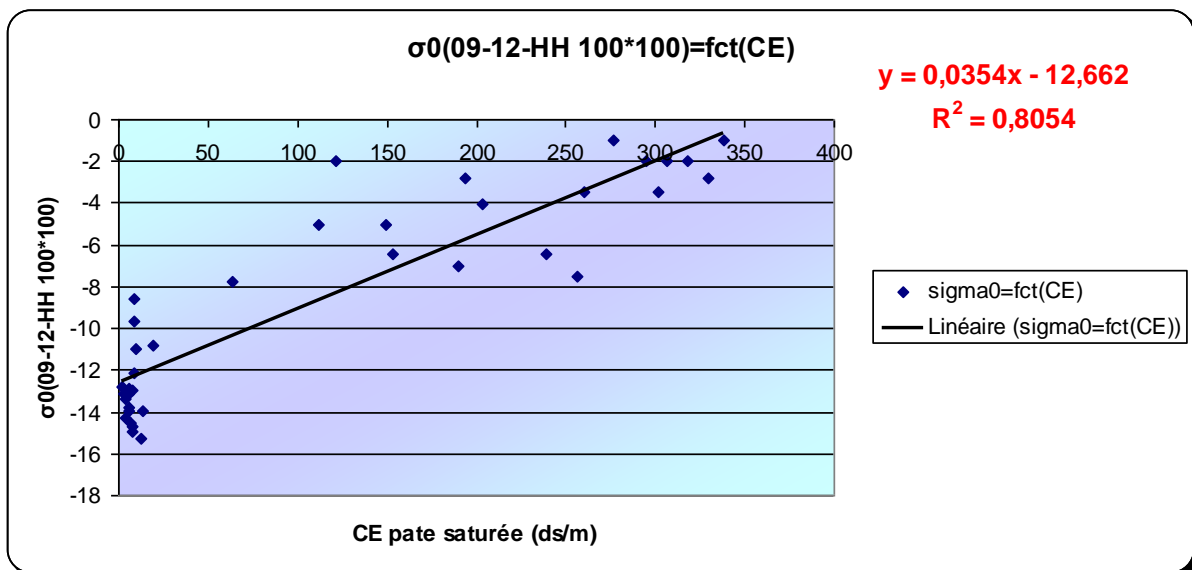
#### IV.3.1.1.1. Comparaison entre les corrélations issues de la même polarisation (HH) et avec différentes dimensions de parcelles (50m/50m et 100m/100m) :

Après avoir corrélié entre le signal rétrodiffusé de l'image radar du 09 décembre 2009 issue à une dimension de 50m/50m et la conductivité électrique, on a fait de même avec la dimension de 100m/100m avec le même mode de polarisation (HH) et on a obtenu le résultat suivant (figure 46).

On remarque qu'il y a une nette amélioration dans cette corrélation et cela par le coefficient de détermination qui a atteint **0.80** qui plus significatif avec la relation linéaire

$$\sigma_0 = 0.035 \text{ CE} - 12.662$$

Cette amélioration peut être expliquée par la nature des parcelles du bas Chélif qui sont en moyenne des parcelles de 100m/100m.

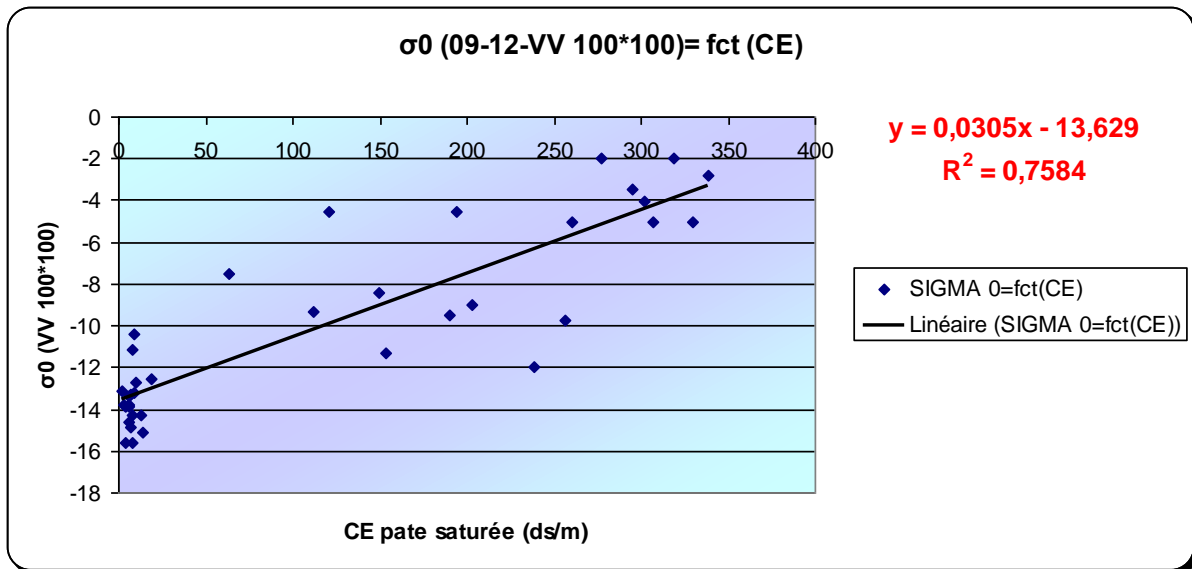


**Figure 46 : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique (Du 09-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m)**

#### IV.3.1.1.2. Comparaison entre les corrélations en fonction de la polarisation :

Pour cela on a fait une corrélation entre le signal rétrodiffusé issu d'une autre polarisation disponible pour notre image radar du 09 décembre 2009 qui est la polarisation vertical vertical

(VV) tout en gardant la dimension qui a donné mieux (100m/100m) dont on a obtenu le résultat suivant figure 47 :



**Figure 47 : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique (Du 09-12-2009 polarisation VV dimension 100m/100m)**

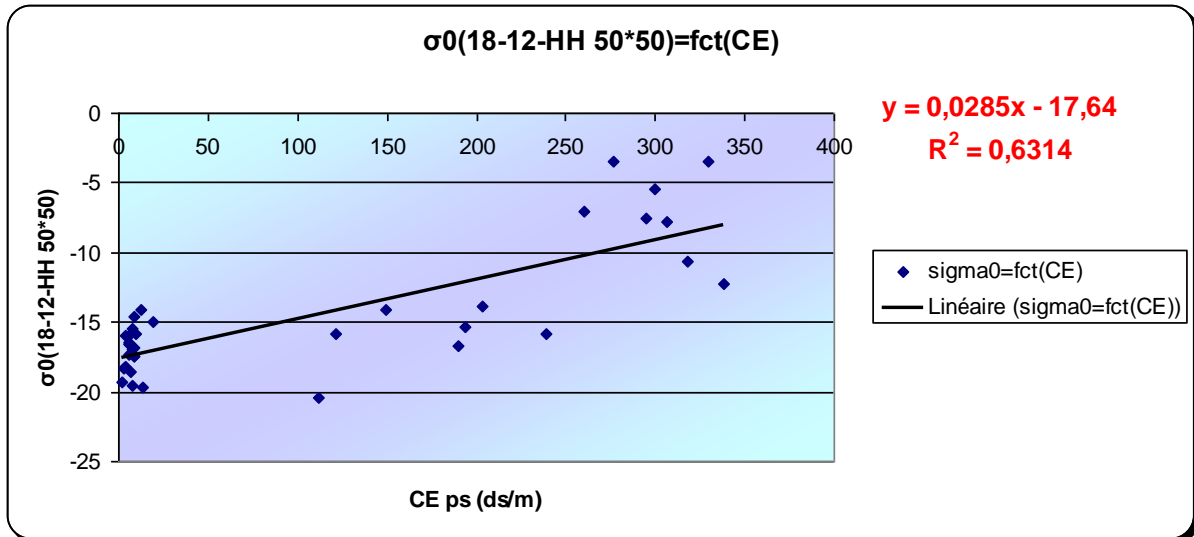
On remarque que le résultat reste significatif avec une bonne corrélation en mode linéaire. la polarisation vertical vertical (VV) a donné de bon résultat avec la conductivité électrique mais reste toujours derrière la polarisation horizontal horizontal (HH) avec un coefficient de détermination  $R^2 = 0.75$  et la relation linéaire  $\sigma_0 = 0.0305 CE - 13.629$  et même il s'est comporté de la même façon que dans la corrélation précédente, le signal a augmenté en croissance de la conductivité électrique même dans les régions hyper saline. Ce qu'on va confirmer avec les résultats de l'image ASAR du 18 décembre 2009.

#### IV.3.1.2. Les Résultats issus de la journée du 18 décembre 2009 :

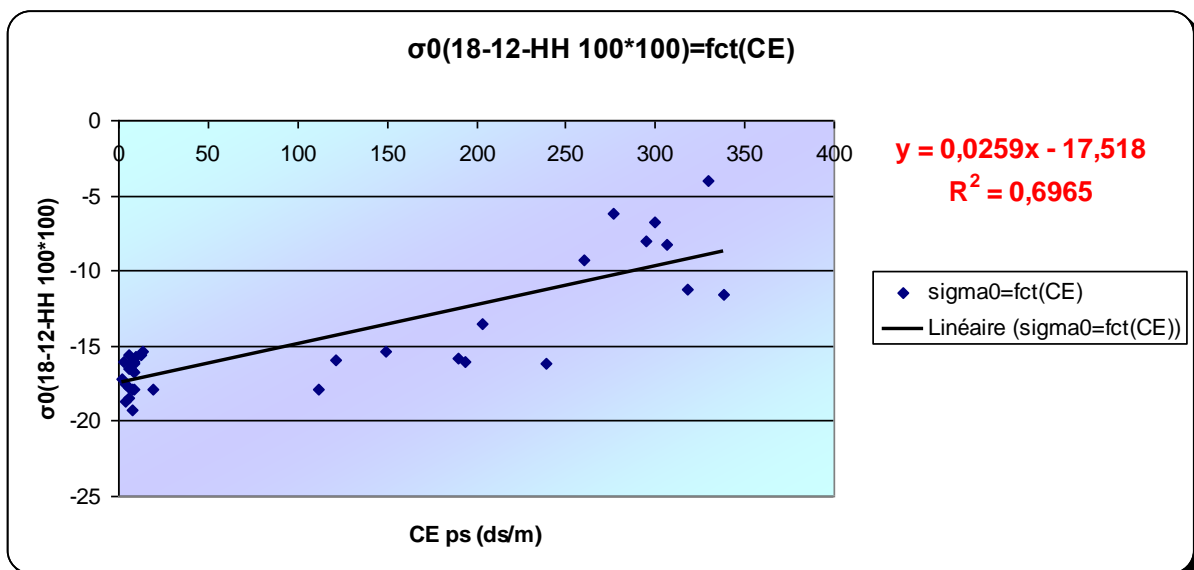
On a suivi la même méthode que celle suivie pour la journée du 09/12/2009 comme pour le reste d'images. On a essayé d'extraire des coefficients de rétrodiffusions moyens en choisissant des parcelles à différentes mesures.

Seulement les dimensions retenues dans ce chapitre sont ceux de 50m/50m et 100m/100m parce qu'ils sont les plus proches à la réalité et qui ont des résultats plus logiques. Ainsi des corrélations ont été faites entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique des sols des points échantillonnés et cela d'abord pour les parcelles de 50m/50m dans la

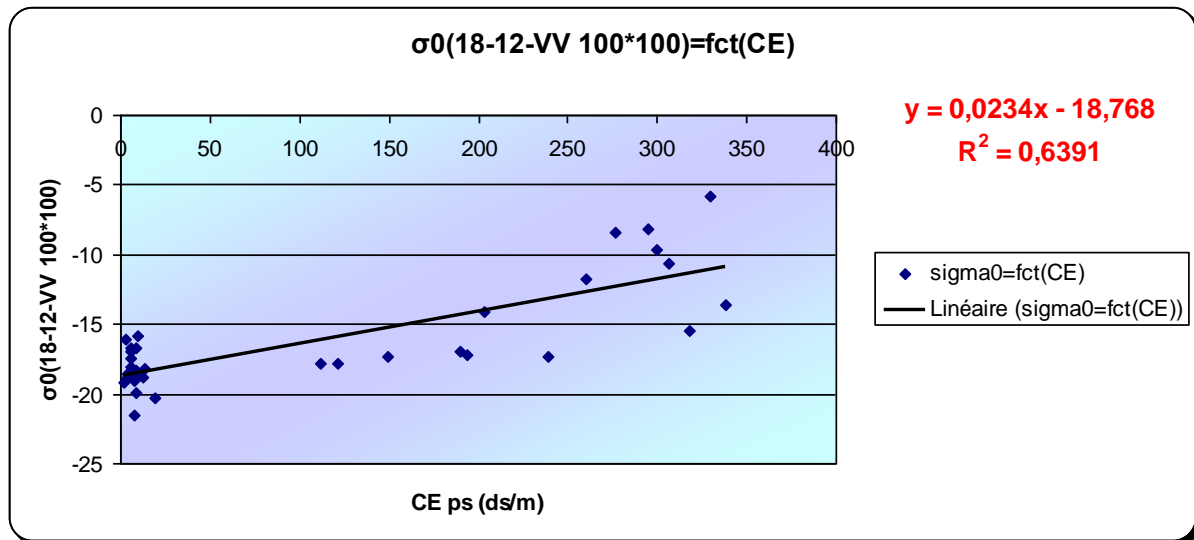
polarisation horizontal horizontal (HH) et puis pour les parcelles de 100m/100m dans la même polarisation et finalement pour les parcelles de la même dimension mais avec la deuxième polarisation disponible : vertical vertical (VV).de la on a u les résultats suivants :



**Figure 48 : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique  
(Du 18-12-2009 polarisation HH dimension 50m/50m)**



**Figure 49 : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique  
(Du 18-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m)**



**Figure 50 : la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique  
(Du 18-12-2009 polarisation VV dimension 100m/100m)**

On remarque que pour cette journée du 18 décembre 2009, les résultats ont la même allure que ceux de la journée du 09 décembre, le signal rétrodiffusé a signé une sensibilité à la salinité des couches de surface du sol. Commençant d'abord par la première corrélation, le signal est affecté par la CE, il augmente en fonction de cette dernière, on a remarqué une bonne corrélation avec un coefficient de détermination de 0.63 qui reste aussi significatif avec une relation linéaire  $\sigma_0 = 0.0285 CE - 17.64$  sur figure 48

Pour la deuxième corrélation de cette journée, celle qui montre la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique (De la 18-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m) figure 49, on remarque aussi que pour cette dimension de (100m) qui reste meilleure du point de vue de réponse avec un  $R^2$  qui est égale a 0.69 qui est également significatif dont la relation linéaire est :  $\sigma_0 = 0.0259 CE - 17.518$ .

Finalement, pour la dernière corrélation de cette journée qu'on peut présenter est celle qui montre la relation entre le signal rétrodiffusé et la conductivité électrique du 18-12-2009 avec la polarisation vertical vertical (VV) et la dimension 100m/100m (figure 50), l'intérêt de cette corrélation et de confirmer la sensibilité du radar a la salinité des sols en polarisation (VV) et aussi comparer ses résultats avec ceux de la polarisation horizontal horizontal (HH) comme il a été suivi auparavant avec la journée du 09/12/2009.

On a remarqué une corrélation qui est assez bonne par rapport à celle de la polarisation (HH) avec un coefficient de détermination de 0.63 ce qui confirme l'efficacité des deux polarisations dans la détermination de la sensibilité du signal radar à la salinité du sol, la relation linéaire retenue pour ce cas est :  $\sigma_0 = 0.0234 \text{ CE} - 18.768$ .

A partir des résultats obtenus. On a pu montrer la contribution significative de la salinité des sols à  $\sigma_0$  de l'image RSO et aussi on a montré la très bonne relation entre le signal rétrodiffusé et la salinité et cela dans différentes dimensions et différentes polarisations. Même s'il existe très peu de travaux dans ce domaine, ce résultat rejoint ceux de Ziad et al (2007) et Lasne (2007). on a trouvé que  $\sigma_0$  augmente en croissance de la CE. Les petites améliorations obtenues dans les résultats des parcelles de 100m/100m par rapport à celle du 50m/50m peut être expliquée par le maximum d'information retenues à partir de sélections des AOI homogènes qui représente dans la réalité les parcelles moyennes du bas Chélif.

Les deux polarisations ont donné de bon résultats en terme de relation entre le signal rétrodiffusé et la salinité des couches de surface du sol tout en soulignant toujours une amélioration remarquable sur la polarisation (HH) par rapport au (VV) qui ont donné en ordre un coefficient de détermination de 0.80 et 0.69 pour la première, 0.75 et 0.63 pour la deuxième.

#### **IV.3.1.2.1. Comportement du signal radar en fonction de l'angle d'incidence :**

Suite aux résultats obtenus et cités auparavant, on remarque que dans l'ensemble le signal radar a montré des comportements différents et cela en fonction de la polarisation et même de l'angle d'incidence.

Le signal radar était plus sensible à la salinité du sol pour les grands angles d'incidence sachant que pour l'image du 09 décembre 2009, l'angle d'incidence était de  $44.25^\circ$  alors que le coefficient de corrélation est de 0.75. Et cela dans la polarisation (VV). alors que ce dernier n'a montré qu'une valeur de 0.63 pour l'image du 18 décembre 2009 la ou l'angle d'incidence est de  $22.25^\circ$  et cela dans la même polarisation (VV).

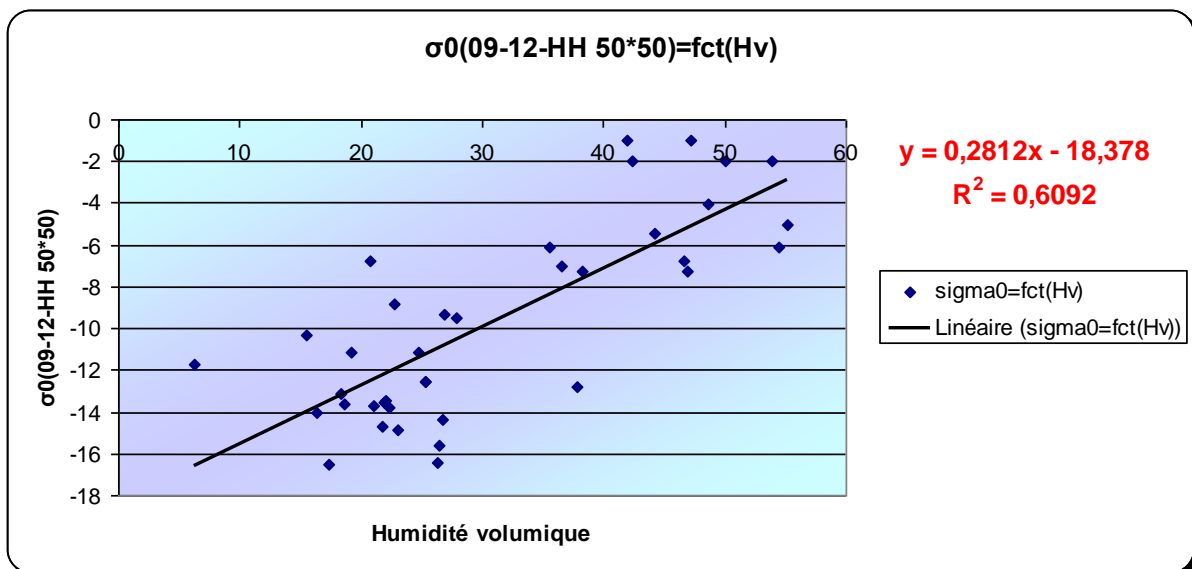
Cette logique a été gardée pour la polarisation (HH), pour un angle d'incidence de  $22.25^\circ$ , la valeur du coefficient était de 0.69. Cette dernière a nettement amélioré dans l'image du 09/12/2009 avec (0.80) la ou l'angle d'incidence est plus grand ( $44.25^\circ$ ).

### IV.3.2. Confrontation des données de l'humidité volumique du sol aux données radar :

Les données de l'humidité volumique des points échantillonnés ont été confrontées aux données de la télédétection radar (coefficient de rétrodiffusion moyen) en fonction des journées, dimension des parcelles et la polarisation. Cela a été fait par des corrélations entre ces deux dernières.

#### IV.3.2.1. Les résultats issus de la journée du 09/12/2009 :

Tout d'abord on a commencé à corréliser entre le coefficient de rétrodiffusion moyen issu des parcelles de 50m/50m dont le point échantillonné fait partie de cette parcelle homogène et cela dans la polarisation horizontal horizontal (HH) dont on a obtenu le résultat suivant :



**Figure 51 : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique du sol (Du 09-12-2009 polarisation HH dimension 50m/50m)**

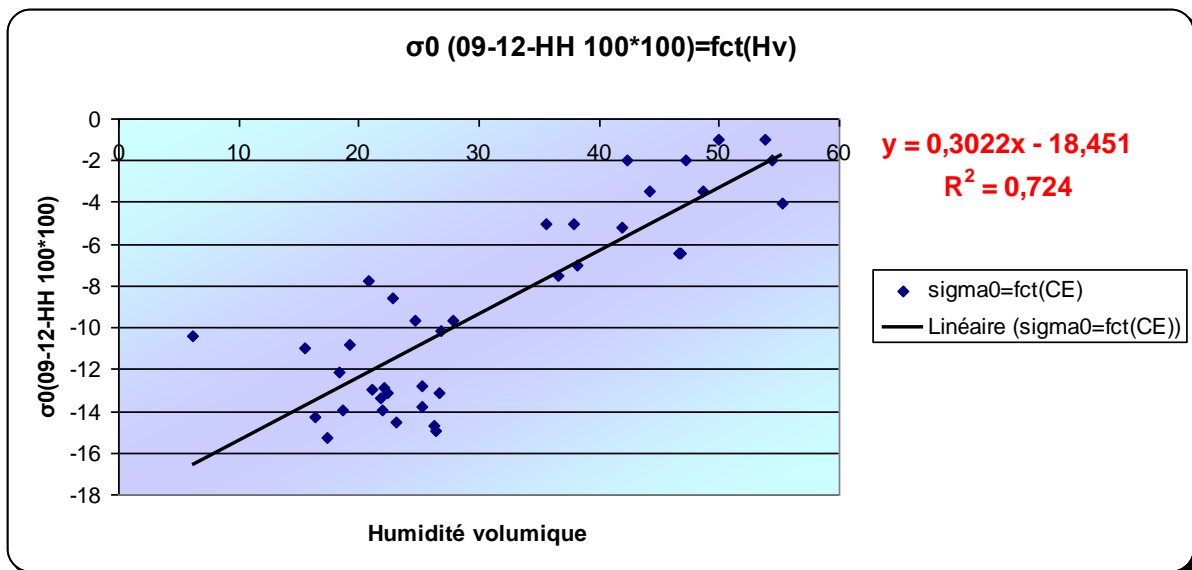
Une bonne relation a été signée sur cette corrélation entre  $\sigma_0$  et l'humidité volumique avec un coefficient de détermination  $R^2= 0.60$  et la relation linéaire  $\sigma_0 = 0.2812 H_v - 18.378$  sachant que l'angle d'incidence dans cette image est de  $44.25^\circ$ .

On remarque que le coefficient de rétrodiffusion augmente en croissance de l'humidité volumique du sol. Plus l'humidité est importante plus le signal rétrodiffusé capté est grand jusqu'à atteindre des valeurs non négligeables comme  $\sigma_0 = -2$  dB pour une humidité volumique qui est à proximité de 50% pour la région sebkha ainsi des valeurs dites logique pour le reste de la Hmadna comme  $\sigma_0=-16$  dB pour une humidité dite normal vue la saison entre 20 et 30%.



#### IV.3.2.1.1. Comparaison entre les corrélations issues de la même polarisation(HH) et avec différentes dimensions de parcelles (50m/50m et 100m/100m) :

Après avoir corrélé entre le signal rétrodiffusé de l'image radar du 09 décembre 2009 issu de la dimension 50m/50m et la conductivité électrique, on a fait de même avec la dimension de 100m/100m avec le même mode de polarisation (HH) et on a obtenu le résultat suivant figure 52 :

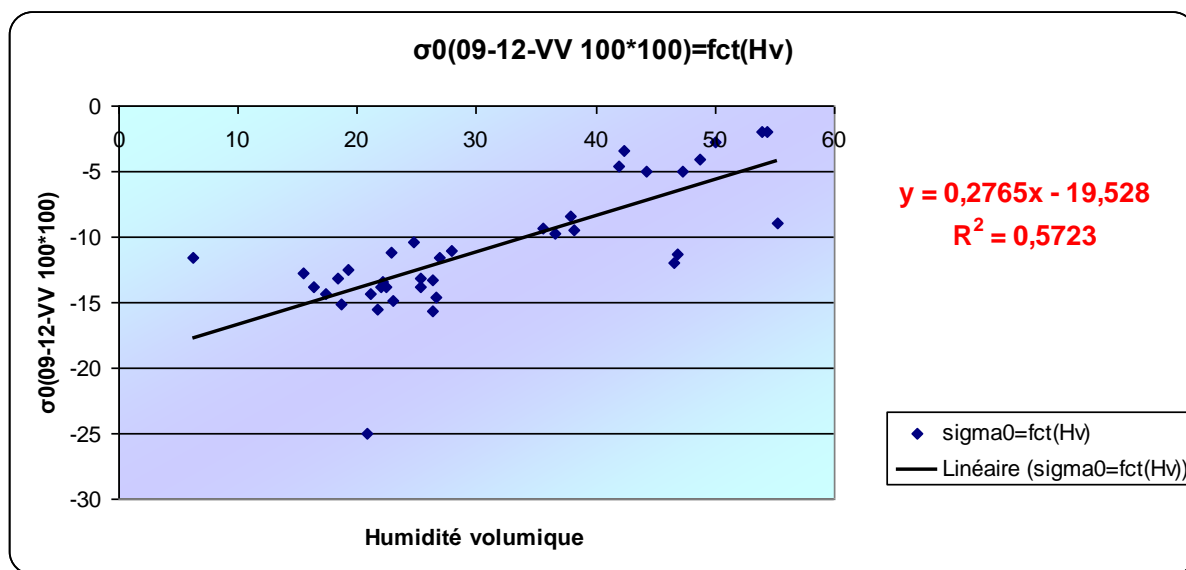


**Figure 52 : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique  
(Du 09-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m)**

On remarque qu'il y a une nette amélioration dans cette corrélation et cela par le coefficient de détermination qui a atteint **0.72** qui est plus significatif avec la relation linéaire  $\sigma_0 = 0.3022 H_v - 18.451$ . Le signal rétrodiffusé a montré la même discipline que dans la corrélation précédente. (Plus l'humidité du sol est importante plus le signal est grand) Cette amélioration peut être expliquée par la nature des parcelles du bas Chélib qui sont en moyenne des parcelles de 100m/100m.

#### IV.3.2.1.2. Comparaison entre les corrélations en fonction de la polarisation :

On a fait une corrélation entre le signal rétrodiffusé issu d'une autre polarisation disponible pour notre image radar du 09 décembre 2009 qui est la polarisation vertical vertical (VV) tout en gardant la dimension qui a donné mieux (100m/100m) dont on a obtenu le résultat suivant figure 53:



**Figure 53 : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique  
(Du 09-12-2009 polarisation VV dimension 100m/100m)**

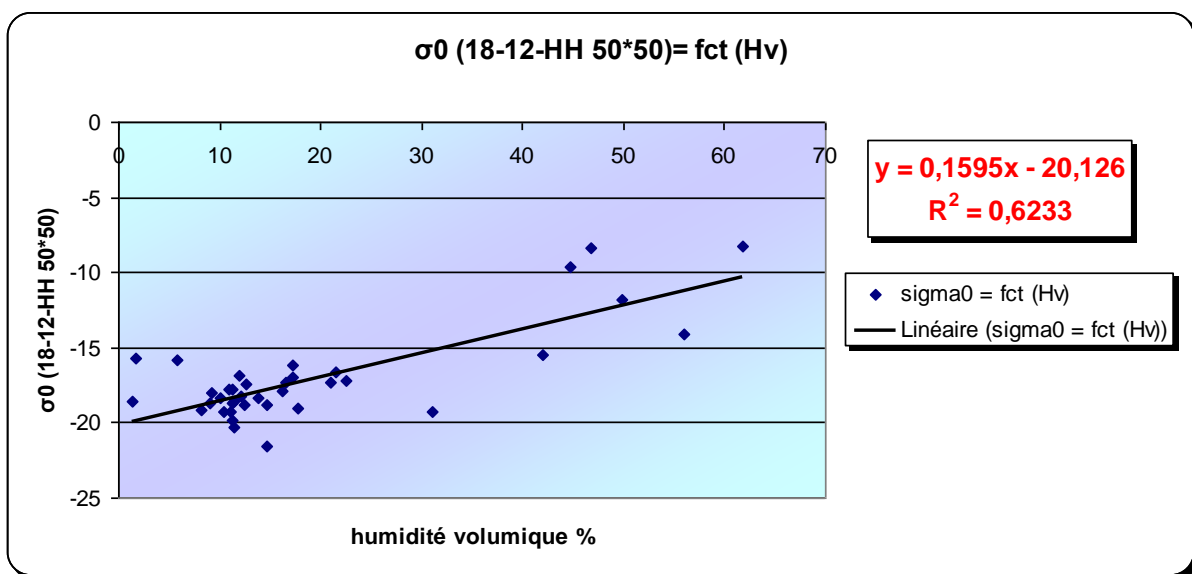
On remarque que le résultat reste significatif avec une bonne corrélation en mode linéaire. la polarisation vertical vertical (VV) a donné de bons résultats avec la conductivité électrique mais reste toujours derrière la polarisation horizontal horizontal (HH) avec un coefficient de détermination  $R^2= 0.75$  et la relation linéaire  $\sigma_0 = 0.0305 CE - 13.629$  et même il s'est comporté de la même façon que dans la corrélation précédente, le signal a augmenté en croissance de la conductivité électrique même dans les régions hyper saline. Ce qu'on va confirmer avec les résultats de l'image ASAR du 18 décembre 2009. ces résultats confirment ce qu'ont rapporté Geng et al. (1996) que la sensibilité du signal radar à l'humidité du sol a un angle d'incidence de  $55^\circ$ , est plus forte en polarisation HH qu'en d'autres polarisations. (notre cas  $44.25^\circ$ )

On remarque que cette fois ci la polarisation (VV) a donné un résultat peu attirant par rapport a la polarisation (HH) sachant qu'on est dans la même dimension 100m/100m. la polarisation (HH) reste avantageuse pour le paramètre humidité avec un coefficient de détermination  $R^2$  de 0.72 dont ce dernier montre une valeur de 0.57 seulement pour la polarisation (VV) et une relation linéaire  $\sigma_0 = 0.2765 Hv - 19.528$ . Le signal a augmenté en croissance de l'humidité volumique du sol même dans les régions hyper humide (sebkha). Ce qu'on va confirmer avec les résultats de l'image ASAR du 18 décembre 2009.

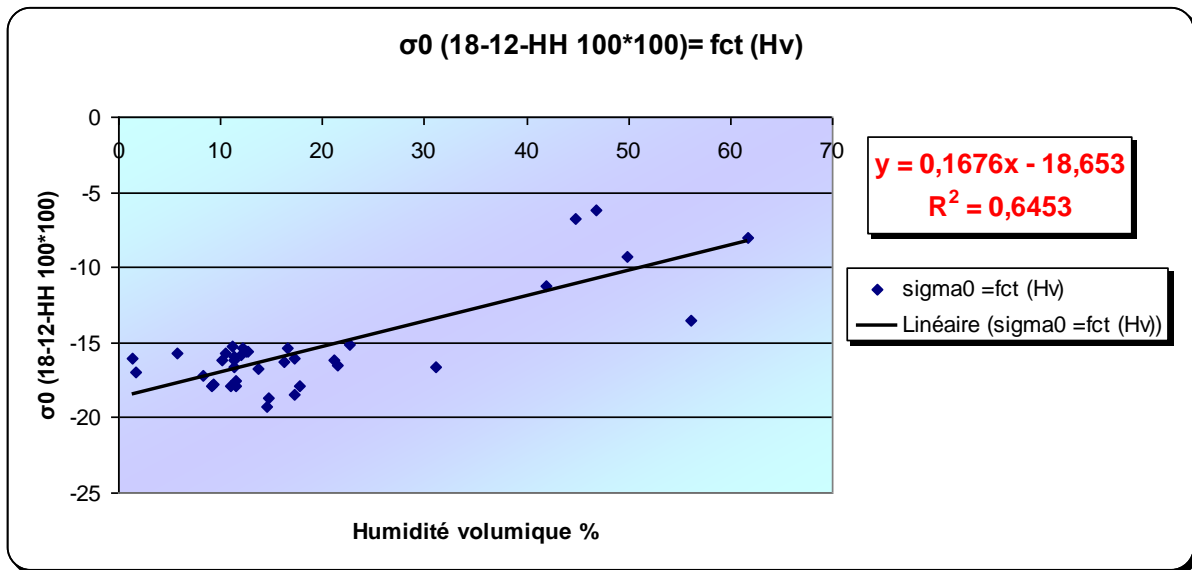
#### IV.3.2.2. Les Résultats issus de la journée du 18 décembre 2009 :

On a suivi la même méthode que celle suivie pour la journée du 09/12/2009 comme pour le reste d'images. On a essayé d'extraire des coefficients de rétrodiffusion moyens en choisissant des parcelles à différentes mesures. Cette fois ci comme dans le paramètre précédent (salinité). Seulement les dimensions de 50m/50m et 100m/100m qui sont retenues dans ce chapitre parce qu'ils sont les plus proches à la réalité et qui ont des résultats plus logiques.

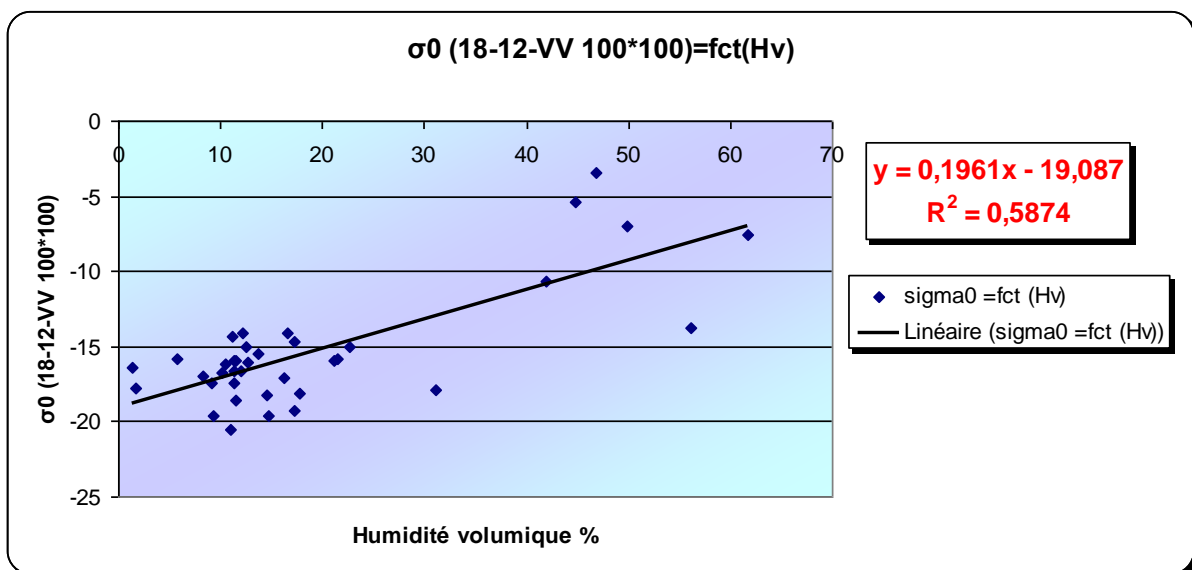
Ainsi des corrélations ont été faites entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique du sol des points échantillonnés et cela d'abord pour les parcelles de 50m/50m dans la polarisation horizontal horizontal (HH) et puis pour les parcelles de 100m/100m dans la même polarisation et finalement pour les parcelles de la même dimension mais avec la deuxième polarisation disponible : vertical vertical (VV).de la on a obtenu les résultats suivants:



**Figure 54 : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique  
(Du 18-12-2009 polarisation HH dimension 50m/50m)**



**Figure 55 : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique  
(Du 18-12-2009 polarisation HH dimension 100m/100m)**



**Figure 56 : la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité volumique  
(Du 18-12-2009 polarisation VV dimension 100m/100m)**

Pour cette journée du 18 décembre 2009, les résultats ont la même allure que ceux de la journée du 09 décembre, le signal rétrodiffusé a signé une sensibilité à l'humidité des couches de surface du sol.

Pour la première corrélation, en polarisation HH et les parcelles de 50m/50m, Le signal est affecté par l'humidité volumique, il augmente en fonction de cette dernière, on a marqué une bonne corrélation avec un coefficient de détermination de 0.62 qui reste aussi significatif avec une relation linéaire  $\sigma_0 = 0.1595 Hv - 20.126$  (figure54)

Pour la deuxième corrélation de cette journée, celle qui montre la relation entre le signal rétrodiffusé et  $H_v$  (polarisation HH dimension 100m/100m) (figure55), on note aussi que pour cette dimension de (100m) qui reste la meilleure en point de vue de réponse avec un  $R^2$  qui est égale à 0.64 qui est également significative dont la relation linéaire est :  $\sigma_0 = 0.1676 H_v - 18.653$ .

Finalement, pour la dernière corrélation de cette journée qu'on peut présenter est celle qui montre la relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité du sol avec la polarisation vertical vertical (VV) et la dimension 100m/100m (figure56), l'intérêt de cette corrélation et de confirmer la sensibilité du radar à l'humidité des sols en polarisation (VV) et aussi comparer ses résultats avec ceux de la polarisation horizontal horizontal (HH) comme il a été suivi auparavant pour la journée du 09/12/2009.

De là, la corrélation est bonne mais reste toujours moins significative par rapport à la polarisation HH avec un coefficient de détermination  $R^2$  qui est égale à 0.58 ce qui confirme l'efficacité des deux polarisations dans la détermination de la sensibilité du signal à l'humidité, la relation linéaire retenue pour ce cas est :  $\sigma_0 = 0.1961 H_v - 19.087$ .

A partir des résultats obtenus, on a pu montrer la contribution significative de la salinité des sols à  $\sigma_0$  des images RSO et, aussi, on a montré la très bonne relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité et cela dans différentes dimensions et avec différentes polarisations. plus l'humidité est importante plus la rétrodiffusion est forte. Cela s'explique par la polarisabilité des molécules d'eau et de leur capacité à s'orienter en fonction du champ électromagnétique, ce qui indique que la réflexion du signal augmente avec l'humidité du sol. Ce résultat est en conformité avec les travaux effectués par Ulaby. F, 1986, Dobson. M. C, 1986 et Lasne.Y, 2007

Les petites améliorations obtenues dans les résultats des parcelles de 100m/100m par rapport à celle du 50m/50m peut être expliquée par le maximum d'informations retenues à partir de sélections des AOI homogènes qui représente dans la réalité les parcelles moyennes du bas Chélif.

Les deux polarisations ont donné de bons résultats en terme de relation entre le signal rétrodiffusé et l'humidité des couches de surface du sol tout en soulignant toujours une amélioration remarquable sur la polarisation (HH) par rapport à (VV).

## IV.4. L'aptitude du radar a estimer la rugosité du sol:

### IV.4.1. Digitalisation des parcelles témoins et les statistiques :

Afin d'étudier le comportement du coefficient de rétrodiffusion en fonction de la rugosité de la surface du sol, il est nécessaire de calculer pour chaque parcelle le coefficient de rétrodiffusion moyen. De ce fait, nous avons digitalisé les parcelles témoin sous forme carrée avec le logiciel Erdas/Imagine dont le site du profil fait partie. Des points GPS ont été prélevés pour connaître la localisation de chaque parcelle témoin ainsi que les statistiques sur le coefficient de rétrodiffusion (moyenne et écart type) ont été calculés par la suite.

Les statistiques permettent d'étudier le comportement du signal radar en fonction des paramètres du capteur : polarisation et angle d'incidence. Cette analyse du comportement du signal radar en fonction des paramètres d'acquisition du satellite et des paramètres physiques du milieu nous ont permis de réaliser une estimation du potentiel de discrimination de la rugosité.

### IV.4.2. Résultats des traitements de profils de la rugosité:

Les profils en photos numériques de la rugosité ont été traités suivant trois méthodes différentes (MT01), (MT02) et (MT03) afin de calculer l'écart type de hauteur (RMS), le rapport L/L initial et la longueur de corrélation comme il a été cité auparavant.

Les résultats obtenus sont classés selon le site (X,Y) et la méthode aussi, puis des corrélations ont été faites pour la validation des résultats. Le tableau 14 montre la corrélation entre les RMS de la première et la deuxième méthode et le rapport calculé de la troisième.

	RMS MT01	RMS MT02	L/L initial MT03
RMS MT01	1.000	<b>0.959</b>	0.668
RMS MT02	<b>0.959</b>	1.000	0.652
L/L initial MT03	0.668	0.652	1.000

**Tableau 14: matrice de corrélation entre les RMS des trois méthodes.**

On constate que les deux premières méthodes ( MT01 et MT02) ont montré une très bonne corrélation. Ce qui signifie que les résultats (valeurs RMS) de ces deux dernières sont très proches d'ou vient l'idée d'éliminer une et continuer avec une seule tout en comparant ses résultats avec ceux de la troisième méthode.

#### IV.4.3. Comportement de $\sigma_0$ (ASAR 02/12/2009 100\*100) en fonction des polarisations HH/VV:

Pour un angle d'incidence de  $18.25^\circ$ , les coefficients de rétrodiffusion moyens ( issus de l'image du 02/12/2009 pour des parcelles de 100m\*100m) ont montré des comportements différents en fonction de la polarisation. On note dans la figure 57 que les valeurs de  $\sigma_0$  en polarisation VV sont plus élevés tout au long du site et qui varient entre (-8.82 et -2.32) avec une moyenne de (-4.93) par rapport à ceux de la polarisation HH qui varient entre (-9.66 et -3.49) avec une moyenne aussi de (-6.15) soit une différence (entre les deux polarisation) qui varie entre (0.40 et 3.04) là ou la différence moyenne est de (1.21).

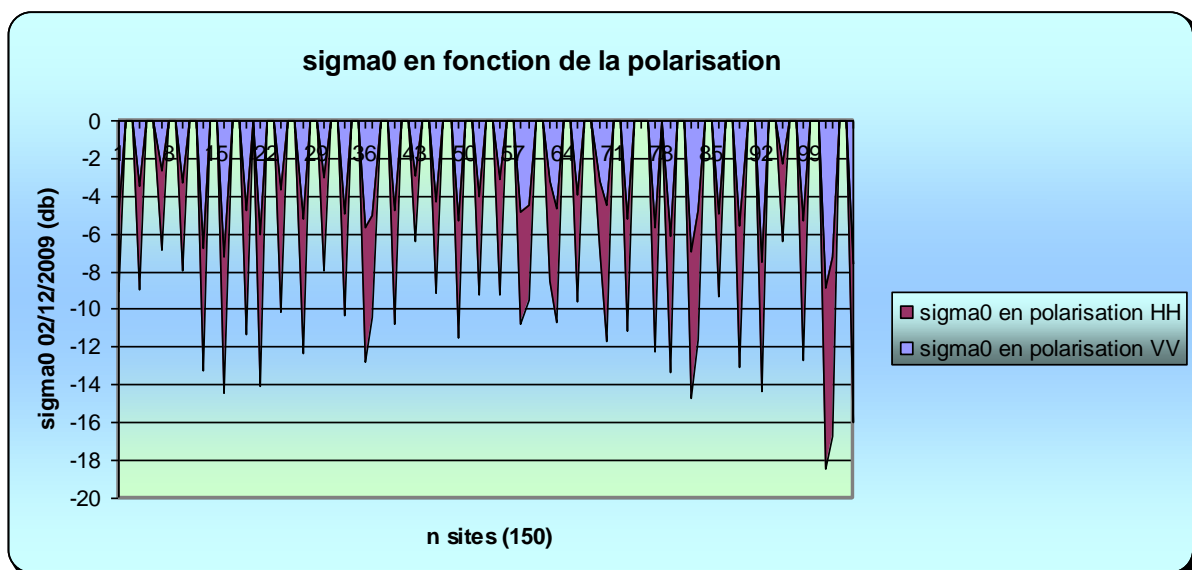
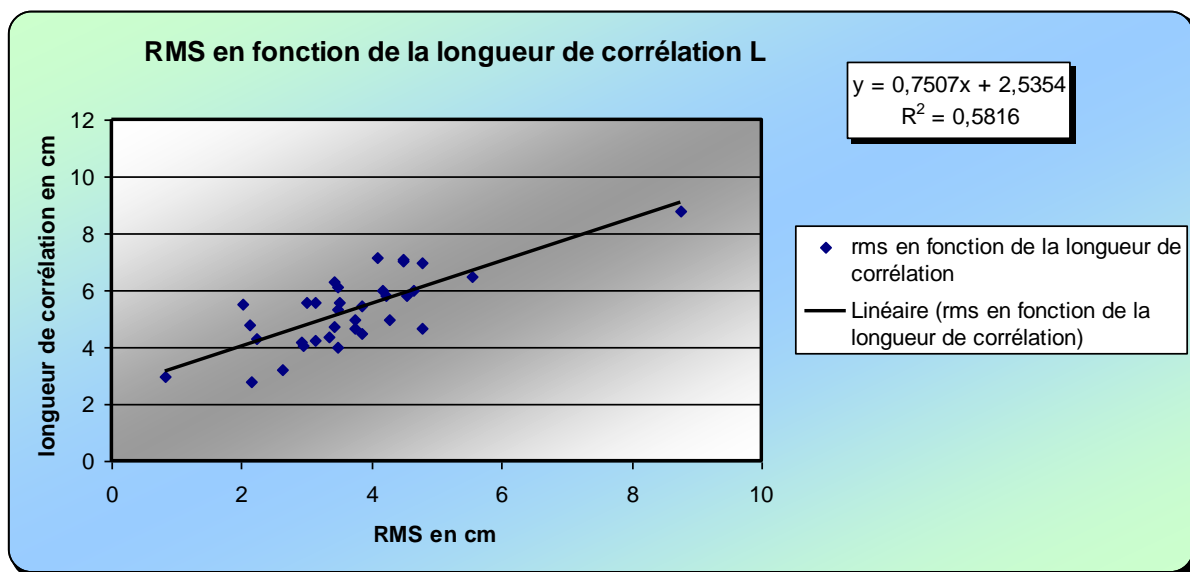


Figure 57: comportement du coefficient de rétrodiffusion ( $\sigma_0$ ) en fonction des polarisation (HH et VV).

#### IV.4.4. L'écart type des hauteurs (RMS) et la longueur de corrélation (L):

Comme on a indiqué auparavant, le RMS n'est pas suffisant pour déterminer la rugosité, de la, la longueur de corrélation a été calculée.



**Figure 58 : corrélation entre le RMS et la longueur de corrélation calculée**

Les deux valeurs qui représentent la rugosité de la surface des sols RMS et la longueur de corrélation ont montré une très bonne relation entre elles. la corrélation a été faite (figure 58) avec un coefficient de détermination de (0.58).ce dernier reste très significatif. Cette bonne relation peut être interprétée par la nature de l'état de surface des sols. On remarque que pour les sols qui ont une forte rugosité, la longueur de corrélation prend des valeurs élevées, c'est-à-dire pour déterminer cette longueur ça demande plus d'espace contrairement aux sols qui ont une faible rugosité ou des sols nus, la longueur de corrélation prend des valeurs faible parallèlement avec le RMS.

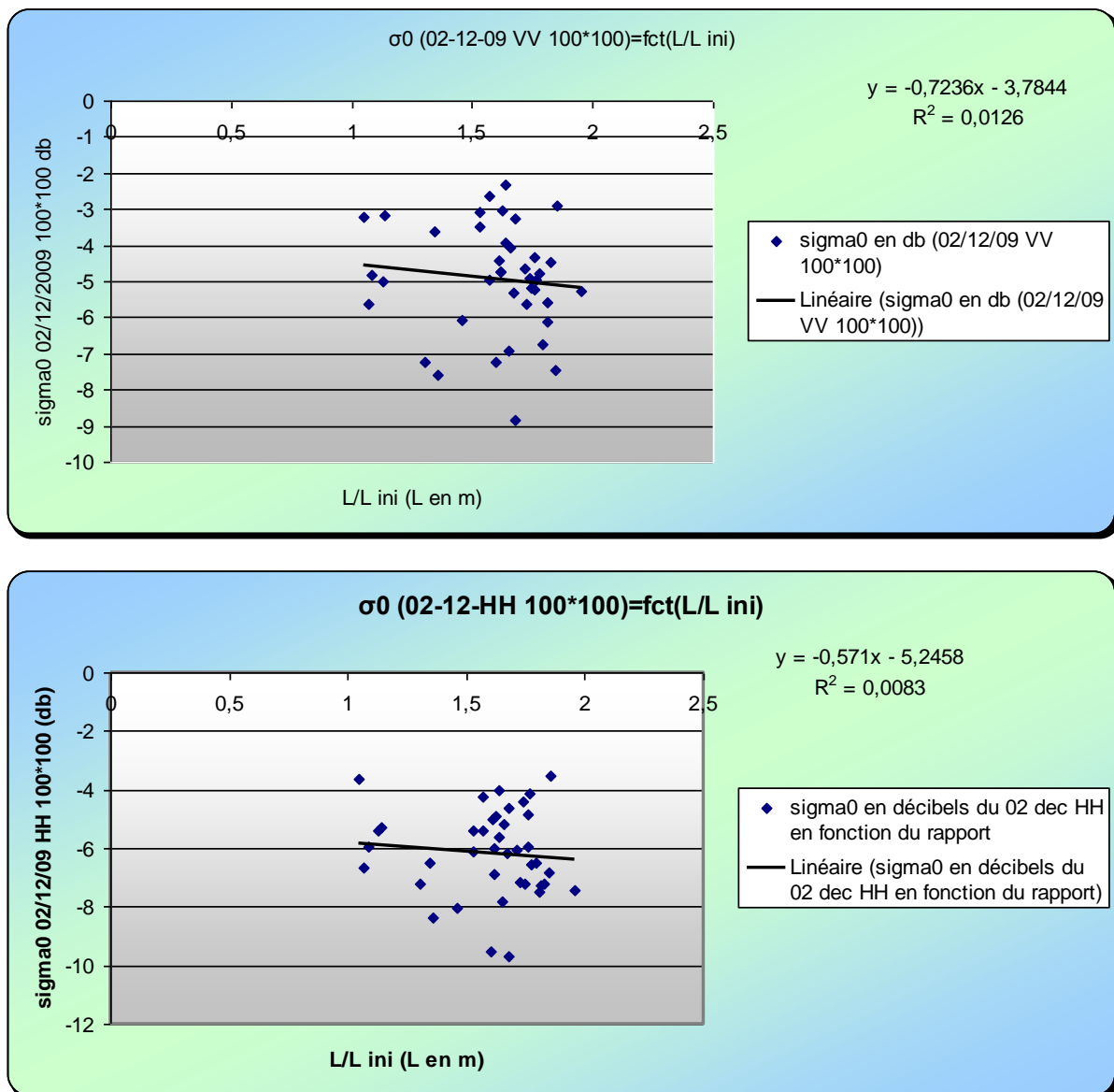
#### **IV.4.5.Comportement du signal radar en fonction de la rugosité de surface**

Le potentiel de la bande C pour la caractérisation de la rugosité de surface des sols a été analysé. L'écart type des hauteurs (rms) utilisé pour caractériser la rugosité de surface a été calculé grâce aux profils mesurés. ainsi que les résultats de la troisième méthode, le rapport (L/L initial) a été utilisé dans cette étape.

Les confrontations faites entre le coefficient de rétrodiffusion moyen et le rapport (L/L initial) ont donné de mauvais résultats. des coefficients de corrélation (0.0126) et (0.0083) respectivement pour la polarisation (VV) et (HH) qui peut signifie la non validation de l



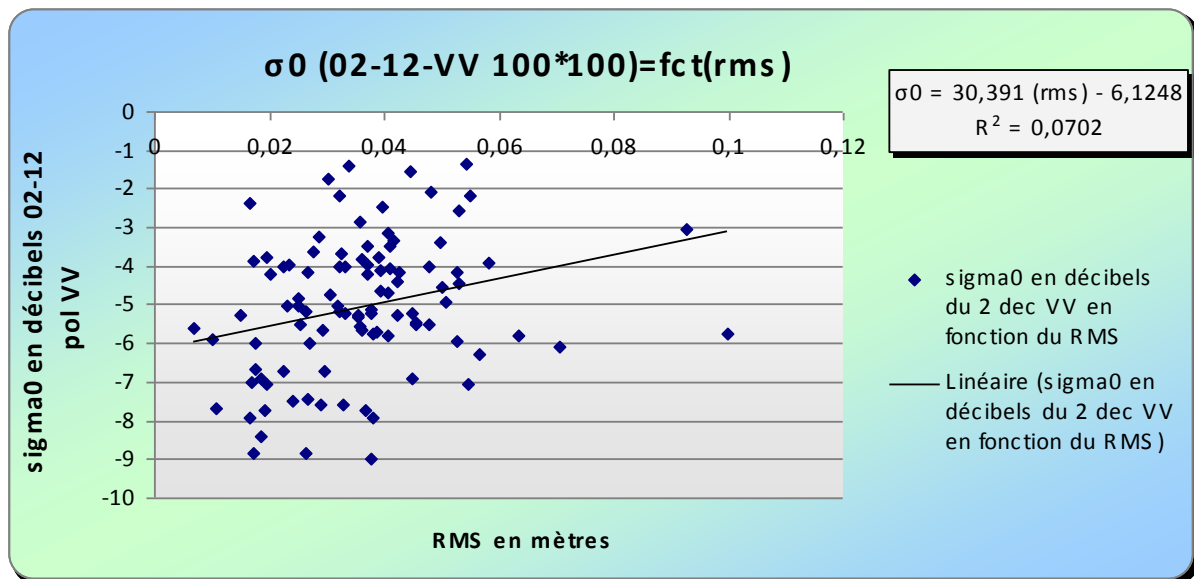
application de la méthode de la chaînette sur logiciel Erdas, comme le montre la figure 59.



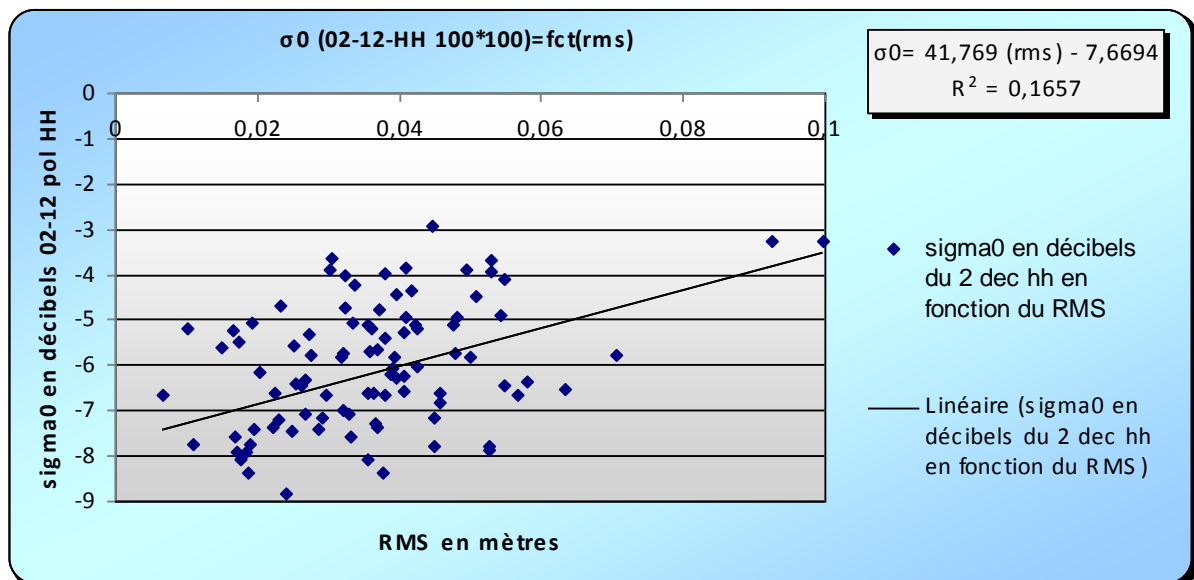
**Figure 59: corrélation entre sigma0 moyen du 02/12/2009 pour les parcelles de 100m\*100m en décibels avec le rapport L/L initial pour la polarisation HH et VV.**

En polarisation VV, le coefficient de rétrodiffusion sigma0 est faiblement dépendant de la rugosité de surface quel que soit l'angle d'incidence. De ce fait, la polarisation HH est plus sensible à la rugosité de surface que la polarisation VV. Plusieurs études ont donné des résultats similaires (Fung, 1994 ; Geng et al., 1996 ; Baghdadi et al., 2003).

Dans le cas de notre étude, les corrélations entre les RMS (en mètre) de la première méthode de calcul et sigma0 (dB) ont confirmé l'amélioration marquée sur la polarisation HH (figure 60) et cela sur une corrélation qui tenait en compte tous les points sans faire une moyenne des RMS groupés ou même pour sigma0.



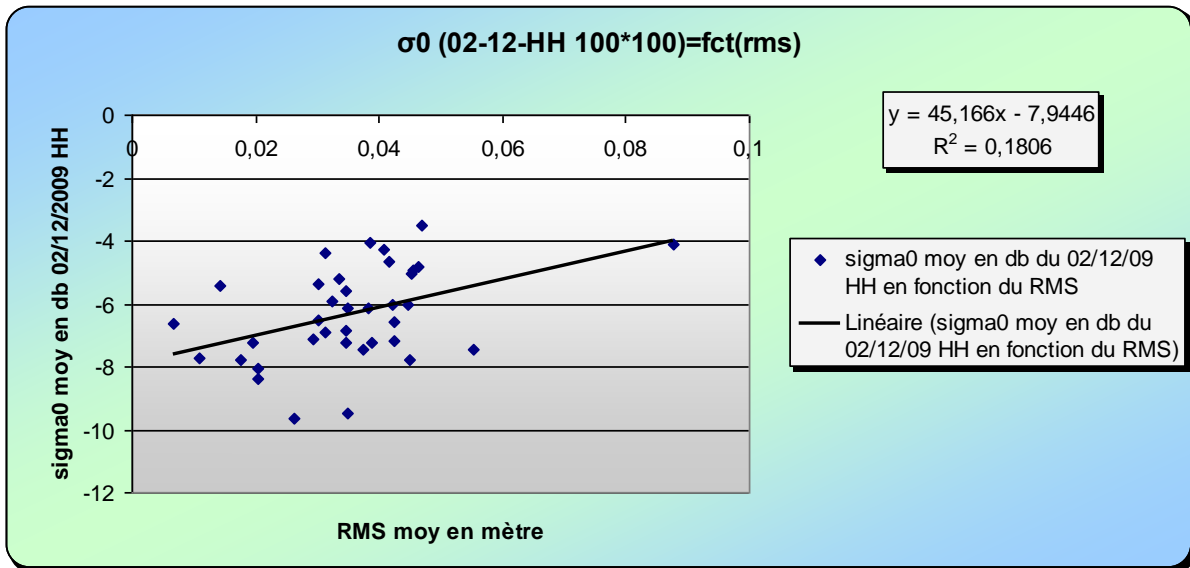
**A : polarisation vertical vertical.**



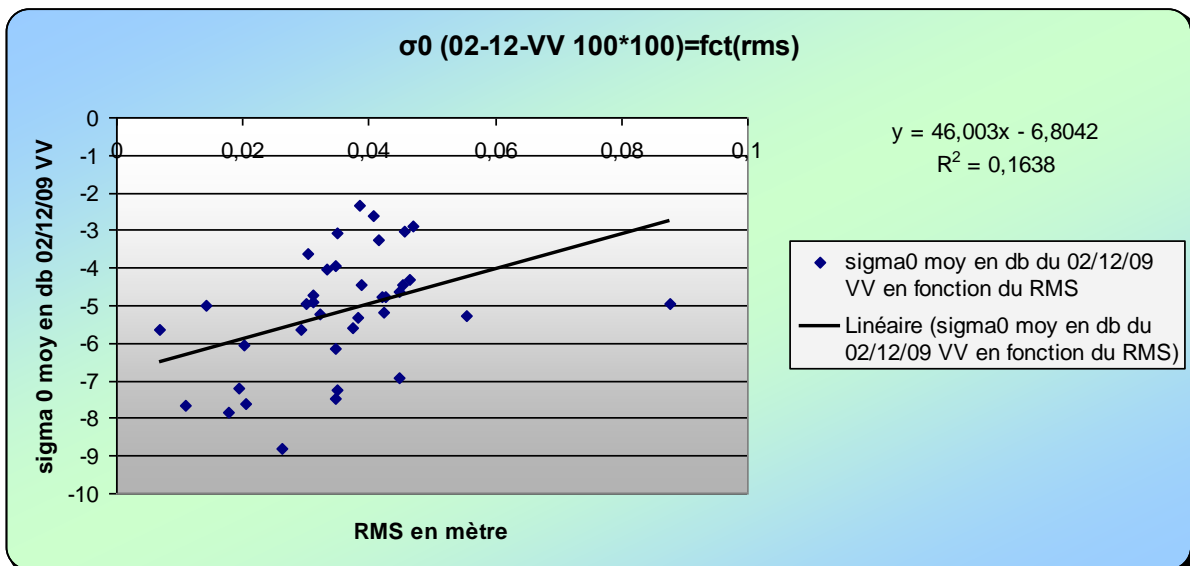
**B: polarisation horizontal horizontal.**

**Figure 60: relation entre RMS (en mètre / tout les points) et le coefficient de rétrodiffusion (DB) du 02/12/2009 en fonction des polarisation (HH et VV).**

On remarque qu'il n'y avait pas de très bonnes corrélations sur (A) et (B) qui ont donné un coefficient de corrélation respectivement  $R^2=0.07$  et  $R^2=0.16$  mais la logique de (Fung, 1994 ; Geng et al., 1996 ; Baghdadi et al., 2003) a été gardée. Ce qui confirme la fiabilité des deux premières méthode de calcul des RMS. la figure 61 représente aussi des corrélations entre les RMS moyens de chaque parcelle de 100\*100m et le coefficient de rétrodiffusion moyen par tripléte.



**A : relation entre sigma0 moyen et RMS moyen de chaque parcelle en polarisation HH**



**B: relation entre sigma0 moyen et RMS moyen de chaque parcelle en polarisation VV.**

**Figure 61: corrélation entre RMS moyen et coefficient de rétrodiffusion moyen en décibels de chaque parcelle du 02/12/2009 en deux polarisations (A: HH et B:VV)**

dans ce cas, on note qu'il y a une amélioration légère sur ces deux corrélation par rapport aux corrélation précédentes  $R^2$  qui passe de 0.16 à 0.18 en polarisation HH et de 0.07 à 0.16 en polarisation VV qui peut être expliquée par le raisonnement. L'échelle est parcellaire. L'information radar ou la rugosité est gardée pour chaque parcelle. C'est pour cela qu'on a fait une moyenne de chaque tripléte que ce soit pour les RMS (trois profils des chaque parcelle) ou pour sigma0.

#### IV.4.6. Comportement du signal radar en fonction de l'angle d'incidence, de l'humidité volumique du sol pour une rugosité connue:

Dans cette étape, on a choisi quatre parcelles différentes (H23, H25, H31, H32).le but est d'analyser le comportement du coefficient de rétrodiffusion pour ces parcelles qui représente dans la réalité des sols nus là ou l'écart type des hauteurs (RMS) est très faible et parfois presque nul (0.83 / 1.35 / 0.77 / 0.66 cm. respectivement)

Ces parcelles ont été réparties en deux, les parcelles (H23 et H25) ont été analysées suivant l'image et les données de la journée du 02 décembre 2009 la ou l'angle d'incidence est de 18.25° et l'humidité volumique (16.69 % et 15.50% .respectivement).

Les parcelles (H31 et H32) ont été analysées aussi suivant l'image et les données de la journée du 26 novembre 2009 la ou l'angle d'incidence et de 33.75° et l'humidité volumique cette fois ci est de (14.39 et 12.45 % .respectivement).

Les coefficients de rétrodiffusion moyens ont été calculés pour toutes les parcelles tout en respectant l'image qui correspond à chaque parcelle et cela pour les deux polarisation (HH et VV) le tout est représenté dans le tableau suivant:

journée	parcelles	RMS cm	angle inc	Sigma0 HH	Sigma0VV	Hvol %
02/12/2009	H 23	0.83	18.25 °	-5.96	-4.80	16.69
02/12/2009	H 25	1.35	18.25 °	-5.30	-3.15	15.50
26/11/2009	H 31	0.77	33.75 °	-6.53	-6.42	14.39
26/11/2009	H 32	0.66	33.75 °	-10.36	-9.46	12.45

**Tableau 15: récapitulatif des données des parcelles (H23, H25, H31 et H32) ainsi que les images qui leur correspondent.**

On remarque que pour des sols nus (rugosité faible = RMS faible),sur la polarisation HH. les coefficients de rétrodiffusion (-6.53 et -10.36 dB) issus des parcelles (H31 et H32 .respectivement) sont faibles par rapport à ceux des parcelles (H23 et H25) qui étaient de (-5.96 et -5.30 dB. Respectivement).ainsi que sur la polarisation VV qui garda la même logique. Ceux de l'image du 02/12/2009 (-4.80 et -3.15 dB) sont plus importants par rapport à ceux de la journée du 26/11/2009 (-6.42 et -9.46 dB).

Cette diminution du coefficient de rétrodiffusion peut être due à l'augmentation de

l'angle d'incidence, et à la diminution de l'humidité. (noha et al 2005). On constate que pour la journée du 02/12/2009 on avait un angle d'incidence de  $18.25^\circ$  qui est moins important a celui de la journée du 26/11/2009 qui était de  $33.75^\circ$ . de même pour l'humidité volumique du sol. On a une faible diminution qui peut sûrement influencer le signal radar et qui passa de (16.69 et 15.50 %) sur les deux premières parcelles a (14.39 et 12.45 %) pour les dernières.

**CHAPITRE –V**

**CARTOGRAPHIE**

## V. Cartographie :

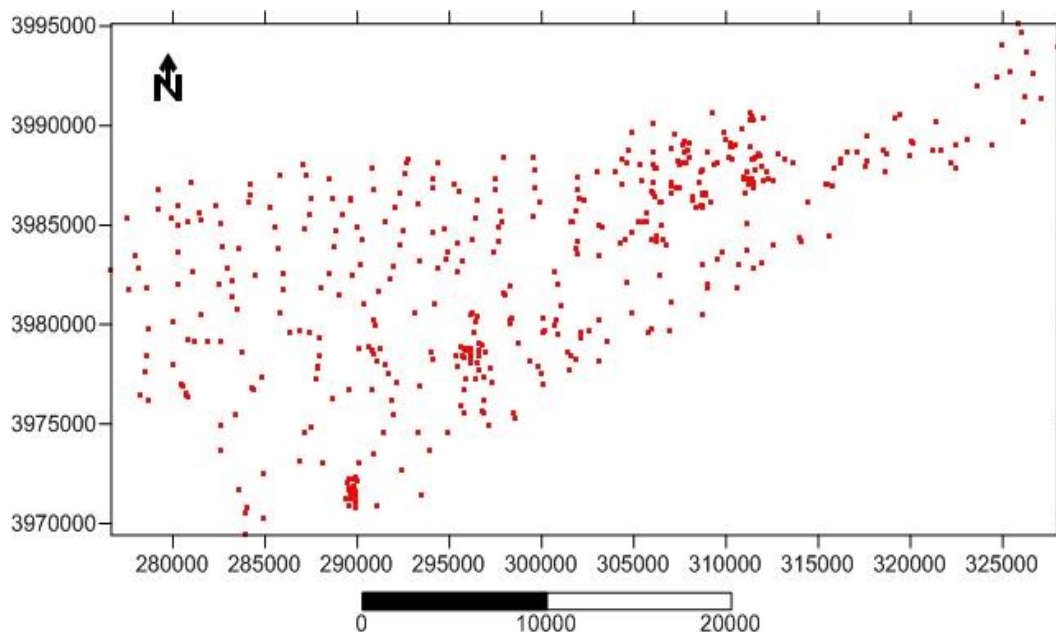
Sachant que, la cartographie des phénomènes naturels sur des grands espaces s'est heurtée au faible nombre d'échantillons prélevés, qui permettent de bien décrire la variabilité spatiale du phénomène étudié. En science du sol, les cartographes ont toujours été confrontés à ce type de problème et particulièrement lorsqu'ils sont en face de certaines variables plus difficiles d'accès (Douaoui et al. 2006).

Il existe plusieurs techniques de cartographie pour pallier à cette difficulté tout en combinant plusieurs outils à la fois, tels que le SIG, la géostatistique et les relations existantes entre les propriétés étudiées et des variables du milieu physique, en tant qu'information externe complémentaire appelée variable secondaire ou auxiliaire (Bishop et McBratney, 2001 ; Carré, 2002 ; Douaoui, 2005).

La salinité et l'humidité du sol sont les deux composantes les plus importantes caractérisant les états de surface des sols du périmètre de HMADNA de la plaine du Bas-Chélif. Ces composantes représentent les variables d'intérêt dont l'échantillonnage sur terrain et les mesures au laboratoire sont très onéreux en termes de finances et de temps.

Dans ce travail, la cartographie de la salinité des sols a été faite sur toute la plaine et pas uniquement sur le périmètre de HMADNA car on a utilisé des données de la salinité de la plaine que pour avoir un grand nombre de sites et pour avoir une bonne estimation.

La cartographie a été faite par la technique géostatistique qui se base sur les seules données mesurées ponctuellement. Les données de la CE utilisées dans ce chapitre correspondent aux échantillons de notre campagne ainsi ceux de l'année 2006 et 2009 allant jusqu'à 420 échantillons comme le montre le plan dans la figure 62. Ces valeurs de la CE sont exprimées par la méthode de la pâte saturée. Ces dernières ont été obtenues par la transformation des données de l'extrait dilué 1/5 (Douaoui et al., 2006).



**Figure 62 : Plan d'échantillons des points utilisés dans la cartographie de la salinité.**

## **V.1. Cartographie de la salinité par la géostatistique :**

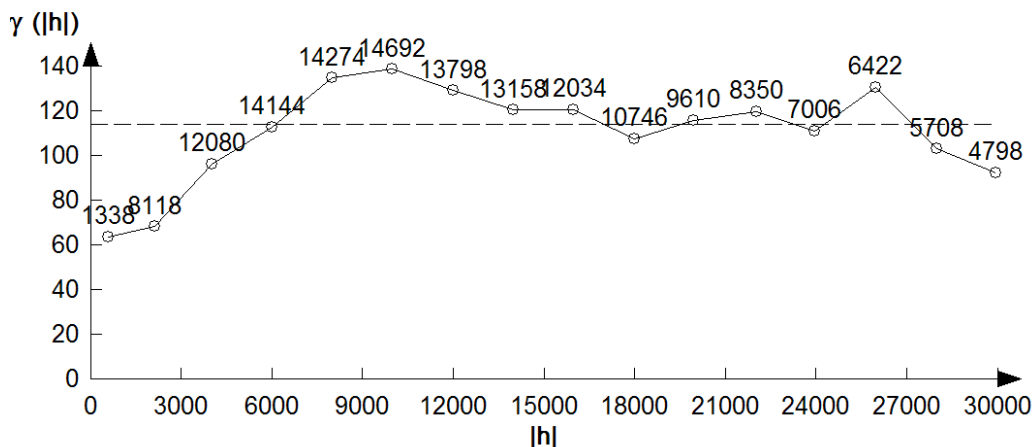
### **V.1.1. Variographie**

Le variogramme expérimental moyen se calcule sur la moitié de la distance entre les deux points les plus éloignés. Dans notre cas, cette distance entre ces deux points est un peu plus de 50 km, ce qui fait que la distance de 30 km sur laquelle le variogramme a été calculée reste dans les normes de la variographie.

Avoir un variogramme sur une distance maximale permise donne la possibilité d'interpréter la structure spatiale sur une grande distance.

Le variogramme expérimental moyen montre un déploiement régulier de la salinité de façon linéaire au début jusqu'à atteindre un palier à partir duquel la variance commence à diminuer, ce qui témoigne de la bonne structure de la salinité (figure 63).





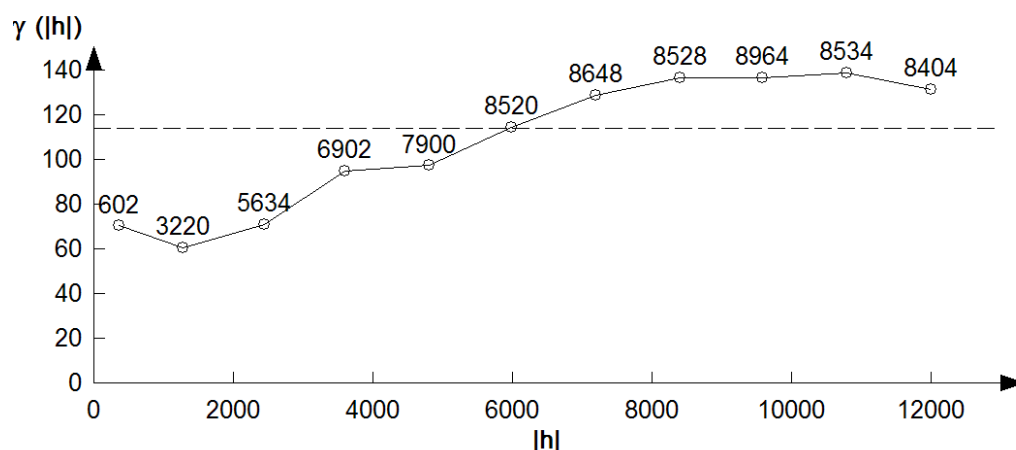
**Figure 63. Variogramme expérimental moyen**

Comme le krigeage est de type ordinaire, c'est-à-dire que l'interpolation se fera autour d'un voisinage de point, il n'est pas nécessaire d'ajuster le variogramme sur la distance de calcul de 30 km retrouvée ici.

Il est toutefois nécessaire de rechercher un variogramme robuste qui ne dépend pas du type d'échantillonnage. Pour cela il faut veiller à ce que le nombre de couples par classes soit supérieur à cinquante et le nombre de classes doit être suffisant pour pouvoir bien ajuster la variogramme (Journel, 1977).

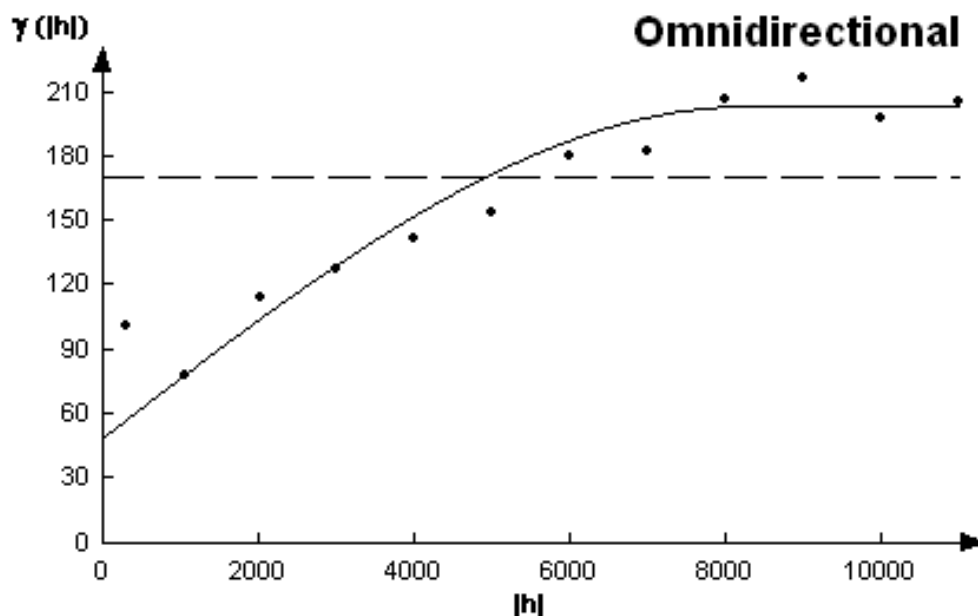
De là, Le variogramme expérimental robuste retenu répond à ces critères et conditions (figure 64) et montre :

- la distance de calcul de 12 km est largement inférieure à la distance maximale qui est de 55 km ;
- le nombre de classes est de 10 ;
- le nombre de couples par classe est de très loin supérieur à 50.



**Figure 64 : Variogramme expérimental moyen retenu**

Le variogramme expérimental moyen retenu a été ajusté par un modèle sphérique avec un effet de pépite de  $49,2 \text{ (dS/m)}^2$ , un palier de  $137.996 \text{ (dS/m)}^2$  et une portée égale à 11160 m comme on peut le constater sur (figure 65).

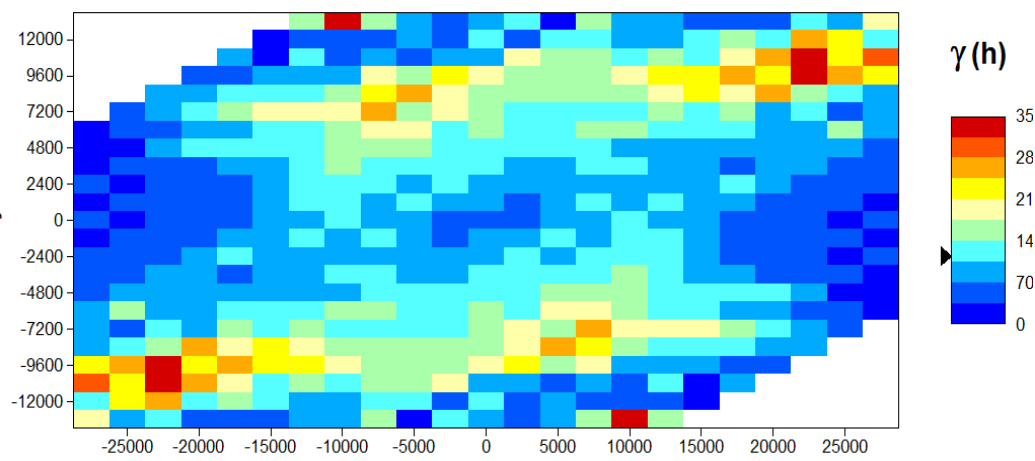


**Figure 65 : Variogramme théorique moyen de la CE ajusté à un modèle sphérique**

Dans notre cas, la valeur de l'effet de pépite n'est certes pas très élevée, mais avec 1/3 d'occupation de la variance totale, elle reste non négligeable. Cet effet de pépite qui représente la variabilité locale est un indicateur des difficultés de l'estimation de la salinité aux faibles distances avec des risques d'erreur dont il faut prendre en charge lors du krigeage. La valeur élevée du palier par rapport à la CE moyenne traduit aussi la grande variabilité de la CE à l'échelle de la plaine du Bas-Chélif.

Le variogramme surfacique est un bon outil qu'offre le logiciel Variowin pour connaître directement les deux principales directions anisotropiques de la CE à l'échelle de la plaine (Douaoui, 2005).

L'établissement du variogramme surfacique a été calculé sur des incréments de 2500 m et 1200 m respectivement pour X et Y avec un nombre de 10 classes. Il montre l'existence d'une anisotropie principale selon la direction  $80^\circ$  dans le sens de la plus grande portée (figure 66). La valeur de l'anisotropie déterminée par le logiciel utilisé témoigne d'un changement de comportement de la salinité selon au moins deux directions dont il faut tenir compte lors du krigeage.

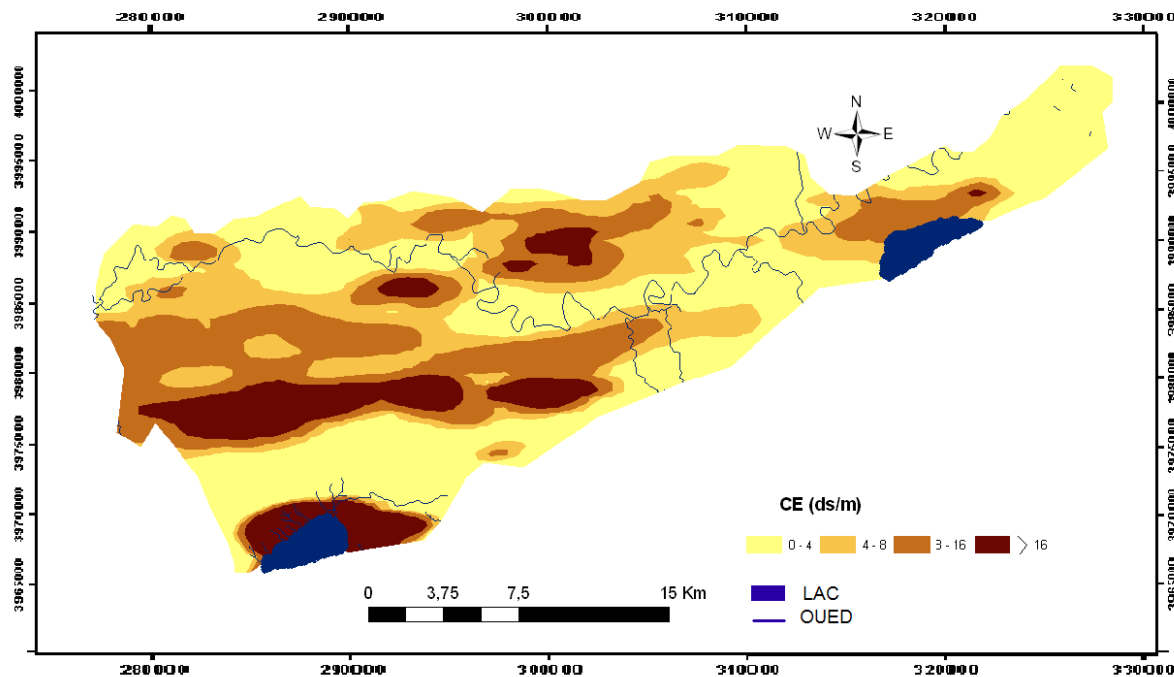


**Figure 66 : Variogramme surfacique de la conductivité électrique**

### V.1.2. Krigeage :

Le krigeage ordinaire à variogramme global a été fait en tenant compte des résultats de la variographie. En effet, l'anisotropie a été respectée en choisissant un rayon de krigeage selon une ellipse dont le rapport entre le rayon majeur et le rayon mineur est égal à 2,0 tout en étant inférieurs à la portée moyenne. On a utilisé dans ce cas l'interpolation ponctuelle puisque notre travail vise la cartographie et non pas une comparaison entre deux techniques d'estimation.

La carte de la salinité obtenue par krigeage ordinaire montre que les sols les moins salés ( $CE < 8$  dS/m) se localisent sur les périphéries de la plaine (figure 67). On peut, en effet, les voir sur le plateau de Benziane, la colline de partage et les périmètres de Ouarizane, Djidiouia, Oued Rhiou et Guerouaou avec une superficie totale de 35771 ha.



**Figure 67 : Carte de la salinité estimée par krigeage ordinaire**

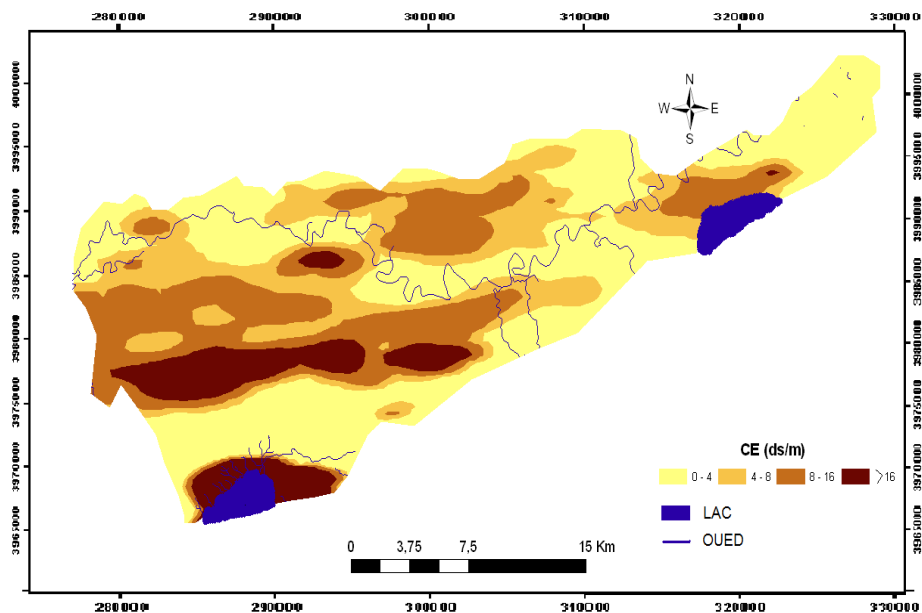
Les superficies dont la salinité est supérieure à 16 dS/m couvrent la région centrale de la plaine et se prolongent vers l’ouest. Cette région couvre surtout le périmètre concerné le périmètre de Hmadna et s’étale vers la partie sud de la Gaa. Cette classe de salinité apparaît également sur la rive gauche d’oued Chleff au nord du périmètre de Hmadna pour un total superficies de 5911 ha. Le reste de la partie centrale jusqu’à l’extrême ouest est occupé essentiellement par une salinité comprise entre 8 et 16 dS/m marquant une salinité moyenne (USSL, 1954). Cette classe de salinité apparaît également à l’est de la plaine aux alentours de Merdjjet Sidi Abed avec une superficie de 12387 ha.

En deuxième partie de ce chapitre, on a essayé de cartographier la plaine mais cette fois ci en rajoutant uniquement les données de la CE de la HMADNA du 18 décembre 2009.(figure 68)

Les superficies (km<sup>2</sup>) des classes ont été représentés sur le tableau suivant :

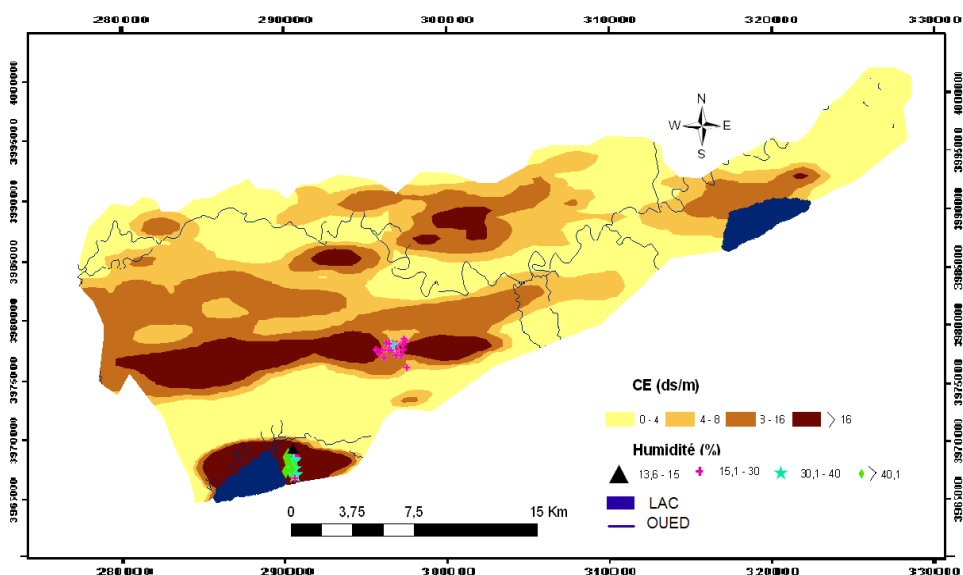
	0 – 4 ds/m	4 – 8 ds/m	8 – 16 ds/m	> 16 ds/m
Carte 18 / 12	23610	12416	12046	5997
Carte 09 / 12	23198	12573	12387	5911

**Tableau 16: représentatif des superficies des classes des deux cartes**



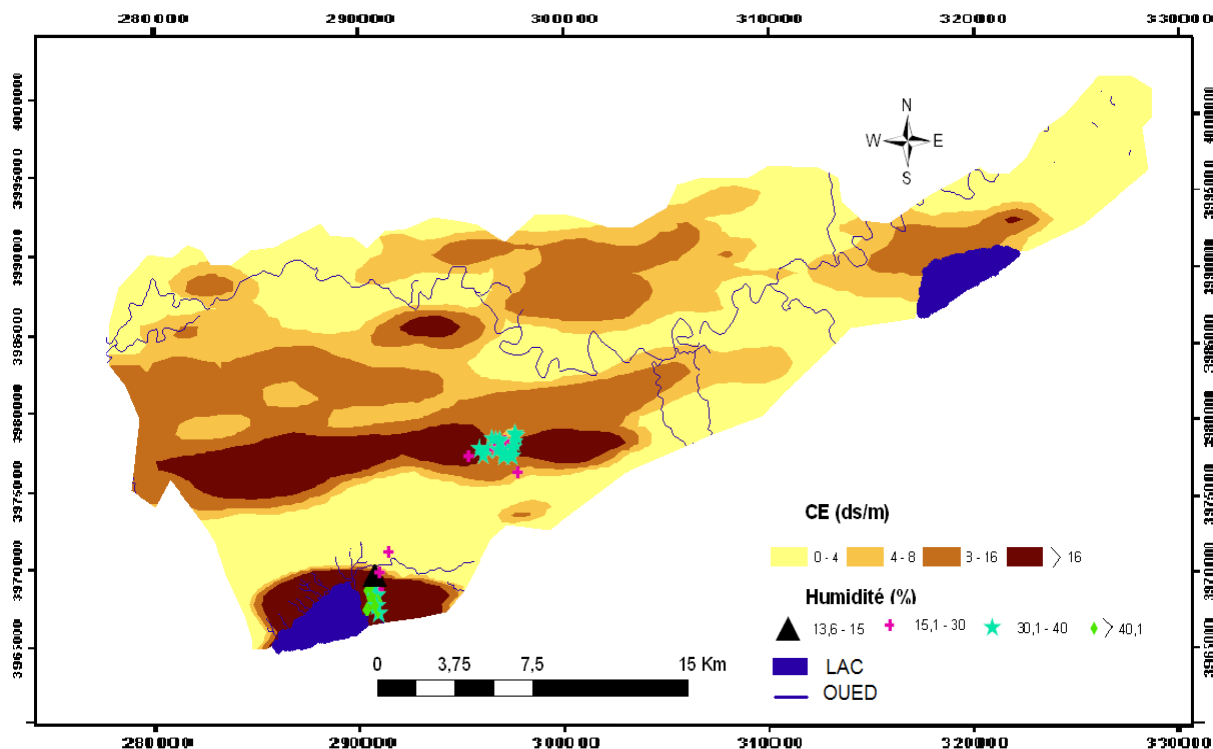
**Figure 68 : Carte de la salinité de la plaine du bas Chélif estimée par KO**

On observe que les superficies ont légèrement changé de la première carte à la deuxième, telle que la classe (> 16 ds/m) qui a diminué de 5997 ha à 5911 ha ainsi que pour la première classe (< 8 ds/m) qui avait diminué aussi de 36026 ha jusqu' à 35771 ha. Sauf pour la classe médiane qui a montré un comportement contraire et une superficie croissante, en fait cette classe a été récompensée par les deux classes qui ont été citées auparavant. Ce petit changement dans les superficies peut être expliqué par les données climatiques de la période.



**Figure 69 : Carte de la CE avec symbolisation de l humidité volumique du 09 décembre 2009 au périmètre de HMADNA**

On remarque dans les cartes (figure 69 et 70), sur le périmètre de HMADNA, la ou l'humidité volumique a été symbolisée qu'il y a une augmentation aussi de la première période a la deuxième. Quatre classes d'humidité volumique ont été créés, (0 a 15%), (15 a 30%), (30 a 40 %) et (> 40 %).



**Figure 70 : carte de la CE avec symbolisation de l'humidité volumique du 18 décembre 2009 au périmètre de HMADNA.**

On remarque sur la région de la HMADNA qu'il y avait une dominance de la deuxième classe (15 a 30%) dans la journée du 09/12/2009 et cela avec plusieurs points qui couvrent la région. contrairement a la journée du 18/12/2009, cette même région a connu cette fois ci une dominance de la troisième classe (30 a 40%). et cela après des précipitations dans la régions dans cette période d'où vient l'interprétation du changement de superficies de classes de CE qui a été cité auparavant ( sels dissouts).

# CONCLUSION

## **Conclusion :**

Le but de cette étude était d'étudier la possibilité d'estimer une relation entre le signal radar et des paramètres physicochimique du sol tels que l'humidité, la salinité et la rugosité du sol et cela suite à l'utilisation du capteur radar ASAR. Ce dernier a montré ses preuves et cela après une mission qui a duré plus de 10 ans et qui a abouti a plusieurs travaux scientifiques.

La sebkha reste une dépression avec des valeurs extrêmes que ce soit pour la conductivité électrique (accumulation des sels) ou pour l'humidité du sol.

Le radar a prouvé sa fiabilité par sa réponse avec la conductivité électrique du sol. De très bonnes corrélations ont été marquées entre le coefficient de rétrodiffusion et les valeurs de la CE. A partir des résultats obtenus, on a pu montrer la contribution significative de la salinité des sols à  $\sigma_0$  de l'image RSO et aussi on a montré la très bonne relation entre le signal rétrodiffusé et la salinité et cela dans différentes dimensions et différentes polarisations. Même s'il existe très peu de travaux dans ce domaine, ce résultat rejoint ceux de Ziad et al (2007) et Lasne (2007). On a trouvé que  $\sigma_0$  augmente en croissance de la CE.

Les petites améliorations obtenues dans les résultats issus des parcelles de 100m/100m par rapport a celle du 50m/50m peut être expliquée par le maximum d'informations retenues à partir de la sélection des AOI homogènes qui représentent dans la réalité les dimensions moyennes des parcelles du bas Chélif.

Le signal radar était plus sensible à la salinité du sol aussi bien pour les grands angles d'incidence que pour les faibles et cela pour les deux polarisations existantes dans notre travail (HH et VV).

Concernant l'humidité, les résultats montrent que plus l'humidité est importante, plus la rétrodiffusion est forte. Cela s'explique par la polarisabilité des molécules d'eau et de leur capacité à s'orienter en fonction du champ électromagnétique, ce qui indique que la réflexion du signal augmente avec l'humidité du sol. Ce résultat est en conformité avec les travaux effectués par Ulaby. F, 1986, Dobson. M. C, 1986 et Lasne.Y, 2007.

Cette fois ci aussi, la dimension 100m a montré des résultats remarquables par rapport à d'autres.



Les deux polarisations ont donné de bons résultats en termes de relation entre le signal rétrodiffusé et les paramètres (humidité et salinité des couches de surface du sol) tout en soulignant toujours une amélioration remarquable sur la polarisation (HH) par rapport à (VV).

Le potentiel de la bande C pour la caractérisation de la rugosité de surface des sols a été analysé. Les trois méthodes de calcul de la rugosité ont été validées suite aux bonnes corrélations signées entre elles.

La polarisation vertical vertical s'est présentée avec une barre élevée en termes de valeurs de  $\sigma_0$  par rapport à la polarisation horizontal horizontal et cela sur l'ensemble des sites.

Les résultats obtenus à partir des deux premières méthodes de calcul du RMS sont meilleurs par rapport à ceux qui sont issus de la méthode inspirée de la méthode de la chaînette (L/L initial).

La description de la rugosité de surface des sols est basée sur trois paramètres que sont l'écart type des hauteurs (*rms*), la longueur de corrélation (L) et la fonction d'autocorrélation. Le signal radar a prouvé sa sensibilité à ses derniers avec des corrélations significatives.

La polarisation (horizontal horizontal) reste meilleure en termes de fiabilité et de réponse du signal radar avec la rugosité de surface des sols.

Il existe toujours une interaction entre les caractéristiques physicochimiques du sol (humidité, salinité et rugosité du sol) car on a trouvé sur le cas étudié pour des sols nus, le signal radar est influencé par l'humidité et aussi par l'angle d'incidence qui est lié directement à l'image concernée et cela pour la polarisation (HH) ainsi que pour la (VV).

La géostatistique et le krigeage ordinaire ont montré encore une fois leur fiabilité pour l'estimation et la cartographie des phénomènes naturels.

Enfin et comme perspective, il est envisagé de faire une modélisation sur l'application de la télédétection radar sur des paramètres physicochimiques du sol telle que la rugosité tout en prenant compte des caractéristiques du capteur (longueur d'onde, angle d'incidence, polarisation.) et du terrain (écart type des hauteurs, longueur de corrélation...) et montrer, ainsi, les interactions existantes entre les caractéristiques du milieu.

## Références bibliographiques

### « B »

- Baghdadi, N., Bonnifait, L., King, C., & Bourguignon, A., 2003**, utilisation des images SAR pour la calibration empirique du modèle IEM dans un contexte de sols nus en zones agricoles, *Revue de télédétection*;3(1):1-16.
- Benzineh S., 2002**, prise en main d'un logiciel de traitement d'image spatiales ; séminaire de formation et formulation sur les outils et méthodes géomatiques pour le développement de l'agriculture et la gestion des ressources naturelles (Alger).
- Bishop T.F.A., McBratney A.B., 2001**. A comparison of prediction methods for the creation of field-excent soil property maps. *Geoderma* 103, 149-160.
- Bonn F., Rochon G., 1992**. Précis de télédétection. vol.1 : principes et méthodes. Presses de l'université du Québec/AUPELF, 485 p.
- Boulaine J., 1956**. Carte des sols des plaines du Cheliff au 1/50.000<sup>e</sup>, feuilles 1 à 5. Inspection générale de l'agriculture du gouvernement général de l'Algérie.
- Boulaine J., 1957**. Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'état de l'université d'Alger. 582 p.

### « C »

- Carré F., 2002**. Cartogénèse des sols et changement d'échelle. Application dans la région de la rochelle sur une base de données pédologiques de plusieurs milliers d'observations. Thèse doct. INAPG, 399p.
- Casenave A., Valentin C., 1989**. Les états de surface de la zone sahélienne-influence sur l'infiltration. ed. ORSTOM. PARIS / 229P.
- CCT, 1999**. Cours de télédétection du centre canadien de télédétection (CCT). Le site consulté : <http://www.ess.nrcan.gc.ca>
- Corbane, C, 2006**. Reconnaissance des états de surface en milieu cultivé méditerranéen par télédétection optique à très haute résolution spatiale. Thèse de doctorat, université Montpellier II, Sciences : terre, eau, espace. Montpellier, 264p.
- C.S.F.D, 2002**. La télédétection : un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification. Document n° 02, du comité scientifique français de la désertification ; 48p.

« *D* »

**Dahmani M., 1997.** Le chêne vert en Algérie : syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse doct. Es. Sci. Univ. USTHB. Alger.383p.

**Deshayes M., Maurel P., 1990.** L'image spatiale et son contenu. CIHEAM-Options méditerranéennes, Ser. A, 4- la télédétection en agriculture,

**Douaoui, A.E.K., Nicolas, H. & Walter, C. 2006:** Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *Geoderma*, 134(1-2),217-230.

**Douaoui A., 2005 :** Variabilité spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse de doctorat d'État, INA Alger, 233 p.

« *G* »

**Gherina S.A., Douaoui A., Hartani T., Vincent B. 2008:** Application de la télédétection dans la connaissance de la salinité des sols de la plaine du Bas-Chélif. Colloque international, SIRMA, Mostaganem, Algérie, 26-28.

**Girard, M., 2004 :** Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris.

« *M* »

**Metternicht, G.I. & Zinck, J.A., 2003:** Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85(1), 1-20.

« *S* »

**SZABLOCs, 1989 TABET 1999 / GIRARD et al., 2005, Anne laure Gognard, 1996:** suivi de l'état hydrique des sols par télédétection spatiale ( radar thermographique infrarouge).

« *R* »

**Robert, 1996., Condom, 2000., Vasquez et al., 2002., Noha holah, 2005:** Potentiel des nouveaux capteurs radar multi-polarisations et polarimétrique pour la caractérisation.