

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSTITUT NATIONAL D'AGRONOMIE  
- ALGER -

# THÈSE



Pour obtenir  
LE GRADE MAGISTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES  
SPÉCIALITÉ: SCIENCES DU SOL

Présentée par:

**HADDOUCHE Driss**

**CARTOGRAPHIE PÉDOPAYSAGIQUE DE  
SYNTHÈSE PAR TÉLÉDÉTECTION « IMAGES  
LANDSAT TM ».  
Cas de la région de GHASSOUL (EL-BAYADH)**

Soutenue devant la commission d'examen composée par:

M. AIDAOUI A.	Maître de conférences (I.N.A.)	Président
M. GAOUAR A.	Maître de conférences (C.R.S.T.R.A.)	Examinateur
M. DAOUD Y.	Maître de conférences (I.N.A.)	Examinateur
M. DJILI K.	Chargé de cours (I.N.A.)	Rapporteur
M. BENHAMOUDA F.	Chargé de recherche (C.N.T.S.)	Co-rapporteur

Année universitaire 1997-1998



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSTITUT NATIONAL D'AGRONOMIE  
- ALGER -



## THÈSE

Pour obtenir  
LE GRADE MAGISTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

SPÉCIALITÉ: SCIENCES DU SOL

Présentée par:

**HADDOUCHE Driss**

**CARTOGRAPHIE PÉDOPAYSAGIQUE DE  
SYNTHÈSE PAR TÉLÉDÉTECTION « IMAGES  
LANDSAT TM ».**

**Cas de la région de GHASSOUL (EL-BAYADH)**

Soutenue devant la commission d'examen composée par:

M. AIDAOUÏ A.	Maître de conférences (I.N.A.)	Président
M. GAOUAR A.	Maître de conférences (C.R.S.T.R.A.)	Examinateur
M. DAOÛD Y.	Maître de conférences (I.N.A.)	Examinateur
M. DJILI K.	Chargé de cours (I.N.A.)	Rapporteur
M. BENHAMOUDA F.	Chargé de recherche (C.N.T.S.)	Co-rapporteur

Année universitaire 1997-1998



## ABSTRACT

### **SYNTHESIS LANDSCAPE PEDOLOGICAL CARTOGRAPHY USING REMOTE SENSING « LANDSAT TM IMAGES ». Case of the region of Ghassoul (El-Bayadh).**

The Algerian steppe has become a focus of many multidisciplinary studies for its agro-sylvo-pastoral restoration.

Because of the possibility, by the synthetic vision of the landscape, that the satellite image allows to reduce the necessary land data (necessary for an inventory cartographic study), we found it very useful to begin with a landscape pedological cartographic approach using remote sensing, as a support for a representative region of the steppe, called GHASSOUL (County of El-Bayadh).

For the inventory cartography (1/100.000<sup>ème</sup>) of our study region, we used digital multispectral TM data of Landsat 5, images 197/37, as 11 - 04 - 1988. A coloured composition was defined for our cartographic application after different processings made on these data. The channels are: TM 7, TM 4 and TM 2.

The results obtained are very promising. The landsat TM image used, allowed us, in a first step, to reduce time in the realization of the landscape pedological by image photointerpretation. Other voice, the supervised classification of satellite image, by the maximum probability method allowed us to make a global analysis on the spatial distribution of the landscape pedological units and to estimate the ratio of confusion between certain classes.

**Keywords :** Cartography - Photo-interpretation - Inventory scale - landscape pedology - satellite Image - Landsat TM - Classification - Steppe.

---

## RESUME

La steppe algérienne est devenue l'objet de très nombreuses études pluridisciplinaires en vue de son aménagement agro-sylvo-pastorale.

Comme il est possible par la vision synthétique du paysage que l'image satellitale permet de réduire l'ampleur des relevées au sol nécessaires dans une étude à moyenne échelle (cartographie d'inventaire), nous avons jugé utile d'entamer une démarche cartographique à l'aide de l'outil **télé-détection** par satellite, comme support pour une région représentative de la steppe, nommée GHASSOUL (Wilaya d'El Bayadh).

La démarche de cartographie d'inventaire (1/100.000<sup>ème</sup>) des sols de cette région a été basée sur des critères inhérents à l'image satellitale (localisation géographique; ton de grisé; forme géométrique) et ceux de l'environnement (topographie; végétation; lithologie; données climatiques; couleur; présence ou absence du calcaire; profondeur; etc.).

Pour cela, nous avons utilisé les données numériques multispectrales Thematic Mapper (TM) de Landsat 5, scène 197/37 du 11-04-1988. Une composition colorée (TM 7, TM 4, TM 2) a été retenue pour notre application de cartographie après les différents traitements effectués sur ces données.

Les résultats obtenus sont déterminants. L'image Landsat TM exploitée nous a permis dans un premier temps, de gagner un temps énorme dans la réalisation de la carte pédopaysagique par photo-interprétation. Par ailleurs, la classification supervisée de l'image satellitale, suivant la méthode de maximum de vraisemblance, nous a permis de faire une analyse globale sur la distribution spatiale des unités pédopaysagiques et d'estimer le taux de confusion entre certaines classes.

**Mots clés:** Cartographie - Photo-interprétation - Pédopaysage - Echelle d'inventaire - Image satellitale - Landsat TM - Classification -- Steppe.

---



Au terme de ce travail, je voudrais remercier Monsieur **DJILI K.**, Chargé de cours à l'École Nationale Supérieure d'Agronomie, pour avoir accepté la direction et l'orientation des travaux de cette thèse. Ses remarques, à la fois rigoureuses et objectives, ont permis l'amélioration du contenu de ce manuscrit.

Je remercie Monsieur **BENHAMOUDA F.**, Chargé de recherches au Centre National des Techniques Spatiales, pour avoir accepté de mener et de guider mes travaux de recherche. Je tiens à dire que j'ai beaucoup bénéficié de son expérience notamment dans le domaine de la télédétection. Je lui dois beaucoup pour la conception et l'organisation de ce travail.

Je tiens, ensuite, à remercier les membres du Jury qui ont accepté d'évaluer ce travail, Messieurs, **AIDAOUI A.**, Maître de conférence (E.N.S.A.), président du Jury, **GAOUAR A.**, Maître de conférence et Directeur du CRSTRA (Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides) et **DAOUD Y.**, Maître de conférence (E.N.S.A.), examinateurs.

Mes remerciements vont également à Monsieur, **OUSSEDIK A.**, Directeur du C.N.T.S., d'avoir accepté l'achèvement de cette thèse au niveau du Laboratoire de Télédétection.

Je dois beaucoup de reconnaissance à Monsieur, **BEKHTI M.**, Chargé de recherche et chef du Laboratoire d'Instrumentation (C.N.T.S.), à Monsieur, **MISSOUMI A.**, Attaché de recherche (Laboratoire de Géomatique, C.N.T.S.), pour leur aide et à Monsieur, **IFTENET.**, Chargé de recherche et chef du Laboratoire de Télédétection, pour le soutien moral et sa compréhension qui m'a accordé.

Mes remerciements les plus sincères vont à mes collègues du Laboratoire, en particulier, Messieurs, **MESBAH C.**, **MOSTEFAOUI T.**, **SMAHI Z.**, **HAMIMED A.**, et **YOUSFI D.**, pour leur soutien et leur aide, qu'ils trouvent ici ma sympathie.



# SOMMAIRE

---



AVANT-PROPOS  
 RESUME  
 LISTES DES FIGURES ET DES TABLEAUX  
 INTRODUCTION..... 1

**PARTIE A: ETAT DE L'ART DANS LE DOMAINE DES SCIENCES  
 DES SOLS. Synthèse bibliographique**

**CHPITRE I. PRESENTATION DE L'OUTIL TELEDETECTION ..... 4**

I.1 DEFINITIONS ..... 4  
 I.2 OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION..... 4  
 I.3 TECHNIQUES DE LA TELEDETECTION..... 5  
 I.4 BASES PHYSIQUES ET TECHNOLOGIQUES ..... 5  
     *I.4.1 le rayonnement électromagnétique..... 5*  
     *I.4.2 Sources d'énergie électromagnétique..... 8*  
     *I.4.3 notion de réflectance ..... 8*  
 I.5 METHODES DE TRAITEMENT D'IMAGE ..... 10  
     *I.5.1 l'image numérique de la télédétection..... 10*  
     *I.5.2 Signification thématique des canaux..... 11*  
     *I.5.3 Traitement des données..... 12*

**CHAPITRE II . LA TELEDETECTION APPLIQUEE AUX SOLS..... 19**

II.1 APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE..... 19  
 II.2 CARACTÉRISATION DE LA SURFACE DES SOLS PAR TÉLÉDÉTECTION..... 20  
     *II.2.1 propriétés spectrales des surfaces naturelles ..... 21*  
     *II.2.2 Relation de quelques paramètres du sol avec la réflectance..... 24*  
 II.3 AVANTAGES ET LIMITES D'UTILISATION DE LA TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE..... 28  
 II.4 CONCLUSION ..... 29



## PARTIE B: APPROCHES METHODOLOGIQUES

<b>CHAPITRE I. LES DONNEES SATELLITAIRES .....</b>	<b>31</b>
I.1 L'ANALYSE VISUELLE .....	31
I.2 TRAITEMENTS NUMERIQUES .....	32
<i>I.2.1 préparation des données.....</i>	<i>32</i>
<i>I.2.2 choix de l'image .....</i>	<i>33</i>
<b>CHPITRE II. LA CARTOGRAPHIE PEDOPAYSAGIQUE PAR TELEDETECTION.....</b>	<b>35</b>
II.1 CARTOGRAPHIE PAR PHOTO-INTERPRÉTATION .....	35
II.2 CLASSIFICATION AUTOMATIQUE DES SOLS PAR TÉLÉDÉTECTION .....	37
<i>II.2.1 Introduction .....</i>	<i>37</i>
<i>II.2.2 Choix de la classification.....</i>	<i>38</i>
<i>II.2.3 Différentes étapes de la classification .....</i>	<i>39</i>
II.3 CONCLUSION .....	39

## PARTIE C: APPLICATION

<b>CHAPITRE I. CADRE DE L'ETUDE .....</b>	<b>41</b>
I.1 CONTEXTE REGIONAL .....	41
<i>I.1.1 Introduction .....</i>	<i>41</i>
<i>I.1.2 Situation générale de la zone d'étude .....</i>	<i>43</i>
<i>I.1.3 Etude géologique.....</i>	<i>45</i>
<i>I.1.4 La géomorphologie .....</i>	<i>46</i>
<i>I.1.5 Le climat.....</i>	<i>47</i>
<i>I.1.6 La couverture végétale .....</i>	<i>51</i>
<i>I.1.7 La couverture pédologique.....</i>	<i>52</i>
I.2 LES FACTEURS DE DIFFERENTIATION DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE .....	53
<i>I.2.1 Les caractères généraux des sols de la région .....</i>	<i>54</i>
<i>I.2.2 Les pédopaysages .....</i>	<i>55</i>



<b>CHAPITRE II. CARTOGRAPHIE PEDOPAYSAGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE</b> .....	56
II.1 APPROCHE PAR PHOTO-INTERPRÉTATION.....	58
<i>II.1.1 Partie thématique</i> .....	58
<i>II.1.2 Conclusion</i> .....	62
II.2 APPROCHE SUPERVISÉE BASÉE SUR LES DONNÉES DE LA CARTE PÉDOPAYSAGIQUE.....	62
<i>II.2.1 Classification multispectrale</i> .....	63
II.3 CONCLUSION.....	64
<b>CHAPITRE III. EXPLOITATION ET ANALYSE DES RESULTATS</b> .....	66
III.1 RÉSULTATS.....	66
<i>III.1.1 Carte des pentes</i> .....	66
<i>III.1.2 Carte lithologique</i> .....	69
<i>III.1.3 Carte d'occupation du sol</i> .....	71
<i>III.1.4 Carte pédopaysagique par photo-interprétation</i> .....	74
<i>III.1.5 Carte pédopaysagique par classification automatique</i> .....	81
<i>III.1.6 Conclusion</i> .....	97
III.2 ANALYSE ET COMMENTAIRES.....	98
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	101
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	104
<b>ANNEXES</b> .....	114



**LISTE DES FIGURES:**

FIGURE A.I-1 : SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE .....	7
FIGURE A.I-2 : REPRESENTATION DE L'IMAGE.....	10
FIGURE A.II-1: COMPARAISON DES REFLECTANCES DE VEGETAUX, D'UN SOL ET DE L'EAU.....	23
FIGURE A.II-2: VARIATION DE LA REFLECTANCE AVEC LA COULEUR.....	26
FIGURE A.II-3: VARIATION DE LA REFLECTANCE AVEC LE TAUX DE MATIERE ORGANIQUE.....	27
FIGURE A.II-4: VARIATION DE LA REFLECTANCE AVEC LE TAUX DE CALCAIRE.....	27
FIGURE A.II-5: EFFET DE LA RUGOSITE ET DE L'HUMIDITE SUR LA REFLECTANCE DE SURFACE DU SOL.....	28
FIGURE B.I-1 : ORGANIGRAMME METHODOLOGIQUE DES TRAITEMENTS DES DONNEES SATELLITAIRES.....	34
FIGURE B.II-1: PRINCIPE D'INTERPRETATION DES SOLS .....	36
FIGURE B.II-2 : ORGANIGRAMME METHODOLOGIQUE DE LA CLASSIFICATION .....	39
FIGURE C.I-1 : LOCALISATION DE LA STEPPE.....	42
FIGURE C.I-2 : LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE DANS LE CONTEXTE.....	43
FIGURE C.I-3 : SITUATION ADMINISTRATIVE DE LA ZONE D'ETUDE. ....	44
FIGURE C.I-4 : VARIATIONS INTER-ANNUELLES DES PRECIPITATIONS A EL BAYADH .....	49
FIGURE C.I-5 : DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE EL BAYADH. ....	50
FIGURE C.II-1 : ORGANIGRAMME GÉNÉRAL DES DEUX APPROCHES DE CARTOGRAPHIE .....	57
FIGURE C.II-2 :ORGANIGRAMME MÉTHODOLOGIQUE DE L'APPROCHE PHOTO- INTERPRÉTATIVE. ....	61
FIGURE C.II-3 : ORGANIGRAMME DE L'APPROCHE A PRIORI DE LA CLASSIFICATION .....	63
FIGURE C.III-1 : CARTE HYSOMETRIQUE DE LA REGION DE GHASSOUL.....	67
FIGURE C.III-2 : CARTE DES PENTES DE LA REGION DE GHASSOUL.....	68
FIGURE C.III-3 : CARTE LITHOLOGIQUE DE LA REGION DE GHASSOUL.....	70
FIGURE C.III-4 : TRICHROMIE RVB TM 4, 3 & 1 DE LA REGION DE GHASSOUL.....	72
FIGURE C.III-5 : CARTE D'OCCUPATION DU SOL DE LA REGION DE GHASSOUL.....	73
FIGURE C.III-6 : CARTE PEDOPAYSAGIQUE DE LA REGION DE GHASSOUL.....	75



## LISTES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

---

FIGURE C.III-7 : VUE EN PERSPECTIVE DE LA CARTE PEDOPAYSAGIQUE « DRAPEE AU MODÈLE NUMERIQUE DE TERRAIN » DE LA REGION DE GHASSOUL.....	77
FIGURE C.III-8 : POSITIONNEMENT DES ECHANTILLONS SUR L'IMAGE .....	82
FIGURE C.III-9 : GRAPHE DES COURBES SPECTRALES DES ECHANTILLONS.....	84
FIGURE C.III-10 : IMGE CLASSIFIEE DE LA REGION DE GHASSOUL.....	85
FIGURE C.III-11 : DISTRIBUTION FREQUENTIELLE DES DIFFERENTS THEMES CLASSES.....	96

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU C.III-1 : RESULTATS D'INTERPRETATION PEDOPAYSAGIQUE DE LA REGION DE GHASSOUL .....	80
TABLEAU C.III-2 : MATRICE DE CONFUSION.....	87
TABLEAU C.III-3 : MATRICE DE CONFUSION EN NOMBRE DE PIXELS.....	88
TABLEAU C.III-4 : MATRICE DE CONFUSION EN POURCENTGAGE.....	89
TABLEAU C.III-5 : RESULTATS DES INDICES DE CLASSIFICATION.....	92



## INTRODUCTION

---



Un grand nombre de problèmes se posent quand on envisage l'aménagement d'une région. Il est bien évident que, entre autres éléments du milieu, la connaissance de la répartition géographique des sols est indispensable, tant au niveau de la parcelle qu'au niveau paysagique. A ce niveau, des études récentes (GIRARD M-C., 1975 et 1977; NAERT et al, 1987; ESCADAFAL, 1989; KING et al, 1994; ESCADAFAL et al, 1995) montrent qu'une information de synthèse représentée par le concept de cartographie pédopaysagique ou descendante est suffisante dans un premier temps, pour connaître les grandes classes de sols. Elle sera introduite dans un deuxième temps, dans un système d'informations géographiques (S.I.G.) afin d'orienter les terres vers un aménagement adéquat, alors on peut passer à l'échelle de la parcelle.

La notion de paysage pédologique ou « pédopaysage » (GIRARD M-C., 1983; JAMAGNE et al, 1993 et KING et al, 1994) prend de plus en plus d'importance dans les conceptions de l'analyse spatiale en pédologie. La représentation par pédopaysages doit faire apparaître les « petites régions naturelles » qui doivent prendre en compte les éléments majeurs du paysage, en privilégiant les données pédologiques qui d'importantes conséquences agronomiques (BORNAND et al, 1989; ARROUAYS et al, 1989 cité in JAMAGNE et al, 1993).

Depuis quelques années, la steppe algérienne est devenue l'objet de très nombreuses études pluridisciplinaires en vue de son aménagement. L'image satellite, à partir d'une vision synthétique du paysage, permet de réduire l'ampleur des relevés au sol nécessaires à une étude à moyenne échelle (cartographie d'inventaire). Compte tenu de cet avantage, nous avons jugé utile d'entamer une démarche cartographique à l'aide de l'outil TELEDETECTION par satellite comme support d'application à une région steppique.



Ainsi, ce travail se fixe comme objectif principal la mise en œuvre d'une étude méthodologique en vue de la cartographie « pédopaysagique » basée sur les techniques de la télédétection. Cette dernière, grâce aux aspects synoptiques et diachroniques qu'elle offre, a été utilisée pour la réalisation de la carte pédopaysagique. Celle-ci a été réalisée à partir de traitements effectués sur des images TM de Landsat 5. Elle a permis de dresser un inventaire sur les grandes unités de sols existantes. Elle nécessite des exigences devant faire ressortir un document systématique capable de traduire un répertoire de toutes les unités « pédopaysagiques » compatibles avec l'échelle de la carte (1/100.000<sup>ème</sup>), afin de servir de référence à d'éventuelles interprétations thématiques.

La démarche cartographique retenue est basée sur deux types de critères:

➡ les critères inhérents à l'image satellitale: localisation géographique; tons de gris; formes géométriques.

➡ les critères de l'environnement du sol: topographie, végétation, lithologie, données climatiques, couleur, profondeur, présence ou absence de calcaire, etc.

Ces critères permettent la reconnaissance des unités « pédopaysagiques », leurs délimitations et la facilité de leur représentation.

Ce travail s'articule autour de trois parties.

La première partie est divisée en deux chapitres:

- le premier illustre un aperçu bibliographique sur l'outil télédétection;
- le deuxième s'intéressera principalement à l'application de cet outil à la reconnaissance des sols.

La deuxième partie est divisée, également, en deux chapitres.

- le premier est inhérent à la méthodologie adoptée pour les traitements et le choix de l'image;



- le second aborde l'approche méthodologique pour la cartographie pédopaysagique.

La dernière partie est consacrée à l'application de l'imagerie satellitaire à la cartographie des pédopaysages. Elle se divise en trois chapitres :

- le premier définit le cadre de l'étude (présentation de la région d'étude et du milieu physique) ;
- le deuxième aborde les deux approches de cartographie pédopaysagique retenues;
- le dernier est consacré à l'évaluation des résultats obtenus et de leur analyse. Nous tenterons de montrer les avantages que procure l'utilisation de la télédétection satellitaire pour la cartographie pédopaysagique, ainsi que ses limites.



**PARTIE A: ETAT DE L'ART DANS LE DOMAINE  
DES SCIENCES DU SOL - *synthèse bibliographique* -**

---

**CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'OUTIL DE TELEDETECTION**

**CHAPITRE II : LA TELEDETECTION APPLIQUEE AUX SOLS**



## CHAPITRE I. PRESENTATION DE L'OUTIL TELEDETECTION

### I.1 Définitions

On peut donner plusieurs définitions de la télédétection :

- La télédétection est définie comme "l'ensemble des techniques mises en oeuvre à partir d'avions, de ballons ou de satellites qui ont pour but d'étudier soit la surface de la terre ou d'autres planètes, soit l'atmosphère en utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques émises, réfléchies ou diffractées par les différents corps observés" (SCANVIC J-Y, 1983).
- La télédétection est un moyen d'appréhender les objets et d'étudier leurs propriétés spectrales. Cela se fait en étudiant les caractéristiques des ondes électromagnétiques réfléchies ou émises par ces objets. Elle est basée sur le principe que chaque objet absorbe, émet, diffuse et réfléchit des rayonnements qui lui sont propres et que l'on peut enregistrer et analyser (DESHAYES M. et al, 1990).

Mais pour le pédologue, qui la considère comme une technique, on peut la définir simplement de la façon suivante :

- La télédétection est un ensemble de moyens (vecteurs; capteurs; programmes de traitement; etc.) qui permet d'appréhender des éléments de la surface terrestre à distance (du mètre aux centaines de kilomètres) à l'aide de leurs diverses propriétés spectrales.

### I.2 Objectifs de la télédétection

La télédétection permet la production d'images ou de photographies qui, par l'interprétation des informations acquises, permettent des applications multiples et une meilleure gestion des ressources naturelles de notre planète:



- ➔ surveillance de l'environnement;
- ➔ agriculture;
- ➔ cartographie;
- ➔ aménagement.

### 1.3 Techniques de la télédétection

Les techniques de la télédétection se différencient les unes des autres et cela par le type de vecteur (avion ou satellite), le mode d'acquisition (analogique ou numérique), la résolution spatiale, la gamme spectrale utilisée et la surface observée.

Les techniques de la télédétection sont actuellement au nombre de quatre (4):

- la photographie aérienne ou spectrale;
- la télédétection multispectrale visible;
- la télédétection thermique;
- la radargraphie.

Elles se différencient par le type des capteurs utilisés (caméra, radiomètre, radar) et par le mode d'acquisition (actif ou passif).

### 1.4 Bases physiques et technologiques

#### 1.4.1 le rayonnement électromagnétique

La notion de spectre fait référence à la décomposition de la lumière blanche au moyen d'un prisme. Cette nomenclature a été étendue à toutes les ondes électromagnétiques, dont le visible n'est qu'une petite partie (figure A.I.1). Les différents types de rayonnement sont classés selon leurs longueurs d'onde et leurs fréquences.

Les principales zones employées dans les mesures de télédétection sont:

- Les ondes non-visibles :

- ✓ 0.35 - 0.40  $\mu\text{m}$  ( ultraviolet )

- ✓ 0.70 - 0.90  $\mu\text{m}$  (proche infrarouge )

- Les ondes visibles :

- ✓ 0.40 - 0.70  $\mu\text{m}$  ( visible ).

L'oeil humain ne peut voir que la synthèse des trois bandes suivantes :

- ✓ 0.40 - 0.50  $\mu\text{m}$  ( bleu );

- ✓ 0.50 - 0.60  $\mu\text{m}$  ( vert-jaune );

- ✓ 0.60 - 0.70  $\mu\text{m}$  ( rouge ).



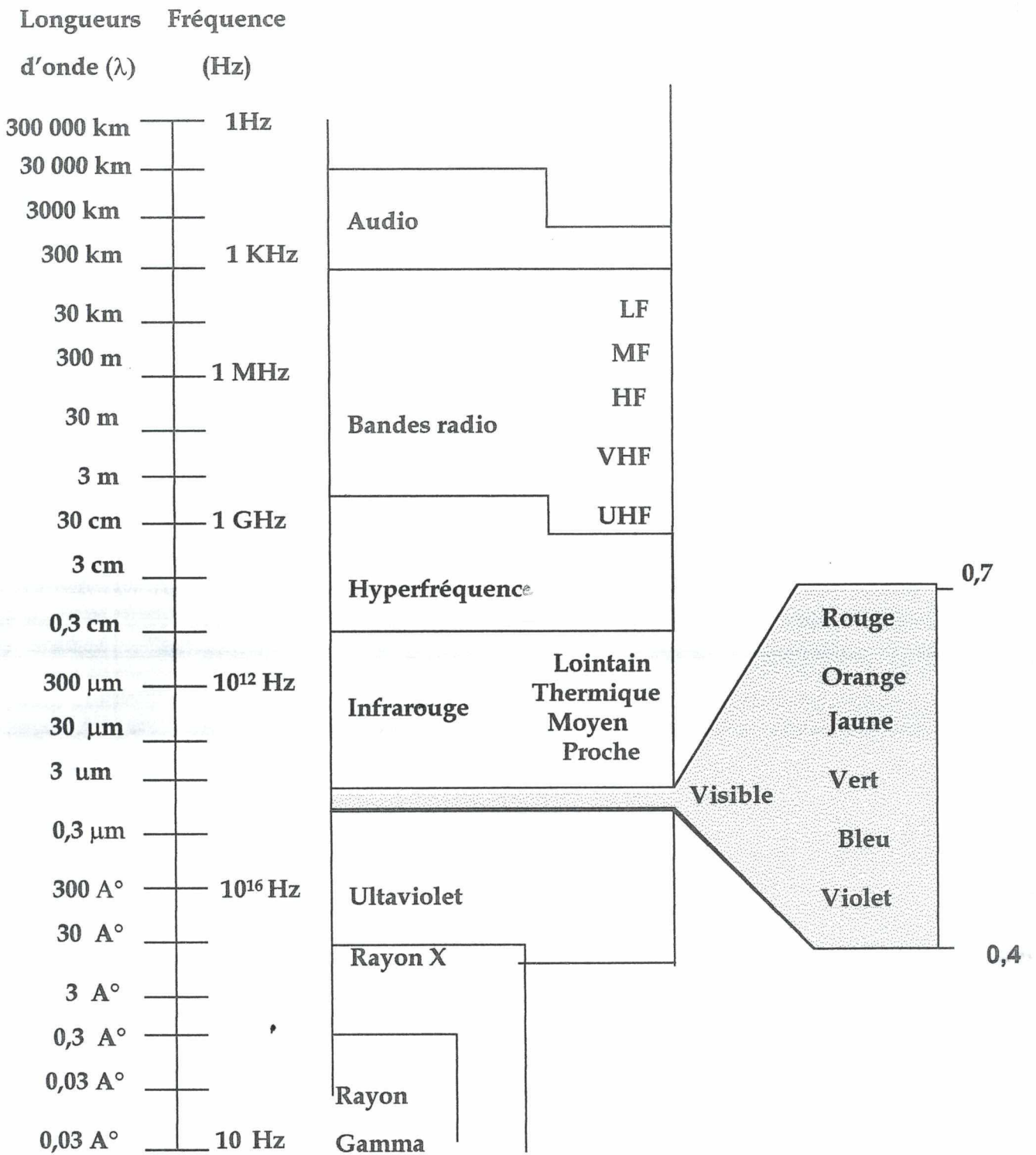


Figure A.I-1: Spectre électromagnétique (fenêtres de transmission de l'atmosphère utilisées par les satellites de télédétection). Source: BONN et ROCHON, 1993. in H. 58.

## I.4.2 Sources d'énergie électromagnétique

Les sources d'énergie utilisées en télédétection sont de deux types:

- sources naturelles: corps noir, soleil, terre;
- sources artificielles: radar et lasers .

### I.4.2.1 sources naturelles

Elles sont aussi appelées sources thermiques. Le corps noir est le radiateur parfait, car il émet toute l'énergie absorbée. Le rayonnement du soleil correspond à peu près à celui du corps noir . La terre représente aussi une source d'énergie qui émet essentiellement dans l'infrarouge lointain. Tous les objets se trouvant sur la surface de la terre émettent des radiations lorsque leur température est supérieure à  $-273^{\circ}\text{C}$ .

### I.4.2.2 les sources artificielles

Elles sont constituées par différents appareils tels que les lasers et les radars .

## I.4.3 notion de réflectance

### I.4.3.1 la définition de la réflectance

« C'est le rapport entre l'énergie réfléchiée par un corps et l'énergie incidente. Les données recueillies sur les images, et pouvant être quantifiées, représentent l'intensité relative des différentes longueurs d'ondes. Ces valeurs enregistrées simultanément représentent " la signature spectrale des objets."« (GIRARD M-C et GIRARD C-M., 1977). Cette énergie ou signature spectrale est donc propre à chaque objet et rend sa discrimination possible (STONNER et BAUGARDNER, 1981).

La réflectance des sols résulte directement de leur composition et de leur couleurs. Elle varie suivant les diverses combinaisons entre les principaux paramètres de surface tels que: la matière organique, le fer et le calcaire; elle varie aussi en fonction



de l'humidité (MERZOUK A., 1992). Les sensations de couleur résultent des valeurs de la réflectance dans le visible (GIRARD M-C. et GIRARD C-M., 1989).

La réflectance se mesure au moyen de spectroradiomètres. On peut alors tracer des courbes donnant la réflectance en fonction de la longueur d'onde. Selon leur nature, les objets auront des courbes de réflectance différentes. Cette propriété, dont la couleur est un aspect bien vulgarisé, est celle qui a conduit à concevoir des systèmes d'acquisition du rayonnement selon des canaux de longueur d'onde distincts. L'expérience montre que, dans les mêmes conditions géométriques d'incidence et d'observation, un objet a une luminance qui varie avec la longueur d'onde (SCANVIC, 1983).

#### *I.4.3.2 la compréhension du phénomène*

Pour un rayonnement quelconque qui arrive sur un objet on peut écrire la loi de conservation suivante :  $R+T+A=1$ .

Où : R: énergie Réfléchie;  
T: énergie Transmise;  
A: énergie Absorbée.

Seules les ondes réfléchies par les objets peuvent être enregistrées par un capteur. Ce sont elles qui sont intéressantes en télédétection. Par ailleurs, tous les objets émettent de l'énergie dans différentes longueurs d'onde. Elle peut être captée par des appareils de télédétection et analysée.

En définitif, les capteurs enregistrent l'énergie issue principalement d'un rayonnement incident, ou de l'émission d'ondes électromagnétiques par l'objet.



## I.5 Méthodes de traitement d'image

### I.5.1 l'image numérique de la télédétection

Toute représentation d'un objet ou d'une scène dans un plan est dite **image**.

Il y a trois formes physiques d'existence d'une image:

- ✓ forme binaire (trait);
- ✓ en niveaux de gris;
- ✓ En couleurs.

Une image numérique de télédétection est un document et une technique d'approche du milieu naturel ou d'analyse de la surface de la terre. Elle est sous forme d'une matrice géométrique à deux dimensions:

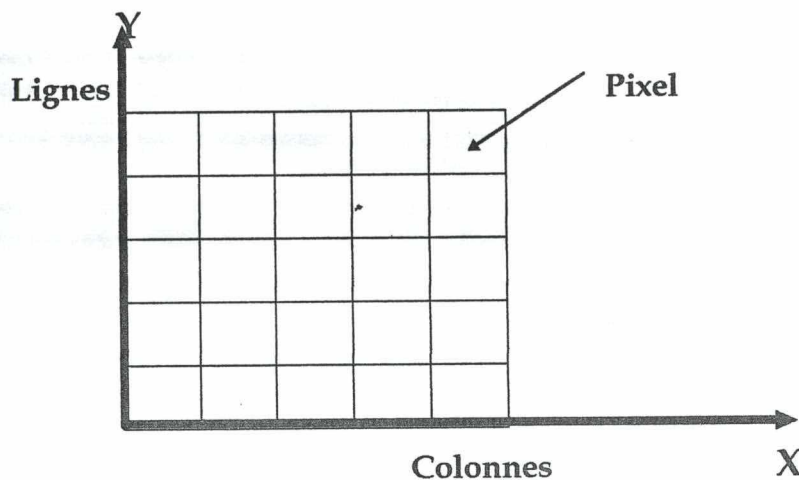


Figure A.I-2 : Représentation de l'image

Cette image est acquise, en générale, par un capteur électronique embarqué à bord d'un vecteur et captant l'énergie provenant de la surface terrestre. Cette dernière est reçue par le capteur puis transformée en signaux électriques par les détecteurs.



### I.5.2 Signification thématique des canaux

Chaque cible thématique est caractérisée par une signature spectrale. Elle ne réagit pas de la même façon dans les différents canaux .

« L'analyse des réflectances moyennes des différents thèmes individualisés dans chacun des canaux permet le choix des bandes spectrales appropriées pour la cartographie des sols » (ESCADAFAL, 1989).

#### I.5.2.1 *indice de brillance*

Il traduit les changements de limites de sols nus. Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les canaux. Cet axe communément appelé " droite des sols" permet de mettre en évidence, en plus de l'humidité du sol, sa rugosité et sa couleur (GIRARD M-C, 1977; BIALOUSZ, 1977; ARROUAYS, 1987; HINSE et al, 1989). L'indice de brillance trouve, au niveau du sol, toute sa justification dans la corrélation existant pour les sols entre les canaux rouge et infrarouge (KING, 1994). Il peut être comparé avec l'indice de végétation dans la même frange de bande .

#### I.5.2.2 *indice de végétation*

Il est une réduction de l'information de type radiométrique contenu dans le capteur. Les types d'indices sont souvent de bons indicateurs de la densité de la végétation mais doivent être manipulés avec prudence et après une étude attentive de leurs valeurs relativement à des données de terrain (DESHAYES et MAUREL, 1990).

Ces indices sont aisément construits par une simple combinaison linéaire de canaux qui ont pour but:

- la recherche de la corrélation entre l'indice de végétation et la densité du couvert végétal (détermination des indicateurs de développement à partir de la réponse spectrale des végétaux ).



- la prévision des récoltes à partir des indices de végétation.

### I.5.3 Traitement des données

Avant que les données numériques ne soient prêtes à l'interprétation, il faudrait tout d'abord qu'elles passent par une chaîne de traitement visant l'élimination des défauts contenus dans les données brutes et leur amélioration (BONN et ROCHON, 1993).

Cette chaîne de traitement comporte deux grandes étapes:

#### I.5.3.1 les prétraitements

##### I.5.3.1.1 les corrections radiométriques

Les données télédéctées à l'état brut comportent des défauts radiométriques, ponctuels ou en lignes, dus essentiellement au capteur embarqué à bord du satellite. « Une correction radiométrique vise l'élimination de ces défauts. Elle consiste en outre à un reformatage et à une élimination du lignage dans les images, notamment une calibration relative des canaux » (BARIOU, 1978).

##### I.5.3.1.2 les corrections géométriques

Les fenêtres comportent des distorsions géométriques dues à l'instrument d'enregistrement des données et à la courbure de l'écran sur lequel les images ont été photographiées. Les images vont être, par conséquent, rectifiées par extrapolation afin d'avoir l'image superposable à la carte topographique considérée comme référentiel (BARIOU, 1978).

#### I.5.3.2 les traitements d'améliorations

##### ⊖ l'équilibrage de la dynamique

Un détecteur a une sensibilité radiométrique égale à 256 niveaux de gris, l'information numérique répartie sur cette gamme est restituée sur un film de



sensibilité 16 fois plus moindre. Ceci engendre une perte considérable d'informations que nous cherchons à minimiser par un ajustement de la densité en la ramenant à un niveau plus compatible.

⊖ la composition colorée

L'information apportée par un seul canal ne permet pas toujours de donner un détail satisfaisant pouvant refléter de près ce qu'on espère ressortir à partir des données télédétectées. Pour ce faire, on a recours à la combinaison de trois (03) canaux en affectant à chacun l'une des trois couleurs fondamentales : **Bleu, Vert ou Rouge**; c'est à dire en associant les couleurs primaires dans l'ordre de classement correspondant à leur longueur d'onde à savoir: **Vert, Rouge, Proche infrarouge**.

LONGUEUR D'ONDE	COULEUR AFFECTEE
<b>Vert</b>	<b>Bleu</b>
<b>Rouge</b>	<b>Vert</b>
<b>Proche infrarouge</b>	<b>Rouge</b>

Le résultat final correspond à une image trichrome appelée **composition colorée** dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances dans ces trois couleurs de base.



### ↔ conversion RVB ↔ ITS

De la même façon qu'une couleur peut être parfaitement définie comme un mélange de quantités de rouge, vert, bleu (système RVB), elle peut aussi être définie par trois paramètres: Intensité, Teinte, Saturation.

#### ✓ Intensité

C'est le degré d'éclaircissement ou d'assombrissement d'une couleur. L'intensité I d'une couleur correspond à la quantité d'énergie réfléchiée par l'objet coloré.

#### ✓ Teinte

Elle représente la qualité spécifique de sensation, ou dominante de couleur due à une radiation de longueur d'onde déterminée.

EX: rouge, vert, bleu, jaune.

Remarque: noir, gris, blanc ne correspondent à aucune teinte.

#### ✓ Saturation

Elle est inversement proportionnelle à la fraction de radiation blanche qui affaiblit la coloration du rayonnement. Cette saturation représente la pureté de la couleur.

Les trois paramètres I, T, S constituent un triplet de propriétés nécessaires pour définir une couleur.

Le principe de ce traitement consiste à générer à partir des canaux bruts du système RVB, de nouveaux canaux dont la représentation des images est en intensité, teinte et saturation (I.T.S.).

Ce traitement est intéressant du fait qu'il permet d'obtenir une meilleure perception et différencie la géomorphologie de la végétation.

En général :

« I » varie de 0 à 1 ( exprimé généralement en pourcentage) de noir et blanc

« T » varie de 0 à 360 degrés en décrivant toutes les teintes.

« S » varie de 0 à 100% de pureté.

INTENSITE	Luminosité, énergie
TEINTE	Nature de la couleur
SATURATION	Force de la coloration

### I.5.3.3 les traitements d'optimisations

#### ⊖ Optimisation de la densité

Elle vise à mettre en évidence la géomorphologie en distinguant les détails non visibles à l'intérieur des zones trop sombres ou trop claires.

#### ⊖ Analyse en Composantes Principales (ACP)

Elle permet la décorrélation et la compression de l'information dans des composantes principales en éliminant les redondances. La première composante contient le maximum d'informations (géomorphologique et végétation), les autres contiennent une information complémentaire (sols de grande brillance).



Autrement dit, elle permet de réduire la dimension initiale du fichier de données, tout en conservant le maximum d'informations. L'A.C.P. est une méthode statistique essentiellement descriptive.

#### *1.5.3.4 les traitements spécifiques*

##### *1.5.3.4.1 filtrage*

Il consiste à isoler, grâce à des filtres différents, les objets qui présentent des signatures spectrales différentes pour les mettre en évidence.

➡ Filtrage de Sobel et Kirsh: il consiste à appliquer une matrice (3x3) dans le but de rehausser les différences de niveaux de gris suivant une ou plusieurs directions données.

➡ Rapport entre les bandes spectrales: à chaque objet correspond une réflectance propre dans une gamme de longueur d'onde donnée, et une autre valeur de réflectance dans une bande spectrale. Cette différence constitue la signature spectrale.

##### *1.5.3.4.2 rehaussement d'image*

Ce genre de traitement permet d'augmenter les transitions entre les différents objets thématiques (amélioration des contours et nuances de couleurs).

##### *1.5.3.4.3 classification multispectrale*

Elle consiste à attribuer un pixel ou un groupe de pixels à une classe donnée et de généraliser à l'ensemble de l'image en utilisant des méthodes automatiques de classification et ceci grâce à deux modes :

- Mode supervisé: il exploite toutes les connaissances préalables de l'utilisateur.
- Mode non supervisé : il consiste à utiliser le calcul informatique pour classer les données selon une logique automatisable.

En se référant à l'objectif fixé au préalable, le traitement spécifique est l'ensemble des méthodes qui visent la discrimination des différents thèmes relatifs à cet effet. Ces derniers sont repérés puis regroupés en classes selon leurs signatures spectrales, cependant, cette opération de classification ne permet pas toujours de tenir compte de la réalité.

Dans la pratique, il existe deux types de classification selon que l'on tienne ou non compte de la réalité terrain:

➔ **classification supervisée**

Elle consiste à regrouper les différents thèmes selon leurs signatures spectrales en injectant a priori au calculateur l'information réalité terrain suivant une méthode statistique déterminée. Enfin, l'opération d'attribution des pixels aux différentes classes est généralisée sur l'ensemble de l'image. Cette information est obtenue à partir d'un échantillonnage soigneusement fait sur terrain. A cet effet, les zones d'échantillonnage sont représentées sur une carte topographique.

➔ **classification non supervisée**

Cette classification ne fait pas intervenir dans son algorithme de traitement la « réalité terrain ».

Les pédologues optent pour la première classification, la méthode non supervisée nécessitant une connaissance très approfondie du terrain.

### **1.5.3.5 l'interprétation**

Suite aux différentes étapes de traitements effectuées sur les données numériques, on obtient une image améliorée prête à l'interprétation.



#### 1.5.3.5.1 la mosaïque

Pour une interprétation globale des images couvrant une zone d'étude, il est nécessaire de les regrouper en agrégat appelée « mosaïque ».

Cette opération s'effectue en deux étapes :

- ➡ obtention d'un meilleur rendu possible de l'image et ce en ayant un "raccord coloré optimal", lequel peut être obtenu en gardant le même seuillage des canaux pour l'ensemble de la mosaïque .
- ➡ correction géométrique: les fenêtres comportent des distorsions géométriques dues à l'instrument d'enregistrement des données et à la courbure de l'écran sur lequel les images ont été photographiées .

#### 1.5.3.5.2 l'interprétation proprement dite

L'interprétation des images satellites est basée sur le même principe adopté pour l'interprétation des photographies aériennes. Elle consiste en une analyse qui prend en considération les paramètres de texture, structure et forme .

- ➡ l'interprétation globale: une vue générale est faite sur l'ensemble de l'image permettant d'en extraire les grands traits, tels les différentes teintes existantes et leur répartition.
- ➡ l'interprétation définitive: elle consiste à délimiter des aires ayant la même teinte appelées « zones isophènes ». Ce découpage correspond à des thèmes que le thématicien est sensé dégager par analogie avec des documents caractérisant la même zone (cartes, documents, etc.). Toutefois, la légende définitive n'est établie qu'après vérification et confirmation sur terrain.

## CHAPITRE II. LA TELEDETECTION APPLIQUEE AUX SOLS

*Afin de coordonner les recherches et les applications de cette méthode de travail, l'objectif principal de notre recherche bibliographique est de montrer dans quelle mesure les images prises par satellite conviennent aux études pédologiques et géomorphologiques de synthèse .*

### II.1 Aperçu bibliographique

Une des questions le plus souvent posée est de savoir à quoi peut servir la télédétection pour la cartographie pédologique. Les techniques de télédétection, applicables à ce domaine, évoluent rapidement et les pédologues cherchent à les rendre plus exploitables.

Ainsi, depuis quelques années et plus exactement après le premier colloque « Pédologie - Télédétection » (Rome; 1977), les recherches et les applications de la télédétection satellitaire en pédologie ont été intensifiées.

Au cours des séances de travaux de ce même colloque, GIRARD M-C. (1977) a montré les possibilités et les limites des apports de cet outil à la cartographie des sols. Toujours, dans ce même ordre d'idées, les pédologues ont commencé à réfléchir sur les traitements numériques des données satellites et à l'élaboration des différentes méthodologies, quant à leurs exploitations en cartographie pédologique et pédopaysagique. Ainsi, GIRARD M-C. et GIRARD C-M. (1977), HAMZA A. et EL-AMANI M. (1977), NAERT B. (1977), ROGALA J-P. (1979), ESCADAFAL R. et POUGET M. (1985), DUBUCQ M. (1986), ARROUAYS D. (1987), BOISSARD P. et POINTEL J-G. (1987), NAERT B. et al. (1987), ESCADAFAL R. (1989), HINSE M. (1989), MERZOUK A. (1992), BOULAHOUAT N. (1993), ESCADAFAL R. et al (1995) NAERT B. (1995), MOSTEFAOUI T. (1997) et autres ont axé leurs travaux de reconnaissance des sols par télédétection sur les différentes méthodes possibles de traitements d'images satellitaires (Landsat et Spot).



MERZOUK A. (1992) a montré, par son étude sur la Province de Settat, que les bandes de l'infrarouge TM4, TM5 et TM7 (Landsat) sont celles qui apportent le plus d'information au niveau pédologique et géomorphologique dans un milieu semi-aride. L'analyse de ses résultats révèle que la confusion varie en fonction des caractéristiques de la surface, de la classe de sol et de la géomorphologie de terrain, car plus les types de sols présentent des caractéristiques de surface semblables, que (en terme de couleur, de charge caillouteuse, de roche mère, de texture ou de position topographique), plus la confusion augmente entre ces derniers. Dans cet ordre d'idée, BOULAHOUAT N. (1993) a expliqué que cette confusion est due à l'interférence de paramètres physiques qui sont à la fois déterminants sur le comportement spectral et communs à un ensemble varié d'unités pédologiques. Selon ESCADAFAL R. (1989), ARROUAYS D. (1987), DUBUCQ M. (1989), GIRARD M-C. (1983), ces aspects de surface dominant la réponse spectrale seraient fortement corrélés à la couleur et à la rugosité. Ce sont là, deux éléments fondamentaux du comportement spectral des sols.

## II.2 Caractérisation de la surface des sols par télédétection

La couverture pédologique est un volume qui se situe entre la roche saine et l'atmosphère. Elle peut se partager en plusieurs volumes appelés horizons .

Les contenants de ces horizons sont des surfaces qu'il n'est pas toujours facile d'identifier surtout lorsque la transition se fait progressivement entre horizons, ce qui est souvent le cas. La limite entre sol et atmosphère est particulièrement importante, car c'est celle que l'homme, mais aussi les satellites, perçoivent le mieux .

Ainsi donc, la télédétection satellitaire peut apporter à la couverture pédopaysagique un certain nombre de données nouvelles.

## II.2.1 propriétés spectrales des surfaces naturelles

### II.2.1.1 la réflectance des sols

Les courbes de réflectance des sols ainsi que la distribution des luminances dans les différentes bandes de longueur d'onde des capteurs des satellites correspondent à une réponse globale du sol. Toutefois, les sols n'ont pas de courbes de réflectance de forme semblable.

La réflectance donne des informations au moins sur quatre éléments directement décelables de la surface du sol (GIRARD M-C. Et GIRARD C-M., 1989) :

- ➡ les éléments stables: matière organique; calcaire; couleur du sol; pierrosité de surface ;
- ➡ les éléments évolutifs: rugosité; humidité.

Ce sont les éléments stables qui influent le plus sur la réflectance. la matière organique a pour effet de diminuer la réflectance (figure A.II.3); Le calcaire produit l'effet inverse (figure A.II.4). Ce n'est qu'ensuite qu'interviennent, d'abord, la rugosité, plus elle est forte, plus la réflectance est faible et enfin l'humidité (figure A. II.5).

L'utilisation des micro-ondes se développe actuellement. L'intérêt est de donner des informations sur la rugosité de la surface des sols et sur l'humidité d'un volume de sol.

On peut espérer que dans un proche avenir, les réponses des sols, des horizons aux différentes longueurs d'onde deviendront des moyens communs d'analyse de la surface de la couverture pédologique.



- **Le comportement spectral des sols dans le visible et le proche infrarouge**

La courbe de réflectance d'un sol présente la particularité d'être régulièrement croissante et convexe depuis le visible (400 nm) jusqu'au proche infrarouge (1300 nm). A 1400 nm, elle présente comme la courbe d'un végétal chlorophyllien, une diminution importante, suivie d'une augmentation vers 1500 nm. Cette brusque diminution à 1450 nm correspond à la bande d'absorption de l'eau (GIRARD ,M-C 1986).

Suivant leur état de surface, plus ou moins rugueux, les sols nus auront une réflectance plus ou moins forte. Par ailleurs, leur réflectance variera en fonction de leur composition chimique et leur teneur en eau, mais l'allure générale de la courbe sera toujours la même.

- **L'émissivité des sols dans l'infrarouge**

L'énergie émise par les sols est fonction de l'état de rugosité de la surface du sol, de sa structure et de sa porosité, qui facilitent ou au contraire limitent les échanges entre l'eau et l'air. Suivant sa teneur en eau et en différents éléments chimiques, un sol aura une plus ou moins grande conductivité électrique qu'un autre. L'énergie émise à la surface d'un sol est la résultante de toutes ces interactions .

Dans l'infrarouge thermique, il est possible de percevoir l'effet de phénomènes s'exerçant en sub-surface du sol.

« Lorsque la porosité du sol augmente, la quantité d'air contenue dans le sol augmente et la conductivité électrique diminue. Il s'échauffe plus vite mais se refroidit aussi plus vite » (GIRARD M-C. et GIRARD C-M., 1889) .

Dans la bande 3 à 5 micromètre (IR moyen), les sols nus ont une émission assez forte, plus faible que celle de l'eau libre, mais beaucoup plus forte que celle de

groupements herbacés (prairies permanentes) qui forment un écran, limitant les échanges entre la croûte terrestre et l'atmosphère .

### II.2.1.2 comportement spectral : sol, végétation et eau

En théorie, la végétation, les sols et l'eau ont des comportements très différents, ce qui permet de les reconnaître facilement (figure A.II.1). Cela peut se faire automatiquement par les traitements des données satellitaires.

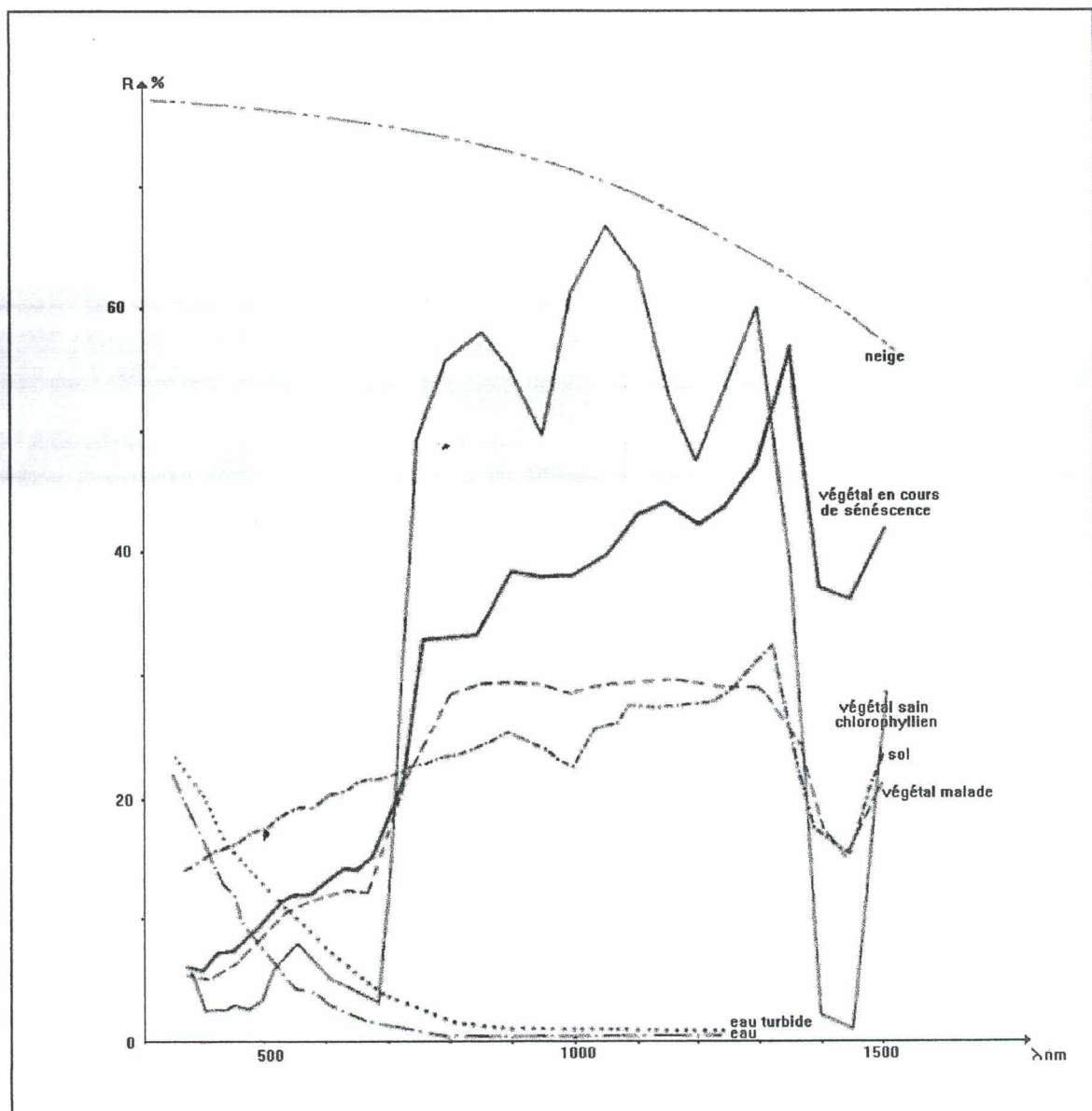


Figure A.II-1 : Comparaison des réflectances de végétaux, d'un sol et de l'eau.

Source: GIRARD M-C. et GIRARD C-M., 1989.



- Dans la bande du bleu ( 0.40 - 0.50 $\mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  la neige présente la plus forte réflectance suivie du sol et l'eau et avec des réflectances très faibles, les végétaux chlorophylliens.
- Dans la bande du vert-jaune(0.50 - 0.60 $\mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  les réflectances les plus fortes concernent les sols suivis de l'eau et enfin les végétaux chlorophylliens.
- Dans la bande du rouge (0.60 - 0.70 $\mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  la répartition des objets est la suivante: réflectance forte pour les sols, puis assez faible pour les végétaux chlorophylliens et enfin pour l'eau.
- Dans la bande d'infrarouge (0.70 - 14 $\mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  ce sont les végétaux chlorophylliens ou non qui ont la plus forte réflectance, précédant ainsi les sols et enfin l'eau qui a une réflectance presque nulle .

En conclusion, on peut dire que le sol a une forte réflectance régulièrement croissante dans le visible jusqu'au proche infrarouge où elle devient moins importante par rapport à celle des végétaux chlorophylliens .

## II.2.2 Relation de quelques paramètres du sol avec la réflectance

### II.2.2.1 Relation entre couleur et réflectance des sols

#### II.2.2.1.1 Couleur, description et classification des sols

La couleur est un critère important lors de la description d'un sol. Sur le terrain, on utilise la charte de Munsell pour comparer les différents horizons pédologiques rencontrés. La classification des sols est fonction de divers paramètres comme la texture, la structure, la composition chimique et le pourcentage de matière organique. La couleur est une variante synthétique qui exprime l'ensemble des

propriétés du sol citées précédemment: ainsi, par exemple: une terre rouge indiquera une forte teneur en fer; une terre noire une teneur élevée en matière organique.

#### *II.2.2.1.2 Couleur et composition des sols.*

La couleur est une résultante des divers variables intrinsèques des sols, et en particulier, de la pierrosité, du fer, du calcaire, de la matière organique ainsi que de l'humidité. La réflectance des sols résulte directement de leur composition et de leur couleur.

#### *II.2.2.1.3 Couleur et télédétection des sols.*

La couleur joue un rôle prédominant lorsqu'on travaille sur la réflectance du sol nu et sur une surface recouverte par un taux très faible de végétation (estimation du comportement spectral des sols dans le visible). Elle est utilisée pour estimer le comportement spectral des sols dans le domaine du visible (COURAULT D. et al; 1988). D'après GIRARD M-C. et GIRARD C-M (1989) et COURAULT D. et al (1988), les surfaces des sols sombres ont une courbe de réflectance concave; celles des sols clairs, une courbe de réflectance convexe; et celle des sols de couleur intermédiaire, une courbe de réflectance linéaire (figure A.II.2).



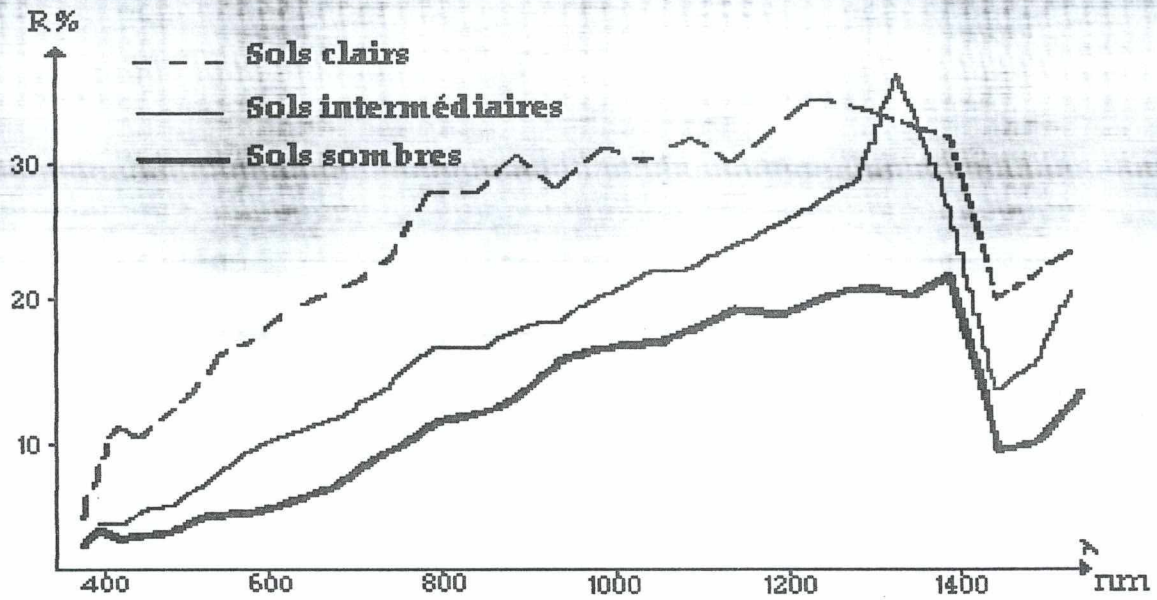


Figure A.II-2 : Variation de la réflectance avec la couleur.

Source: GIRARD M-C. et GIRARD C-M., 1989.

La réflectance des sols résulte directement de leur composition et de leur couleur. Elle varie suivant les diverses combinaisons entre les principaux paramètres de surface tels que: matière organique; calcaire; rugosité; humidité; etc.

II.2.2.2 Matière organique et réflectance

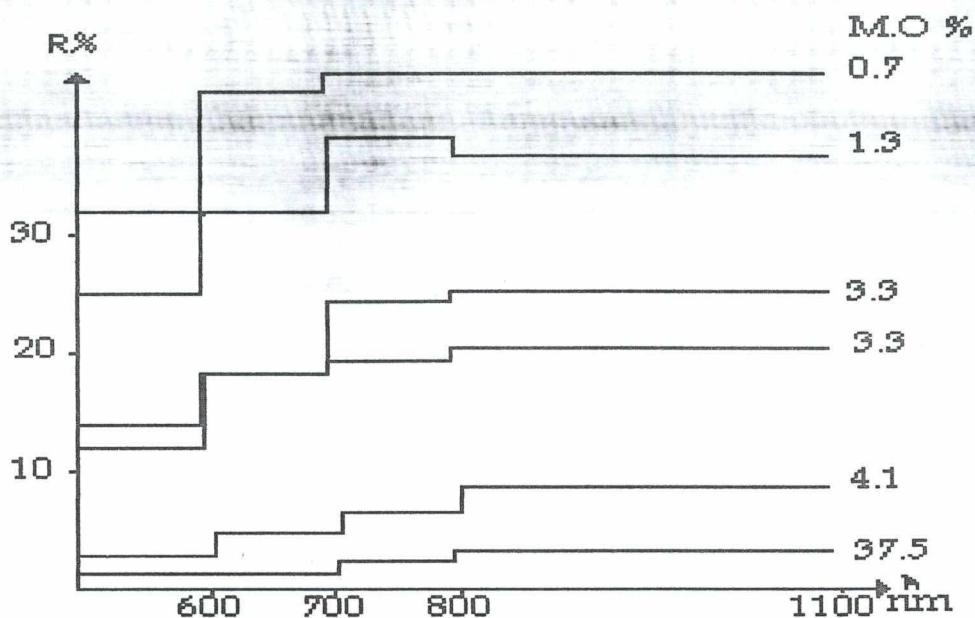


Figure A.II-3 : Variation de la réflectance avec le taux de matière organique

Source: GIRARD M-C. et GIRARD C-M., 1989.

La réflectance de la surface de sol diminue quand la matière organique augmente mais non pas d'une manière linéaire. Cette dernière a une forte influence sur la réflectance des sols dans le visible et le proche infrarouge.

II.2.2.3 Calcaire et réflectance

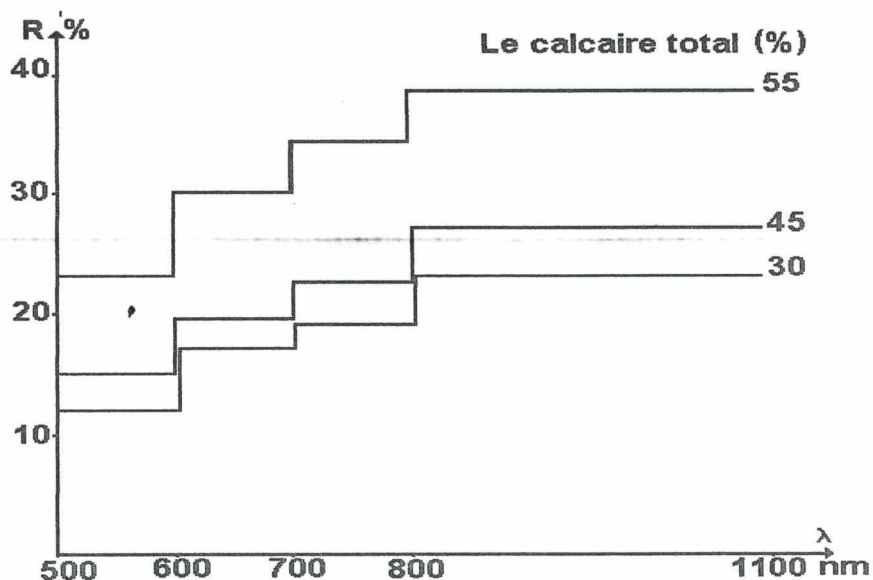


Figure A.II-4 : Variation de la réflectance avec le taux de calcaire

Source: GIRARD M-C. et GIRARD C-M., 1989.

Cette figure montre que le calcaire produit l'effet inverse par rapport à la matière organique. La réflectance augmente quand le taux en calcaire augmente.



### II.2.2.4 Rugosité, humidité et réflectance

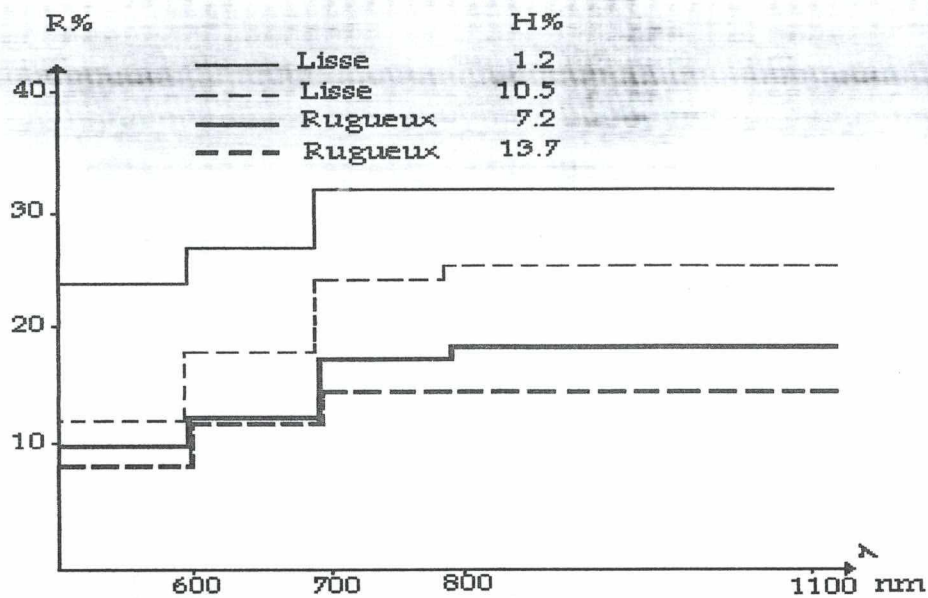


Figure A.II-5 : Effet de la rugosité et de l'humidité sur la réflectance de surface du sol

Source: GIRARD M-C. et GIRARD C-M., 1989.

La rugosité est un élément très important dans la réponse spectrale des sols. Plus la rugosité est faible (terrain lisse), plus la réflectance est forte. Pour un même sol (lisse ou rugueux), quand l'humidité augmente, la réflectance diminue.

« Les courbes de réflectance des sols ainsi que la distribution des luminances dans les différentes bandes de longueur d'onde des capteurs des satellites correspondent à une réponse globale du sol. Tous les éléments décelables sont liés, si bien qu'il est difficile d'attribuer à tel ou tel élément les modifications observées sur les luminances et réflectances » (GIRARD M-C., 1983).

## II.3 Avantages et limites d'utilisation de la télédétection satellitaire

Cartographier les sols d'une région revient à identifier et à délimiter les zones à l'intérieur desquelles le profil pédologique présente une constante de caractères définie par l'échelle de la carte; la cartographie par télédétection implique en outre que les sols soient identifiés et les unités délimitées à l'aide de renseignements perçus à distance par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques.



Si , sur certaines zones climatiques les sols sont très souvent à nu et donc peuvent être interprétés avec des éléments directement décelables, il existe de nombreuses autres zones sur lesquelles la végétation recouvre le sol en permanence ou durant une période s'étalant sur plusieurs mois. Il est donc indispensable d'utiliser les éléments indirectement décelables pour interpréter les sols.

A première vue, la télédétection est donc restrictive , puisque ses moyens ne permettent en l'état actuel qu'une observation de la surface du sol.

L'image satellitale ne donne pas une détection directe des sols. Les relations entre les types des sols et les images sont donc indirectes. Mais ce n'est pas un inconvénient, on peut établir une carte des facteurs de différenciation du sol. Un pédologue peut alors émettre une ou plusieurs hypothèses sur les types de sols qui sont susceptibles d'être rencontrés.

Elle procure au pédologue des possibilités nouvelles pour recueillir des informations dans le domaine spectral où l'oeil n'est pas sensible pour accélérer et rendre plus objective leur interprétation. Elle lui donne également une vision synthétique des phénomènes que le prospecteur ne peut avoir ni sur la photographie aérienne ni sur le terrain.

## II.4 Conclusion,

Il ressort de ces quelques remarques que la télédétection est un outil utile pour la pédologie. Elle procure au pédologue des possibilités nouvelles pour recueillir des informations dans le domaine spectral où l'oeil n'est pas sensible pour accélérer et rendre plus objective leur interprétation. Elle lui donne également une vision synthétique des phénomènes que le prospecteur ne peut avoir sur le terrain.

Les informations qu'apportent les photographies ou les images sont prises de manière systématique sur l'ensemble d'un territoire. En matière de cartographie



pédopaysagique, la possibilité d'interprétation des images satellites repose sur l'existence de relations étroites entre les réflectances spectrales et les caractéristiques morphologiques et analytiques des sols. La télédétection met à la disposition du pédologue des informations en continu sur l'ensemble de la couverture pédologique. On dispose alors d'une information en continu sans perturber le sol. Ces informations peuvent être interprétées:

- ponctuellement, en relation avec les caractéristiques des sols.
- spatialement, en relation avec les paysages.

Par télédétection, le pédologue peut déterminer certains paramètres du sol qui sont directement décelables: sol nu par exemple. Comme il peut avoir la connaissance de certains éléments d'identification et d'interprétation présentant des corrélations plus ou moins significatives avec les éléments du sol (sol sous forêt).

Du point de vue de la télédétection, le sol peut être considéré comme l'interaction entre une énergie et un matériau. Ainsi, le comportement spectral du sol change avec le spectre électromagnétique. Ainsi, à l'état actuel, la télédétection est restrictive puisque ses moyens ne permettent qu'une observation de la surface du sol ou plus souvent du végétal.

Cependant, la qualité et la quantité d'informations qu'il est possible d'extraire des données de télédétection est fonction du degré de connaissance en la matière, de l'expérience et des méthodes utilisées.



## **PARTIE B: APPROCHES METHODOLOGIQUES**

---

**CHAPITRE I: LES DONNES SATELLITAIRES**

**CHAPITRE II: LA CARTOGRAPHIE PEDOPAYSAGIQUE  
PAR TELEDETECTION**



*La démarche cartographique à moyenne échelle en pédologie, basée sur l'utilisation de l'imagerie satellitaire, consiste en l'étude des sols dans le paysage sans les dissocier des autres éléments du milieu. Il s'agit donc d'une approche globale, synthétique et géographique qui permet la compréhension des relations entre les diverses unités .*

*C'est dans cette optique que nous avons mis au point une méthodologie de cartographie à l'échelle d'inventaire des grandes unités de sols de la région de Ghassoul, représentative du milieu semi-aride. Pour cela, nous avons préconisé l'utilisation de l'imagerie satellitaire TM pour deux approches de cartographie différentes, l'une « photo-interprétative » et l'autre « automatique ». Ces deux approches vont être détaillées dans le deuxième chapitre de cette partie et beaucoup plus dans celui de la partie application.*

## **CHAPITRE I. LES DONNEES SATELLITAIRES**

*L'interprétation des photographies aériennes est basée sur l'analyse spatiale, alors que la plupart des méthodes de traitements d'images sont basées sur l'analyse des signatures spectrales enregistrées par les systèmes de télédétection.*

*Les images satellitaires permettent d'observer une grande variété de ressources terrestres, à partir des quelles on peut extraire les objets d'intérêt.*

### **I.1 L'analyse visuelle**

Par l'analyse visuelle et en matière de cartographie, les images satellitaires permettent dans une première étape la délimitation de zones homogènes de même intensité de gris.

Le thématicien applique divers traitements aux images. Pour cela, il peut utiliser soit l'outil informatique soit son oeil pour procéder aux analyses nécessaires avant d'entamer l'interprétation.



Pour accomplir cette tâche, il est impératif pour le thématicien de connaître les éléments suivants:

- longueurs d'ondes utilisées et la qualité géométrique des informations obtenues et donc les capteurs;
- échelle des documents et altitude de prise de vue et donc les vecteurs, supportant les capteurs;
- date de prise de vue et conditions atmosphériques de transmission ou capteur du signal issu de l'objet;
- traitements du signal qui ont été, éventuellement, effectués avant qu'il analyse lui-même le document de télédétection.

Pour remplir pleinement le rôle de la cartographie du sol et l'étude de la formation et de l'évolution des sols, la télédétection devra renseigner le pédologue, non seulement sur les contours des unités de sols (cartographie), mais aussi sur leur contenu. Celui-ci pourra être interprété :

- soit globalement et on cherchera alors une définition globale du sol: par exemple sol brun calcaire peu épais;
- soit analytiquement : sol calcaire, épais, poreux en surface avec pseudogley en profondeur.

## **I.2 Traitements numériques**

### **I.2.1 préparation des données**

L'obtention périodique d'images de télédétection dans le but de suivre l'évolution des thèmes étudiés, nécessite, à cause des anomalies dues à l'environnement et au vecteur utilisé (satellite, avion), des pré-traitements de nature radiométrique et géométrique afin de restituer ces données dans des référentiels permettant leurs comparaisons.



Les corrections géométriques sont devenues partie intégrante de tout traitement numérique d'images satellitaires (cf. chapitre I de la partie A). Elles ont pour but de mettre en superposition:

- ⊖ plusieurs images (MSS\* , TM\*\* , XS\*\*\* ) issues d'une même scène d'observation;
- ⊖ une scène d'observation par rapport à un référentiel cartographique;
- ⊖ plusieurs scènes par rapport à une scène prise pour référence (observations multitemporelles et multispectrales).

Les pré-traitements radiométriques consistent essentiellement à calibrer en relatif et/ou absolu, les données obtenues dans les différentes bandes spectrales.

D'autres traitements (amélioration des contrastes, optimisation de la densité, analyse en composantes principales, composition colorée, etc.) ont été effectués sur les images brutes.

### I.2.2 choix de l'image

Pour notre application, nous avons utilisé des images Thematic Mapper LANDSAT 5 du 11 avril 1988. La résolution au sol est de 30 m x 30 m. L'échelle de la composition colorée, servant de support à l'interprétation, est le 1/100.000<sup>ème</sup>. La trichromie a été établie à partir de la combinaison des canaux du visible (TM 2), du proche infrarouge (TM 4) et du moyen infrarouge (TM 7):

Canaux	Longueur d'onde	rendu photographique
canal 7	moyen infrarouge	en rouge
canal 4	proche infrarouge	en vert
canal 2	visible	en bleu

\* : MultiSpectral-Scanner

\*\* : Thematic Mapper

\*\*\* : Multi Spectrale

Les étapes de traitements réalisées dans le cadre de cette étude sont illustrées par l'organigramme de la figure B.I.1.

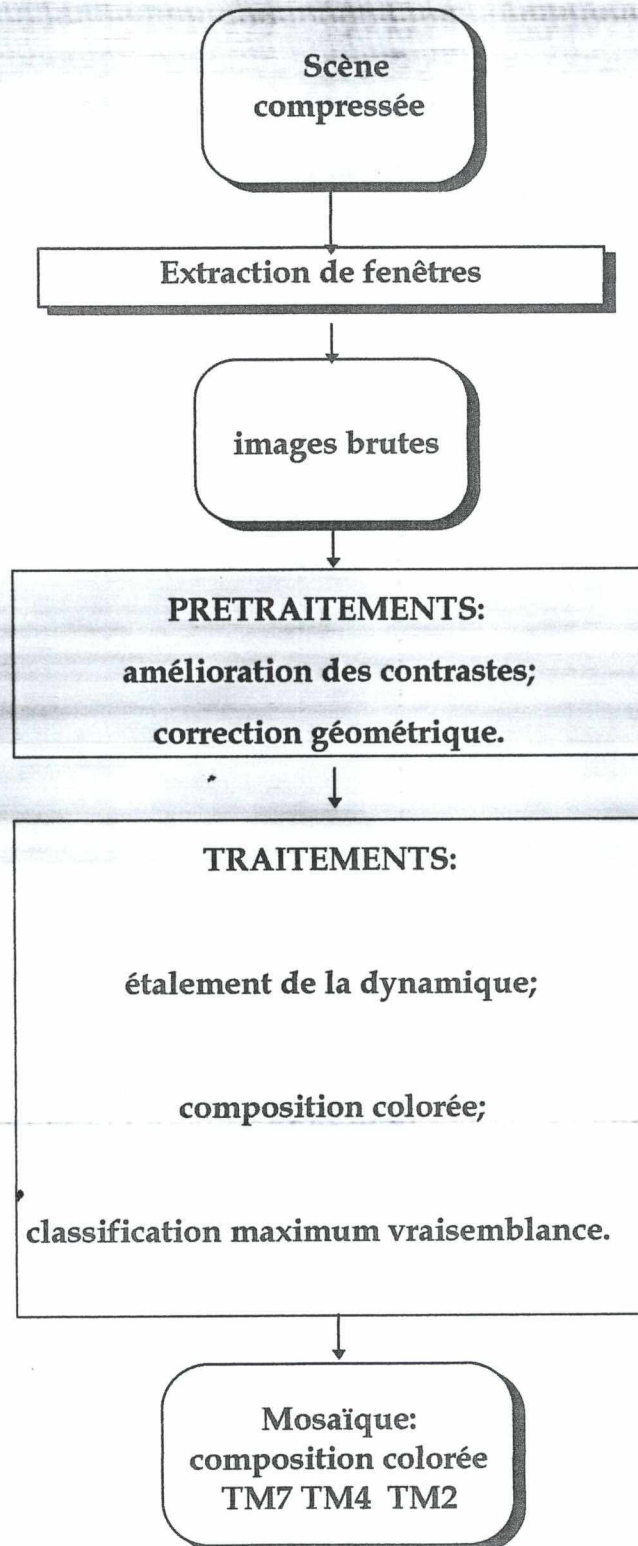


Figure B.I-1 : Organigramme méthodologique des traitements des données satellitaires.



## CHAPITRE II. LA CARTOGRAPHIE PEDOPAYSAGIQUE PAR TELEDETECTION

*« La possibilité d'interprétation des images satellites en vue de la cartographie des sols repose sur l'existence de relations étroites entre les réflectances spectrales et les caractéristiques morphologiques et analytiques de ces sols » (BARIOU R.,1978).*

*Ils existe plusieurs méthodes de cartographie des couvertures pédologiques à partir des données spatiales. « Mais quelle que soit la méthode employée, vouloir introduire la photographie ou l'image en carte de sol, n'est pas satisfaisante » (DUBUCQ, 1989 et BARTHES, 1991). Car une couche pédologique est un continuum formé par des niveaux soit homogènes ou hétérogènes que ni la photographie aérienne ni l'imagerie satellite ne peut accéder.*

*On considère la télédétection comme un outil permettant de faciliter la caractérisation du continu des unités cartographiques ou le tracé de la limite objective grâce à la haute résolution, la vue synoptique, diachronique et numérique de l'imagerie satellite.*

### II.1 cartographie par photo-interprétation

Le découpage spatial des unités de sol a été effectué suivant un mode de cartographie paysagique et non typologique. Le principe d'interprétation des sols est illustré par un organigramme méthodologique (cf. figure C.II-1) inspiré de celui de GIRARD M-C. (1986), représenté par la figure ci-après.

Nous nous sommes limités aux formes géométriques sur image (zones homogènes), en analysant les données satellitaires utilisées et aux documents existants (carte d'occupation du sol, carte lithologique, carte des pentes, MNT, forme des réseaux, les données climatiques.).

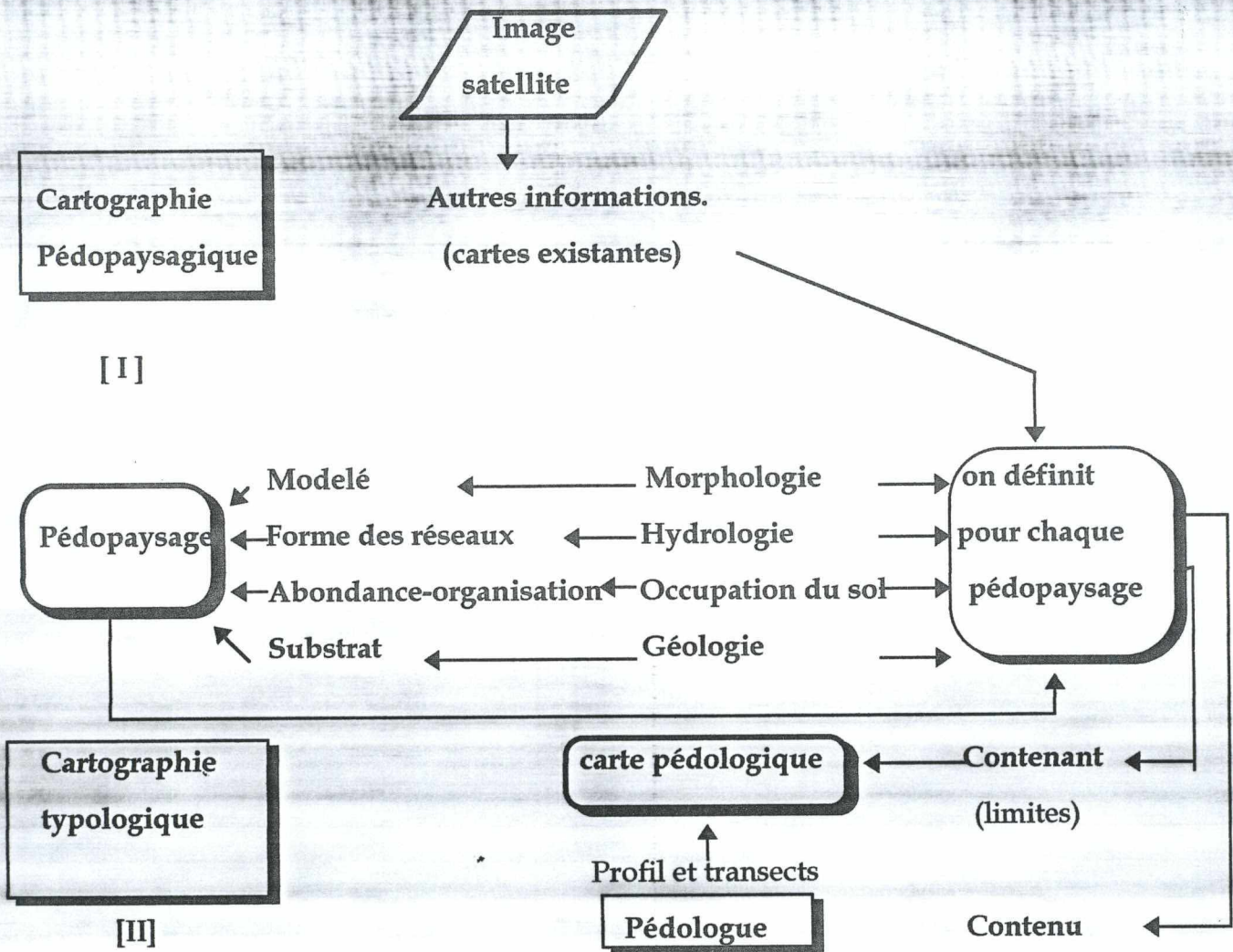


Figure B.II-1: Principe d'interprétation des sols

Source: GIRARD M-C, 1986.



## II.2 classification automatique des sols par télédétection

### II.2.1 Introduction

Dans le domaine de la télédétection, les méthodes de classification font appel à l'analyse de données. Ce sont généralement des méthodes statistiques.

La classification multispectrale de l'image a pour but de regrouper dans une même classe, des données de type analogue (réponses spectrales proches) et distinct des autres classes.

Cette opération s'effectue généralement en partitionnant l'image en classes possédant des propriétés propres qui permettent de les distinguer les unes des autres. Elle permet d'établir les corrélations entre les classes obtenues et la réalité physique au sol.

Il existe deux types de classification :

- ➔ la classification supervisée;
- ➔ la classification non supervisée.

La classification est dite " supervisée " lorsque la reconnaissance de chaque classe est effectuée à partir d'éléments étalons (encore appelés réalité terrain) choisis par l'opérateur avant le classement. Dans le cas où il n'est pas possible d'extraire des échantillons de la zone géographique à traiter, la méthode utilisée est dite " non supervisée ".

En pédologie la classification automatique consiste à faire ressortir les différentes classes de sols, possédant une répartition d'énergie plus ou moins identique dans le spectre. L'ensemble des points sur l'image multispectrale est regroupé en parties "homogènes". Ainsi donc, les nuages obtenus par agrégation automatique sont interprétés par l'utilisateur, qui détermine en fonction de sa connaissance du terrain



leur homogénéité ou hétérogénéité vis à vis des classes recherchées. Cependant, tout traitement supervisé exige des sites-tests bien identifiés au sol et repérés sur l'image. Le classement résultant avec une légende n'est autre qu'une carte thématique.

Les applications des classifications sont multiples, mais il est indispensable que le thématicien-interprète choisisse au mieux telle ou telle méthode (GIRARD M-C. et GIRARD C-M., 1989).

### II.2.2 Choix de la classification

Il existe plusieurs méthodes de classification : le maximum de vraisemblance, le minimum de distance, MAHALANOBIS, la méthode parallélépipédique, la méthode de l'angle spectral (S.A.M.: Spectral Angle Mapper), etc.

Parmi les méthodes de classification supervisée, nous avons opté pour celle qui se rapporte aux fonctions discriminantes définies statistiquement, appelée méthode de maximum de vraisemblance. Cette méthode, efficace, est abondamment utilisée dans le domaine de la classification des images satellitaires (ESCADAFAL, 1989; GIRARD M-C. et GIRARD C-M., 1989; YONGRCHALERMCHAI, 1993; MOSTEFAOUI, 1997). Elle est basée sur les propriétés statistiques des composantes spectrales de la scène. Le critère de décision est la plus grande probabilité qu'a un vecteur de luminance pour appartenir à une classe.



### II.2.3 Différentes étapes de la classification

Elles sont illustrées par l'organigramme suivant:

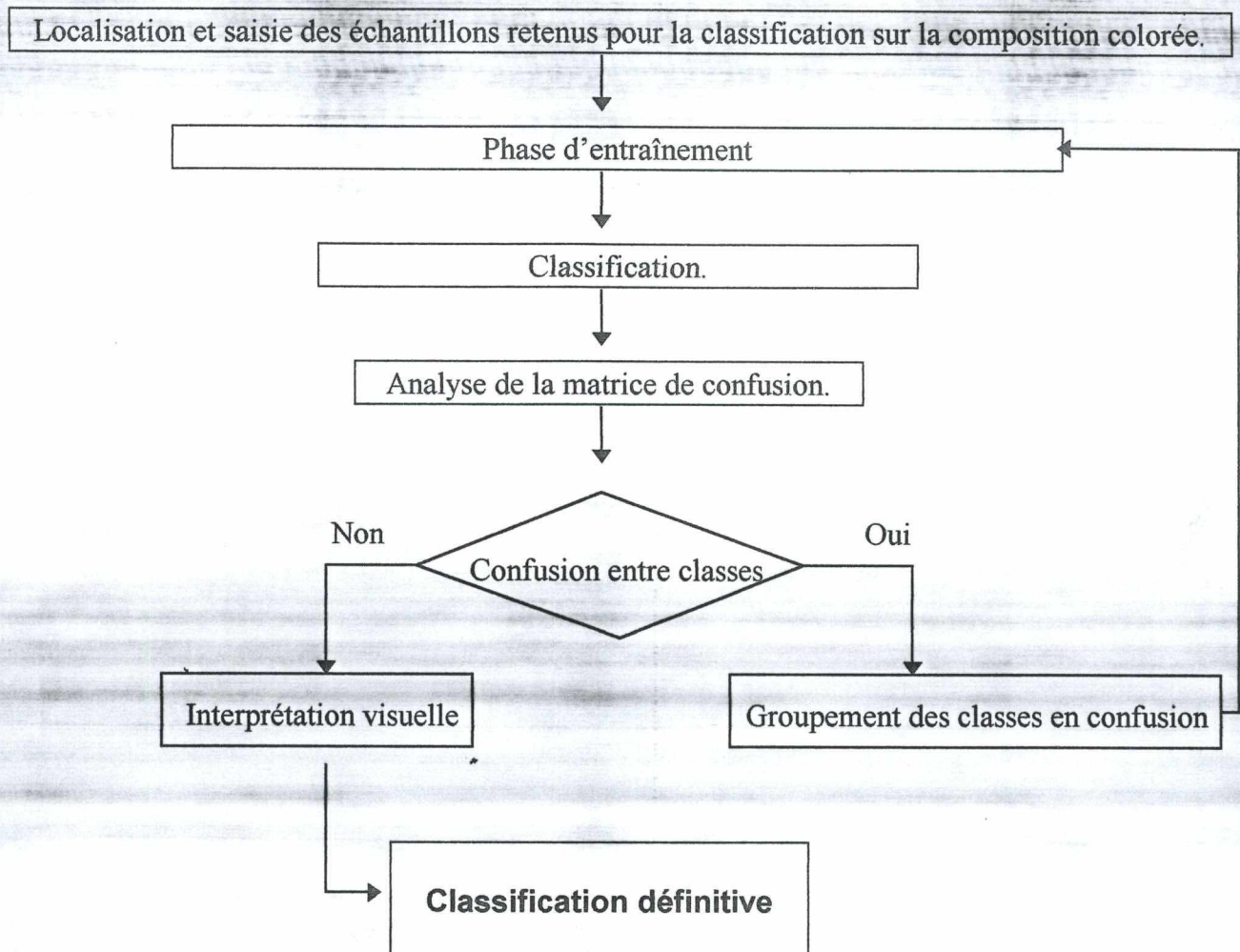


Figure B.II-2 : Organigramme méthodologique de la classification

### II.3 Conclusion

Pour réaliser une carte thématique, la télédétection constitue une source d'information privilégiée (MERING C., 1992 cité in MOSTEFAOUI T., 1997). Le thématicien pédologue doit interpréter l'image satellitale en associant les concepts abstraits aux entités (pixel; objet; région; etc.) qui constituent l'image concrète. Les performances de l'outil télédétection ne peuvent être valorisées que par une bonne

complémentarité des travaux de traitements d'images et de prospection du terrain. L'association des hommes de terrain connaissant le milieu est indispensable.

La cartographie pédopaysagique consiste à analyser les images pour stratifier le milieu et ainsi orienter l'échantillonnage (GIRARD M-C et GIRARD C-M, 1989). Les unités paysagiques sont d'abord délimitées géométriquement (forme) alors que le contenu, que ce soit, pédologique, forestier ou autre est décrit ultérieurement.

Donc, La télédétection peut être d'un grand intérêt dans la cartographie pédopaysagique. Elle met à la disposition du pédologue des informations en continu sur l'ensemble de la couverture pédologique. Ces informations peuvent être interprétées:

- ponctuellement, en relation avec les caractéristiques des sols.
- spatialement, en relation avec les paysages .

Par télédétection, le pédologue peut déterminer certains paramètres du sol qui sont directement décelables: sol nu par exemple. Comme il peut avoir la connaissance de certains éléments d'identification et d'interprétation présentant des corrélations, plus ou moins significatives avec les éléments du sol (sol sous forêt).

Cependant, la qualité et la quantité des informations qu'il est possible d'extraire des données de télédétection est fonction du degré de connaissance, de l'expérience et des méthodes utilisées.



## **PARTIE C: APPLICATION**

---

**CHAPITRE I : CADRE DE L'ETUDE**

**CHAPITRE II : CARTOGRAPHIE PEDOPAYSAGIQUE  
DE LA ZONE D'ÉTUDE**

**CHAPITRE III: EXPLOITATION ET ANALYSE DES  
RÉSULTATS**



## CHAPITRE I. CADRE DE L'ETUDE

### I.1 contexte régional

#### I.1.1 Introduction

Le terme « steppe » évoque d'immenses étendues arides couvertes d'une végétation basse et clairsemée (MANIERE et CHAMIGNON, 1986).

La steppe Algérienne est définie comme une portion du territoire national délimitée au Nord par l'isohyète 400 mm et au Sud par l'isohyète 100 mm. Le climat de cette zone steppique est une forme particulière du climat méditerranéen, avec des pluies concentrées sur le semestre hivernal.

Deux traits marquants le caractérisent:

- ⊖ des précipitations faibles avec une variation spatio-temporelle irrégulière et complexe (les pluies diminuent du Nord au Sud avec une grande variabilité intermensuelle et interannuelle);
- ⊖ des régimes thermiques relativement homogènes marqués par la continentalité, très contractés, avec une grande amplitude thermique .

D'une manière générale, on distingue deux saisons: l'une froide et pluvieuse et l'autre chaude et sèche.

Cette zone est essentiellement constituée de parcours à usage pastoral et couvre une superficie estimée à 20 Millions d'hectares, ce qui représente une part de près de 8.5% du territoire national (figure C.I-1). Elle est l'objet de dégradations intenses et nécessite de ce fait une gestion pastorale ou agraire qui prend en compte l'ensemble des variables du milieu. Or, dans ces régions, les différentes unités de sols sont souvent mal connues ou difficiles à appréhender tant pour ce qui concerne leurs distributions géographiques que leurs natures et leurs liens avec la végétation et la géomorphologie.



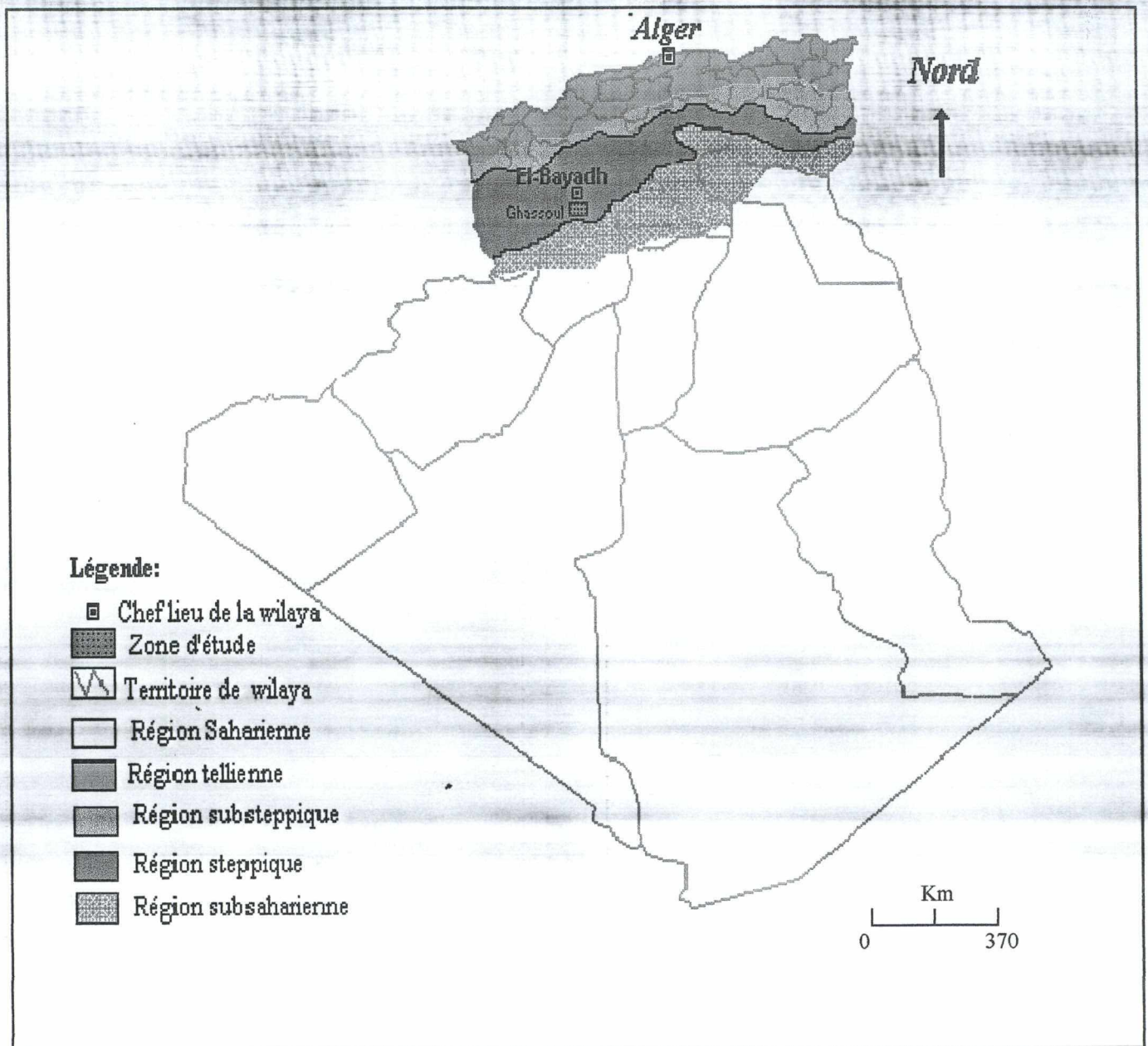


Figure C.I-1 : Localisation de la steppe.

### I.1.2 Situation générale de la zone d'étude

La zone d'étude, située au coeur du vaste territoire d'El Bayadh et à 50 km au sud du chef lieu (figure C.I-2), couvre une superficie de 256000 ha, soit 2560 km<sup>2</sup>. Du point de vue administratif, cette zone est représentée partiellement par un ensemble de sept communes (Ghassoul; Aïn El Orak; Kerakda; Hamara; Kef Lahmar; El Bayadh et Stitten) dont la commune de Ghassoul est la mieux figurée (figure C.I-3). Elle peut être localisée sur une carte topographique au 1/100.000<sup>ème</sup> grâce aux coordonnées extrêmes suivantes:

- Longitude: 0° 37' 30'' (méridien de Greenwich) à 1° 18' 58'' Est
- Latitude : 33° 16' 59'' à 33° 40' 6'' Nord.

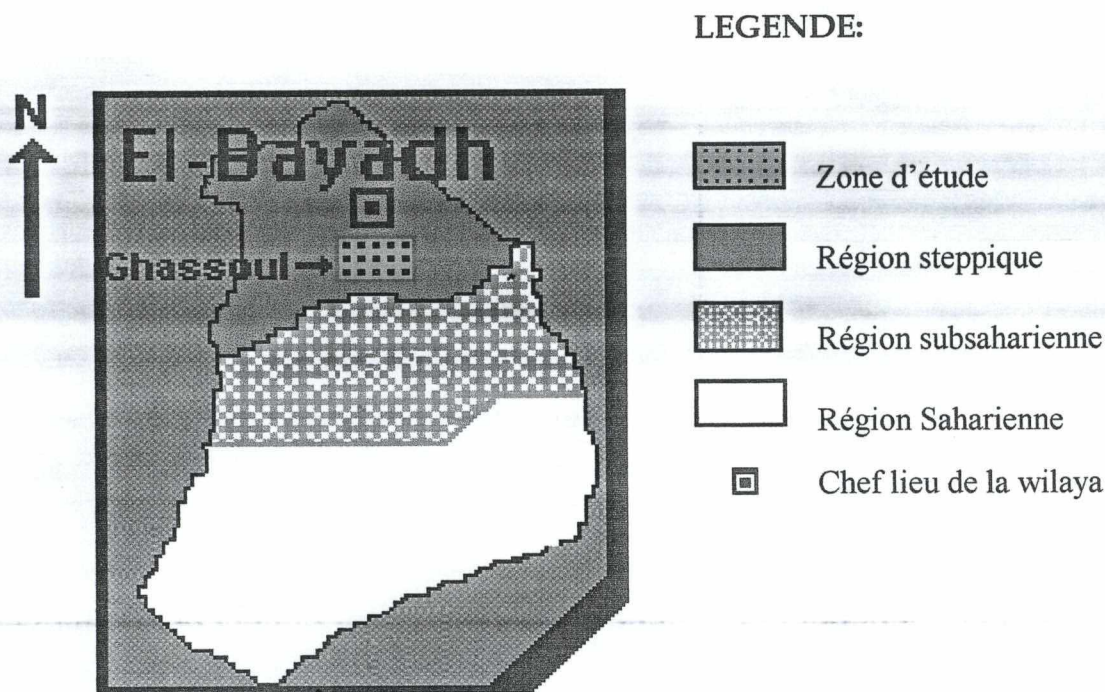


Figure C.I-2 : Localisation de la zone d'étude dans le contexte régional steppique d'El-Bayadh.







### I.1.3 Etude géologique

#### I.1.3.1 La géologie

La nature de la roche mère influence largement le processus pédogénétique, en particulier par sa composition granulométrique ainsi que par le type minéralogique de ses argiles et par sa teneur en calcaire (DURAND, 1954).

Sur le plan structural, la région d'étude est inscrite au coeur de l'Atlas saharien. C'est une importante chaîne de montagnes, constituée par une série de plis orientés Sud Ouest - Nord Est, qui sépare les hautes plaines de la plate forme Saharienne. « Les reliefs sont particulièrement constitués par des anticlinaux où affleurent les formations les plus anciennes du Secondaire (le Jurassique) » (A.N.A.T., 1987). « Les formations du Crétacé et celles du Tertiaire continental se sont déposées à la périphérie des massifs jurassiques » (CHERIGUENE, 1991).

#### I.1.3.2 La lithologie

L'intérêt d'une étude lithologique dans la caractérisation du milieu naturel est double:

- apport d'informations relatives à la nature et à l'origine du matériau parental du sol où ont lieu les processus pédogénétiques et morphodynamiques,
- connaissance de l'aptitude des sols pour d'éventuelles orientations d'aménagement.

Pour cela, nous avons établi une carte lithologique au 1/100.000<sup>ème</sup> extraite de la carte géologique de Brézina au 1/200.000<sup>ème</sup> (type 1949). Cette carte comprend 08 unités lithologiques (cf figure C.III-3).



#### I.1.4 La géomorphologie

« La géomorphologie est l'un des éléments les plus précieux de l'analyse cartographique dans les études de reconnaissance. Ce paramètre régit un nombre considérable de processus physiques, tels que la morphologie (pente), la pédogenèse et par conséquent le développement et l'évolution des sols » (TRICART et CAILLEUX, 1965; TRICART, 1978). On ne saurait parler d'étude « pédopaysagique » si l'on ignore les phénomènes pédogénitiques qui ne sont pas sans relation avec la morphogénèse de leur terrain support.

La géomorphologie a fait l'objet de l'étude de:

- la morphologie (pente) pour une analyse exhaustive du relief. Les classes de pentes permettent de ressortir les aires topographiques homogènes;
- la géologie pour extraction des classes lithologiques.

La structure de l'ensemble de la région se présente comme un vaste synclinal dissymétrique, orienté Ouest - Sud Ouest / Est - Nord Est et constitué par une succession de massifs avec quelques dépressions intra-montagneuses bénéficiant de l'apport « eau-alluvions » provenant des sommets et versants des reliefs montagneux. Ces derniers sont constitués par une série de plis orientés SO - NE qui sépare les hautes plaines et la plate-forme saharienne. L'altitude de ces reliefs est comprise entre 1300m (djebel Melah au Sud) et 1800m (djebel Bou Derga au Nord). Il s'agit essentiellement de roches dures (calcaires et grès), roches calcaires plus ou moins dolomitiques et de roches marnocalcaires fortement érodées. Dans cette contrée semi-aride, à végétation rare, les affleurements sont de qualité remarquable. La série apparaît au coeur des grands anticlinaux des djebels Bou Derga, Rhiar, Guerdjouma et Selim. Si les faciès argileux occupent souvent les coeurs des structures, les barres gréseuses en forment l'ossature.



### I.1.5 Le climat

Le climat est un facteur très important intervenant dans les séquences de l'érosion et le modelé du relief. Donc, il reste incontestablement, un élément de formation et d'évolution des sols. Les précipitations, en liaison avec la végétation, interviennent dans la formation des sols dont les transferts d'eau et la dynamique des éléments dépendent de la pluviosité. Des températures atmosphériques sont liées à celles du sol et à ses solutions qui influent largement sur l'intensité de son activité biologique et de l'altération de ses minéraux.

L'une des causes majeures de la dégradation des parcours steppiques est la sécheresse. Cette sécheresse est caractérisée par les faibles précipitations et les fortes températures qui causent ainsi une forte évaporation et une faible d'infiltration de l'eau dans le sol. Les conséquences sont connues. Elles se manifestent par une dégradation du couvert végétal et une stérilisation des sols à long terme, par conséquent, une faible pédogenèse et l'apparition des sols squelettiques. D'après DAGUET, DJELLOULI et Le HOUEROU (cités dans le rapport C.N.T.S.\* /C.R.D.I.\*\* , 1997.), la sécheresse a sévit dans la steppe durant les années 1980. Elle a été l'une des causes de la dégradation des parcours.

Dans cette étude, il s'agit de caractériser la variation des températures et des précipitations sur la période allant de 1970 à 1995 en essayant de mettre en évidence l'évolution de la période sèche durant ces années là. En effet, la démarche proposée est axée sur la recherche de la variation de la saison sèche durant la période considérée et l'étude de l'irrégularité inter et intra annuelles pour établir leur impact sur les changement de paysage. L'une des méthodes la plus caractéristique de ce type d'étude est la méthode de Bagnouls et Gaussen basée sur la réalisation des courbes ombrothermiques qui permettent de fixer le début et la fin d'une période

---

\* : Centre National des Techniques Spatiales.

\*\* : Centre de Recherche pour le Développement International.



- **Variation inter-annuelle des précipitations**

La variation des précipitations annuelles (figure C.I-4) montre que la décennie des années 1980 s'est montrée moins pluvieuse dans cette région ce qui confirme le déficit en eau et l'étalement de la période sèche. On sait très bien que la précipitation moyenne normale dans les régions semi arides est de 400 mm, Or on remarque que durant cette décennie les totaux annuels n'excèdent pas les 400 mm pour cette station à l'exception de l'année 1982.

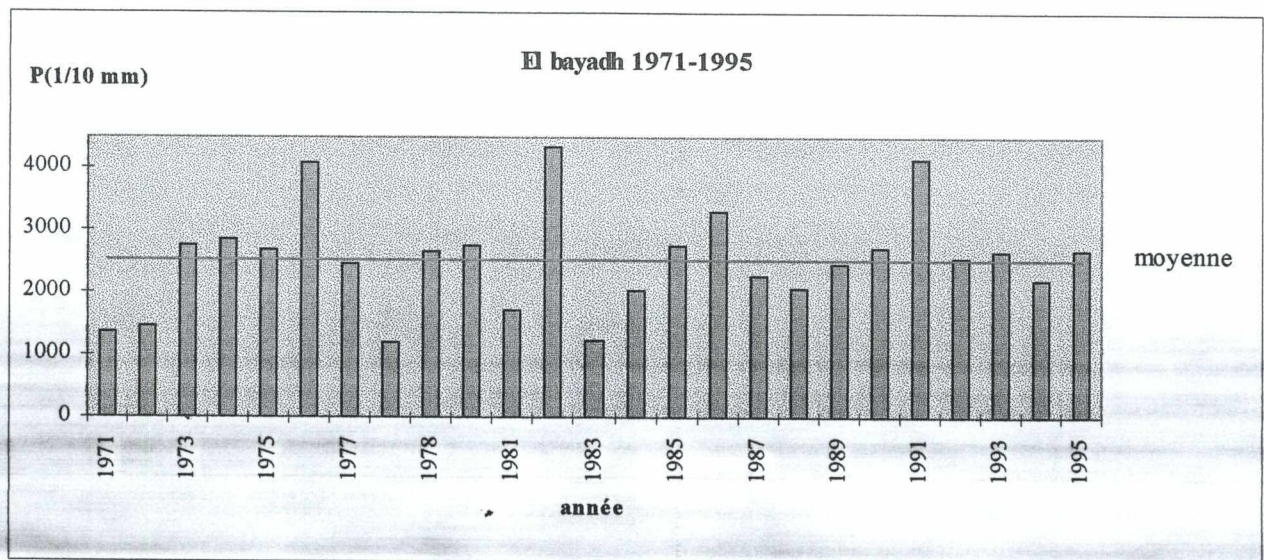


Figure C.I-4 : Variations inter-annuelles des précipitations à El Bayadh

### I.1.5.3 Sécheresse au cours de l'année

Elle constitue à la fois une donnée permanente du climat (la saison sèche) et un risque de dégradation, dans la mesure où sa durée, son amplitude et son extension spatiale varient à l'échelle des décennies. L'aménagement des régions arides et semi - arides doit tenir compte de deux causes de pénuries d'eau possibles au cours de l'année:

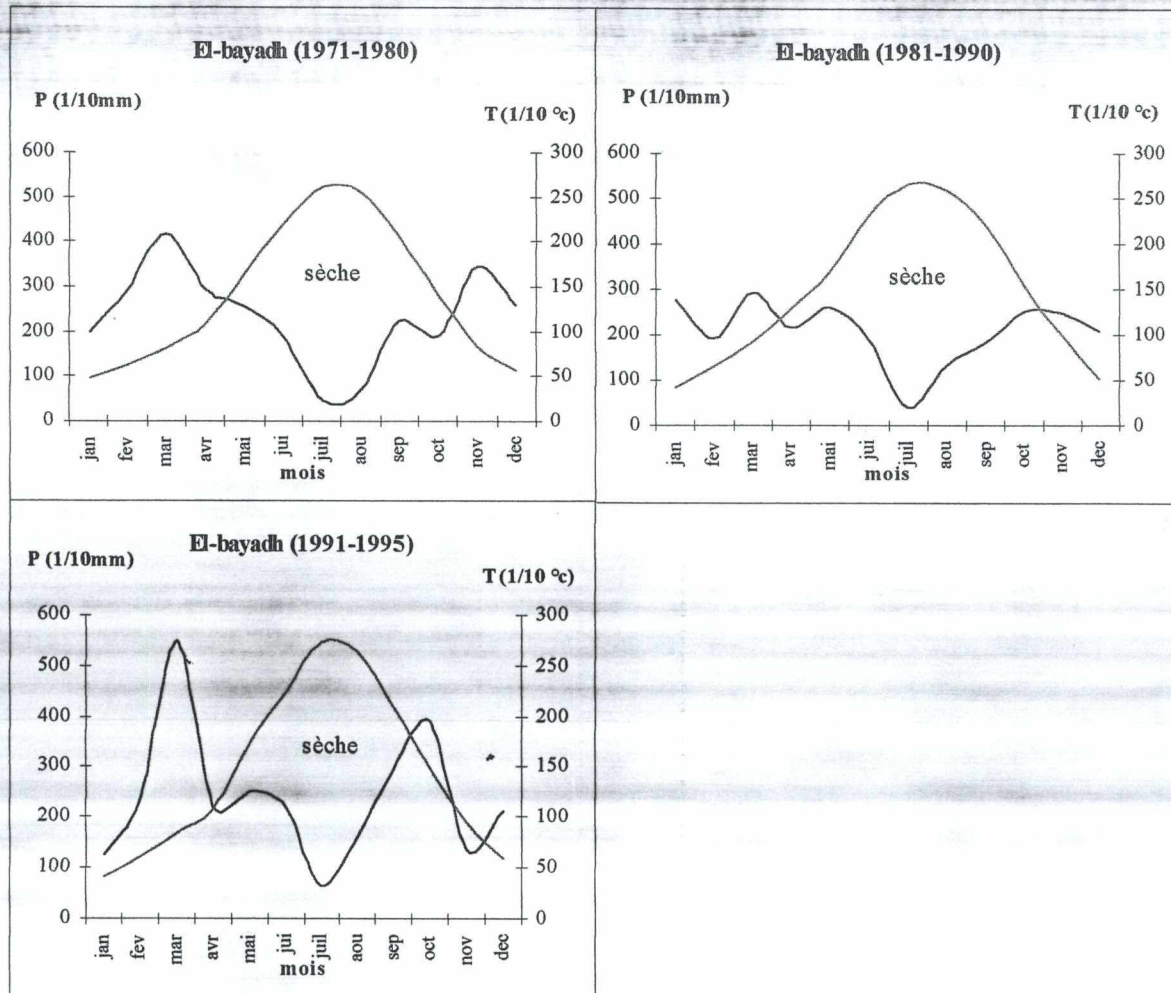
- la durée de la saison sèche;
- et les risques de pénurie au cour de la période végétative.

- **Analyse du diagramme ombrothermique**

On constate d'après le diagramme ombrothermique (figure C.I-5) qu'à El Bayadh, la période sèche commence au début du mois de Mai et se termine à la fin



du mois d'Octobre entre 1971-1980. Sa durée a augmenté pour la période 1981-1990 en s'étalant du début du mois d'Avril jusqu'à la fin de celui d'Octobre. En revanche, elle s'est rétrécie sur l'intervalle 1991 à 1995 (mi - Avril à fin Septembre).



- Températures moyennes mensuelles
- Précipitations moyennes mensuelles

Figure C.I-5 : Diagramme ombrothermique El Bayadh.

#### I.1.5.4 Interprétation

D'après Moral, cité dans le rapport C.N.T.S/C.R.D.I (1997), la région d'El-Bayadh était une zone pluvieuse de 1950 à 1962, puis elle devient zone sèche de 1978 à 1987. L'analyse de l'évolution des données climatiques jusqu'à l'année 1995 le confirme. Ce qui est caractérisé par un manque d'eau considérable pour cette dernière période. Cette région se trouve implicitement touchée par l'accentuation croissante de la sécheresse, et la semi-aridité du climat.



L'analyse des données météorologiques de cette région a montré que les précipitations varient d'une manière aléatoire durant l'année, alors que la variation des températures reste normale. L'étude a, donc, confirmé le manque d'eau pendant la décennie 1981-1990, Cela a été illustré par l'étalement des périodes de sécheresse dans la station durant cette décennie.

A ce stade de l'analyse, on ne peut que dire que le climat présente de longues périodes sèches, et les précipitations sont irrégulières. La végétation est faiblement arrosée ce qui ne lui permet pas un bon développement d'une part, et d'autre part la charge exercée par le cheptel de plus en plus important ne permet guère son maintien; ce qui induit avec le temps une dégradation du support édaphique et par conséquent une faible pédogenèse et apparition des sols squelettiques.

La sécheresse n'a pas évolué d'une année à une autre, nous avons remarqué une fluctuation de sa période, plus étendue durant la phase 1981-90. Les risques liés à l'aridité et à la sécheresse doivent être pris en compte dans tous les plans d'aménagement.

#### I.1.6 La couverture végétale

Fortement liée aux sols et au climat, la végétation de la zone d'étude présente des caractéristiques similaires à celle du milieu physique.

Les formations forestières et préforestières, composées essentiellement de maquis, ne sont présentes que sur les sommets de montagnes de l'Atlas saharien. Elles sont constituées principalement par le Pin d'Alep, le Chêne vert, le Genévrier Oxycedre et le Genévrier de Phénicie, et se présentent en boisements clairsemés et dégradés.

Du point de vue phytoécologique, la végétation dominante est celle de la steppe (nappes d'alfa, d'armoïse blanche, etc.). Les formations steppiques de cette



zone sont des parcours (vastes étendues de végétation basse). Ces derniers sont d'une qualité inégale, très souvent dégradés (HALITIM, 1988).

On distingue:

➡ les steppes à graminées:

elles sont représentées essentiellement par l'alfa (*Stipa Tenacissima* et *Stipa Parviflora*), le sparte (*Lygeum Spartum*) et le drin (*Aristida Pungens*).

➡ les steppes chamaphytes:

elles sont envahies par l'armoise blanche (*Artémisia Herba Alba*) et remt (*Arthrophytum Scoparium*) ou (*Hélianthenum Hirtum*). Ces espèces sont les plus représentatives et n'occupent que de faibles superficies, généralement en association avec les précédentes.

➡ les steppes crossulantes (halophytes).

souvent indicatrices d'halomorphie. L'espèce floristique dominante est l'atriplex (l'*Atriplex Halimus*).

A toutes ces steppes s'ajoute un cortège floristique d'espèces annuelles très important.

Les cultures annuelles, dont la céréaliculture est la plus prépondérante, sont pratiquées sur les défrichements occasionnés par l'homme. Une fois délaissées en jachère, ces terres sont occupées par quelques espèces vivaces, non palatables par le troupeau. Les périmètres irrigués occupent une superficie négligeable et se trouvent dans l'axe des principaux oueds (oued Ghassoul) et dans la plaine située au Nord Ouest de djebel Merdoufa.

### I.1.7 La couverture pédologique.

Les sols des régions arides méditerranéennes sont les produits des caractéristiques du milieu dont la pédogenèse se traduit par:

➡ le degré de développement du profil : un degré plus faible;

➡ le type de genèse : différent par rapport aux autres régions;



- ⊖ l'évolution de la matière organique : faible dégradation;
- ⊖ le mode d'altération : différent par rapport aux autres régions;
- ⊖ l'halomorphie.

## 1.2 Les facteurs de différenciation de la couverture pédologique

Dans ces régions les sols sont liés à l'aridité du milieu (AUBERT, 1960; BERAUD et al., 1975; MANIERE et al., 1986; MANIERE, 1987 et HALITIM, 1988). Selon HALITIM (1988), les principales caractéristiques de cette aridité sont les suivantes:

- un régime hydrique de type aridique ( $P/ETP$  est inférieur à 0.4 d'après la classification américaine);
- un horizon Bca (calcique ou pétro-calcique) à une profondeur inférieure à 125 cm;
- un horizon gypsique ou pétrogypsique à une profondeur inférieure à 125 cm;
- une redistribution dynamique dans le profil de  $CaCO_3$  ou de  $Ca SO_4 2H_2O$ ;
- une conductivité électrique supérieure à 2 mmho/cm à une profondeur inférieure à 75 cm;
- la présence d'un horizon B structural;
- la présence d'un horizon B d'accumulation .

D'une manière générale, la genèse et le comportement des sols de la steppe algérienne sont conditionnés par la nature du matériau parental (presque toujours calcaire) et par les mêmes facteurs pédogénétiques (climat et salinité). En dehors de quelques travaux déjà réalisés et pris en compte ( DURAND, 1954; POUGET, 1971; BERAUD et al. 1975; BELOUAM et al. 1974 et HALITIM, 1988), on ne peut citer que les études ponctuelles réalisées par POUGET (1980) et BOULAHOUAT (1993).



Les sols de la région steppique Sud-Oranaise, dont notre zone, restent dans leur ensemble insuffisamment connus des pédologues. Néanmoins, et après la synthèse des travaux cités ci-dessus, les sols sont en général peu épais, parfois inexistant. Ils sont érodés et influencés directement par le climat, facteur très important intervenant dans les séquences de l'érosion et le modelé du relief.

Ainsi, la nature des sols est en étroite relation avec les unités géomorphologiques.

Les horizons de surface (A) sont constitués d'un matériau détritique, généralement de texture grossière à moyenne (sablo-limoneuse) et peu profond (10 à 20 cm). Ils ont une grande pierrosité de surface (débris de croûte, nodules calcaires). Ceci explique que la couverture pédologique dans la zone steppique est essentiellement distinguée par une grande extension de sols sur encroûtement, croûte ou dalle calcaire.

### I.2.1 Les caractères généraux des sols de la région

#### ⊖ le matériau parental

- ✓ les grès, le calcaire, le marne, les roches marno-calcaires ;
- ✓ les lentilles salifères triasique (exemple: le diapir de djebel Melah);
- ✓ les regs (terrains rocheux);
- ✓ les glacis du quaternaire;
- ✓ les alluvions récentes;
- ✓ les zones sableuses (les ergs).

La nature de ces matériaux explique certaines caractéristiques héritées par les sols:

- ✓ une teneur élevée en calcaire;
- ✓ une couleur brun rougeâtre (fournie par les éléments des glacis anciens et du reg);
- ✓ la salinité.



### ⊖ Les facteurs pédogénétiques

Les deux principaux facteurs caractéristiques des régions arides et semi-aride sont:

- ✓ le climat: l'aridité (vent et évaporation) ne permet pas l'installation d'un couvert végétal assez important;
- ✓ la salinité.

### I.2.2 Les pédopaysages

A l'image de ces caractères généraux , nous avons choisi de distinguer les grandes classes de sols qui se trouvent classiquement dans la steppe, avant d'entamer la cartographie pédopaysagique par télédétection (image T.M.):

- les sols minéraux bruts;
- les sols peu évolués;
- les sols calcimagnésiques;
- les sols isohumiques;
- les sols sodiques.

## CHAPITRE II. CARTOGRAPHIE PEDOPAYSAGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.

*La cartographie pédopaysagique de la zone d'étude a fait l'objet de deux approches méthodologiques:*

- *une approche photo-interprétative utilisée usuellement par les pédologues;*
- *une approche automatique basée sur les données de la carte réalisée dans la première approche.*

*Ces deux approches préconisées sont représentées par un organigramme (figure C.II-1) illustrant les différentes étapes suivies pour l'une ou l'autre. Afin de valoriser les résultats de ces deux méthodes, nous avons comparé les résultats de la carte pédopaysagique « photo-interprétative » avec ceux de l'image classifiée et corrigée.*



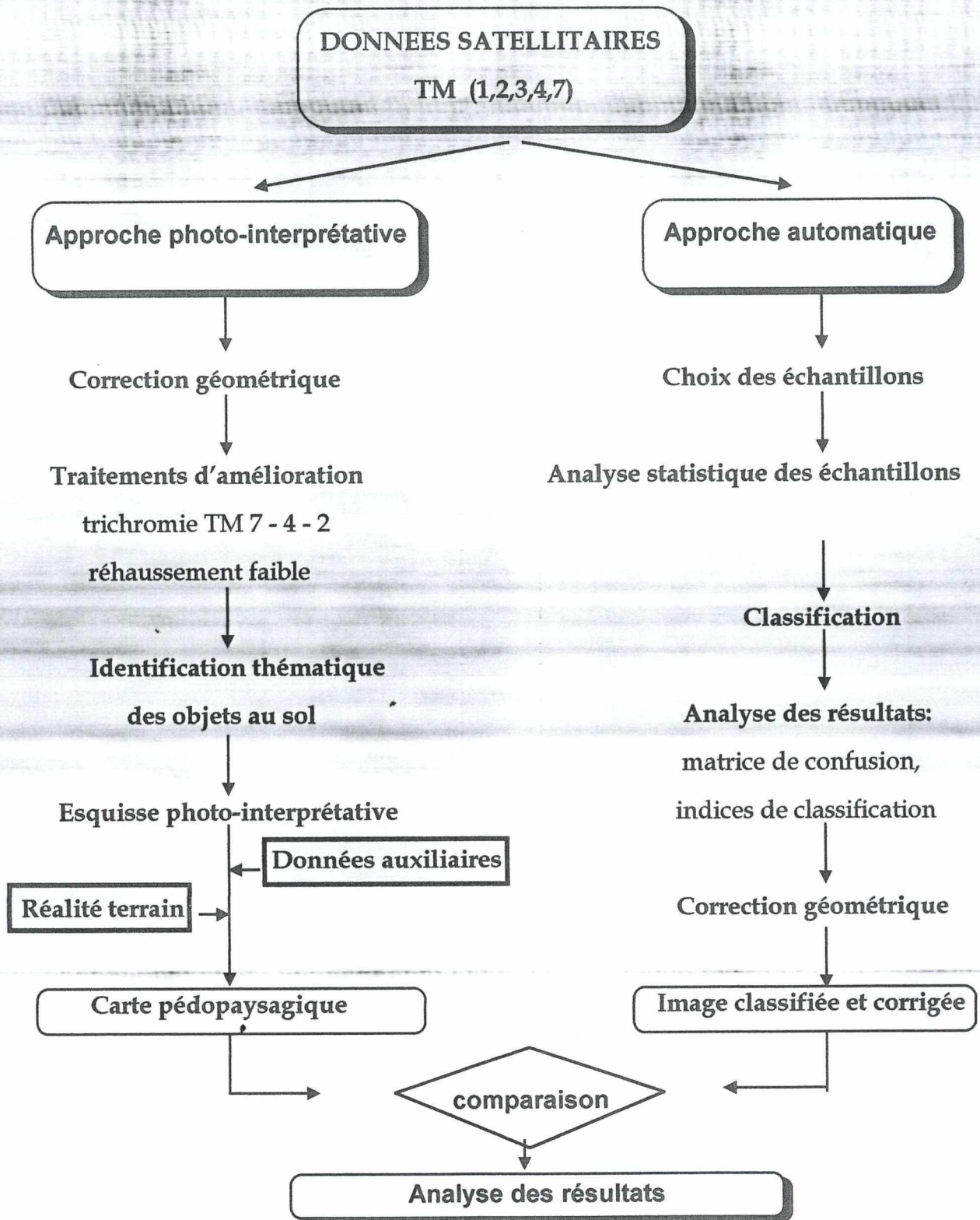


Figure C.II-1 : Organigramme général des deux approches de cartographie pédopaysagique retenues

## II.1 Approche par photo-interprétation

### II.1.1 Partie thématique

#### II.1.1.1 Etude au laboratoire

##### II.1.1.1.1 Collecte des documents de base

La phase préparatoire pour la cartographie des sols, consiste essentiellement en un examen des documents de base disponibles (carte topographique, image satellitale, carte lithologique, carte d'occupation des sols, carte des pentes, MNT, réseaux hydrographiques, données climatiques.).

Cette première analyse a pour but de prévoir la position des limites des grandes unités de sols qu'on peut rencontrer sur terrain et de faire ressortir une première esquisse de leur répartition probable, de manière à pouvoir organiser la prospection systématique.

- Exploitation de la carte topographique

A partir de la carte topographique au 1/100.000<sup>eme</sup>, les courbes de niveau de la zone ont été digitalisées et converties en format raster.

Par le biais du programme d'interpolation, nommé WinMnt (MESBAH C., 1996), un modèle numérique de terrain (MNT) a été élaboré, où chaque pixel représente l'altitude du terrain exprimée en niveau de gris (PROY C., 1986; MEROT P. et EZZAHAR B., 1992 et CALOZ et al, 1993). La vue en perspective, réalisée à partir du MNT, permet de distinguer nettement les grandes unités morphologiques de la zone (cf. figure C.III-7). Il nous a permis, également, d'établir une carte des pentes par l'intermédiaire du module "SLOPE" du logiciel IDRISI (cf. figure C.III-2).



- **Exploitation de l'image Satellitale**

L'image satellitale choisie (composition colorée TM 7 - 4 - 2) a permis dans une première étape la délimitation des zones homogènes de même intensité de gris, puis une dernière interprétation de ce document en utilisant la reconnaissance du terrain afin d'apporter un plus d'informations à l'ensemble de la couverture pédopaysagique de la zone d'étude.

#### II.1.1.1.2 Etablissement d'esquisse

Les zones homogènes délimitées sur images sont superposées à la carte lithologique pour reconnaître la nature du substrat, dans une première étape; puis superposées à la carte des pentes pour reconnaître la morphologie du terrain, dans une deuxième étape et enfin, à celle de l'occupation des sols pour reconnaître la relation sol - végétation. La végétation steppique peut parfois nous renseigner sur la nature du sol.

#### II.1.1.2 Prospection systématique et vérification sur terrain

Vu la diversité morphologique du paysage de la région d'étude, la prospection du terrain a touché à l'ensemble des unités géographiques (petites plaines vallonnées steppiques et zones montagneuses).

Cette phase terrain a permis la reconnaissance de certains caractères intrinsèques (texture, structure, profondeur, matière organique,...) des différentes unités de sols non perceptibles à partir de l'image satellitale, en examinant quelques coupes naturelles ou artificielles (puits abandonnés, fosses des routes, dépressions, etc.).

#### II.1.1.3 Représentation définitive de la carte pédopaysagique

Une fois la phase terrain achevée, nous avons effectué une dernière interprétation de l'image en utilisant la reconnaissance du terrain afin d'apporter un plus d'informations à l'ensemble de la couverture pédopaysagique. Ces informations

peuvent être interprétées spatialement en relation avec les paysages et/ou ponctuellement avec les caractéristiques des sols.

Donc, après l'étude préliminaire, objet d'une première étape effectuée en laboratoire, et la validation des unités de sols sur terrain, nous avons procédé à l'établissement du document final par un croisement automatique des données numérisées à l'aide du logiciel Atlas Gis. Ce document a été réalisé en respectant le cheminement méthodologique des différentes étapes effectuées, illustré par un organigramme (figure C.II-2), inspiré de celui de GIRARD M-C (cf. figure B.II-1).



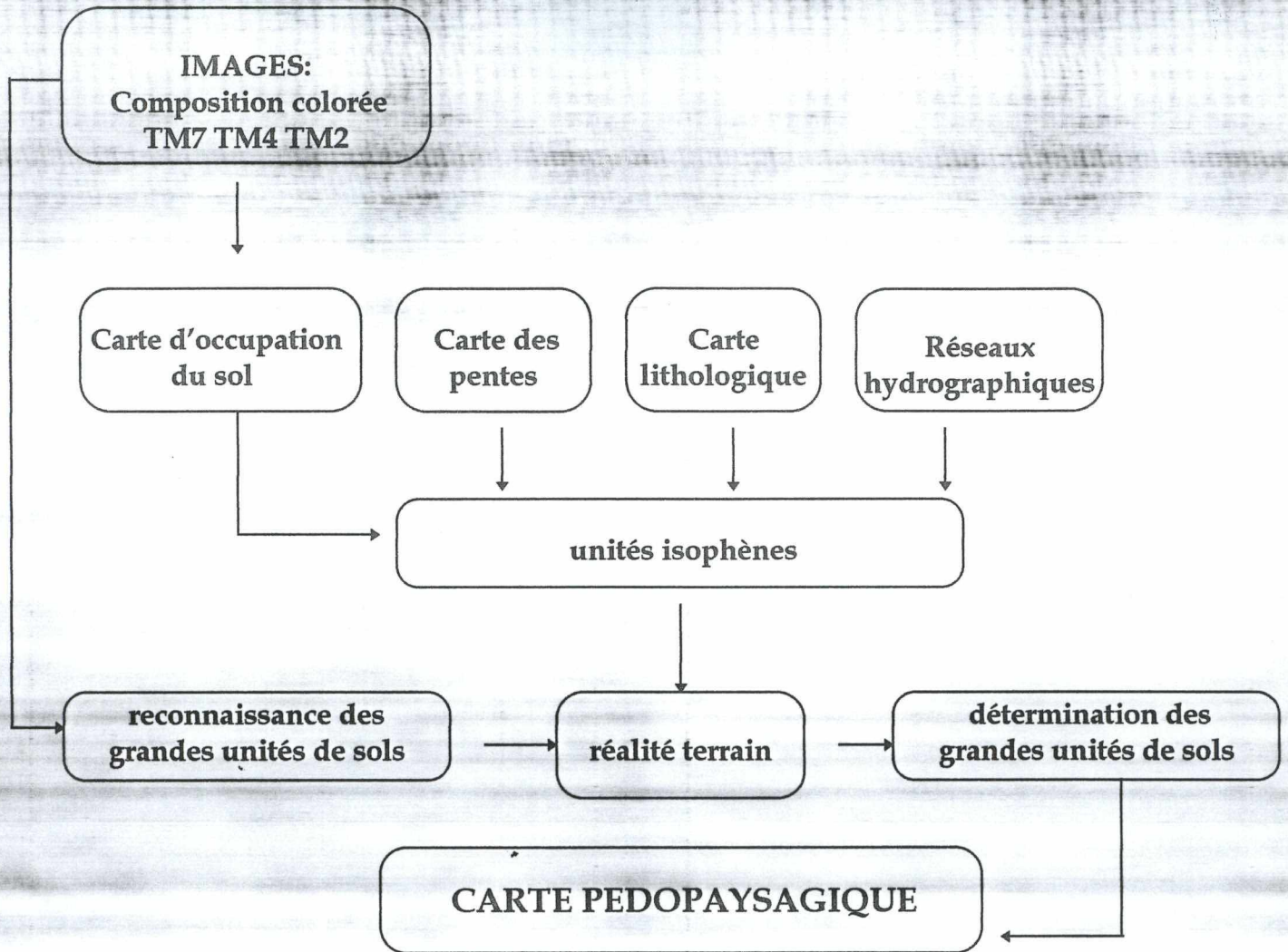


Figure C.II-2 : Organigramme méthodologique de l'approche photo-interprétative.

### II.1.2 Conclusion

La représentation cartographique pédopaysagique de la région d'étude reste une opération thématique. Elle a consisté à replacer chaque unité de sol dans le paysage et mettre en relief les relations qui existent entre chaque type de sol et son milieu, et ceci suivant l'échelle d'étude adoptée ( 1/100.000<sup>eme</sup>). Il s'agit donc d'une approche globale, synthétique et géographique qui permet la compréhension des relations existantes entre ces diverses unités.

### II.2 Approche supervisée basée sur les données de la carte pédopaysagique

Pour apprécier davantage les apports des données satellitales du capteur TM à la cartographie pédopaysagique, nous nous sommes intéressés, au domaine spectral de ces données. Nous avons, donc, réalisé une classification multispectrale, en utilisant l'approche supervisée sur la combinaison des canaux 7 - 4 - 2 de l'image TM du 11-04-1988, en choisissant les parcelles d'apprentissage parmi les unités pédopaysagiques et les unités secondaires (ombre, végétation, carrières) de la carte. La méthode de classification de Maximum de Vraisemblance a été appliquée. (figure C.II-3).



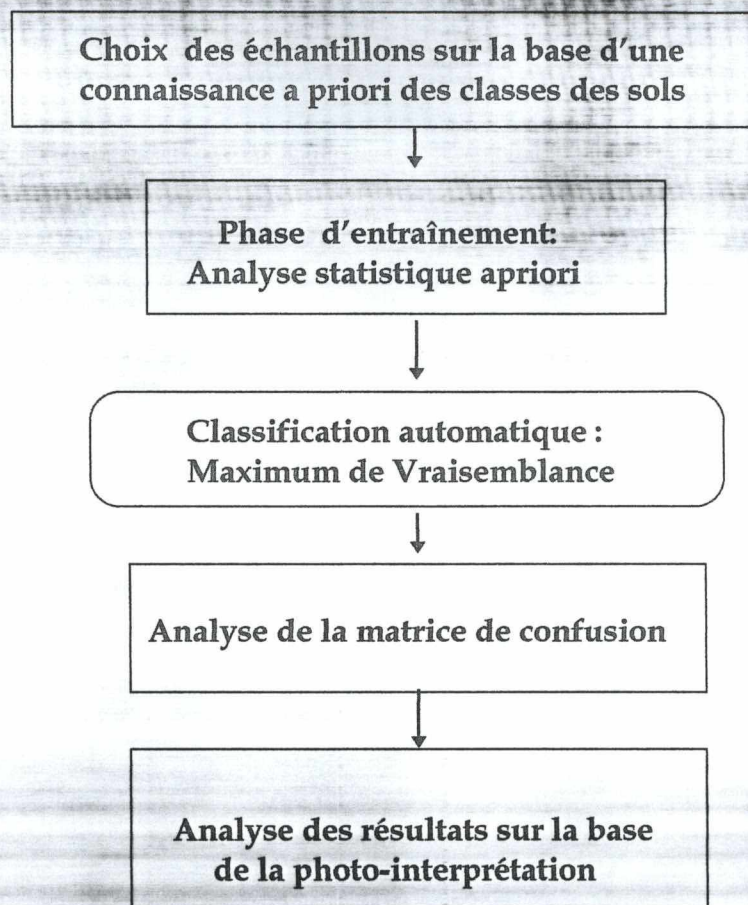


Figure C.II-3 : Organigramme de l'approche a priori de la classification

## II.2.1 Classification multispectrale

Le principe d'une classification multispectrale à priori repose sur l'isolement à l'écran de zones d'entraînement homogènes (ou taxons) qui correspondent à un thème d'occupation de sol ou autre connu et vérifié sur le terrain. Chaque taxon a une gamme de valeurs radiométriques différente pour les cinq (05) bandes spectrales utilisées.

### II.2.1.1 Echantillonnage

Le travail consiste à choisir sur l'image des zones qui serviront d'échantillons pour les classes (3 à 5 échantillons pour chaque classe). Chaque zone est délimitée au moyen d'une souris d'un PC. On leur attribue une couleur, un numéro de classe et



un nom. L'échantillonnage est basé sur treize (13) classes dont dix (10) de pédopaysages, une d'ombre, une de végétation et une de carrières.

L'image d'apprentissage définie par l'ensemble des zones sera utilisée pour effectuer une classification automatique.

### II.2.1.2 Classification

La classification par la méthode de Maximum de Vraisemblance a été effectuée à partir des matrices de covariances calculées pour chaque classe d'apprentissage, entre les cinq canaux TM (1 - 2 - 3 - 4 - 7) de la scène utilisée (voir partie B chap.II). Le test de la classification a été conduit sur les treize (13) taxons retenues, représentatifs des treize (13) classes.

L'ensemble des valeurs radiométriques de chaque taxon dans chaque bande spectrale constitue un nuage de points à trois dimensions dont le centre est calculé automatiquement par l'algorithme de classification.

L'objectif de cette classification est double:

- contribuer à une meilleure compréhension de la distribution spatiale des unités pédopaysagiques;
- analyse des résultats de cette méthode automatique, par le biais des matrices de confusion et faire des comparaisons avec les résultats obtenus par photo-interprétation (carte de base).

### II.3 Conclusion

Ces deux approches méthodologiques de cartographie utilisées pour la région d'étude ont permis de dresser un inventaire des ressources en sol, c'est-à-dire connaissance et classement des pédopaysages à une échelle cartographique au 1/100.000<sup>ème</sup> « cartographie de synthèse » qui répond à l'objectif fixé.



Par l'interprétation spatiale, on peut interpréter les pédopaysages et les mettre en relation avec les unités cartographiques des sols. Nous avons analysé le contenu des plages cartographiques en définissant, ainsi, les contrastes entre les plages, puis la forme de celles-ci, enfin leur position relative dans le paysage.

Les sols souvent à nu peuvent être interprétés ponctuellement à l'aide des éléments directement décelables (couleur, matière organique, calcaire, humidité). Il y a d'autres zones sur lesquelles la végétation recouvre le sol en permanence, ou durant une période donnée, il est donc indispensable d'utiliser les éléments indirectement décelables pour l'interprétation des sols (occupation du sol, morphologie, réseaux hydrographiques, l'impact de l'homme.).

## CHAPITRE III. EXPLOITATION ET ANALYSE DES RESULTATS

### III.1 Résultats

#### III.1.1 Carte des pentes

La carte des pentes a été réalisée à partir d'un Modèle Numérique de Terrain dont la vue en perspective de la région de GHASSOUL (figure C.III-7) a permis de distinguer nettement les grandes unités morphologiques.

Les valeurs de pente ont été regroupées en cinq (05) classes (figure C.III-2) qui sont les suivantes:

- ➔ classe 1: pentes comprises entre 0 à 3%;
- ➔ classe 2: pentes comprises entre 3 à 6%;
- ➔ classe 3: pentes comprises entre 6 à 12%;
- ➔ classe 4: pentes comprises entre 12 à 25%;
- ➔ classe 5: pentes de plus de 25%.



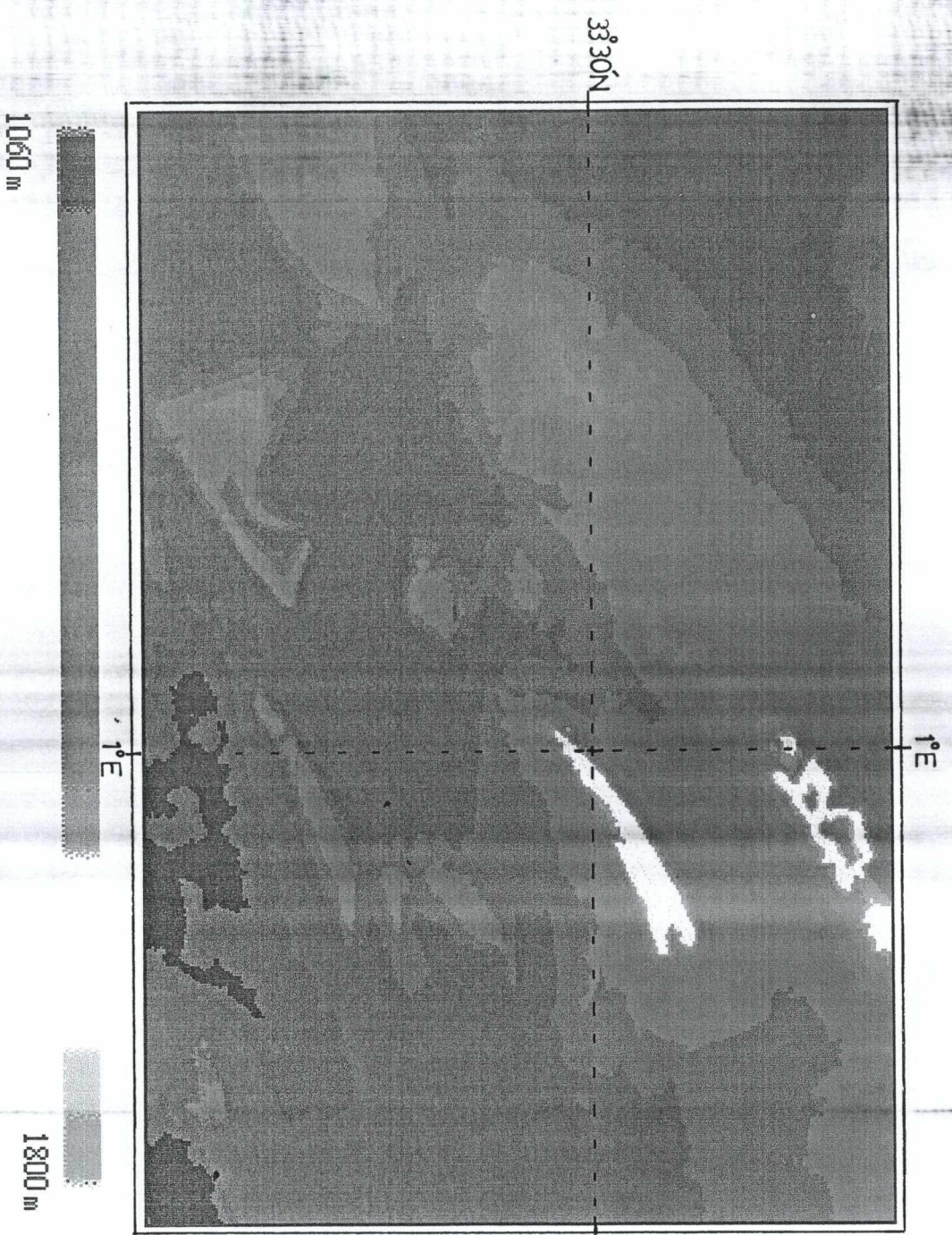



Figure C.III-1: Carte hypsométrique de la région de Ghassoul

Grid  North

kilometers  
 13.37354

**Idrissi**



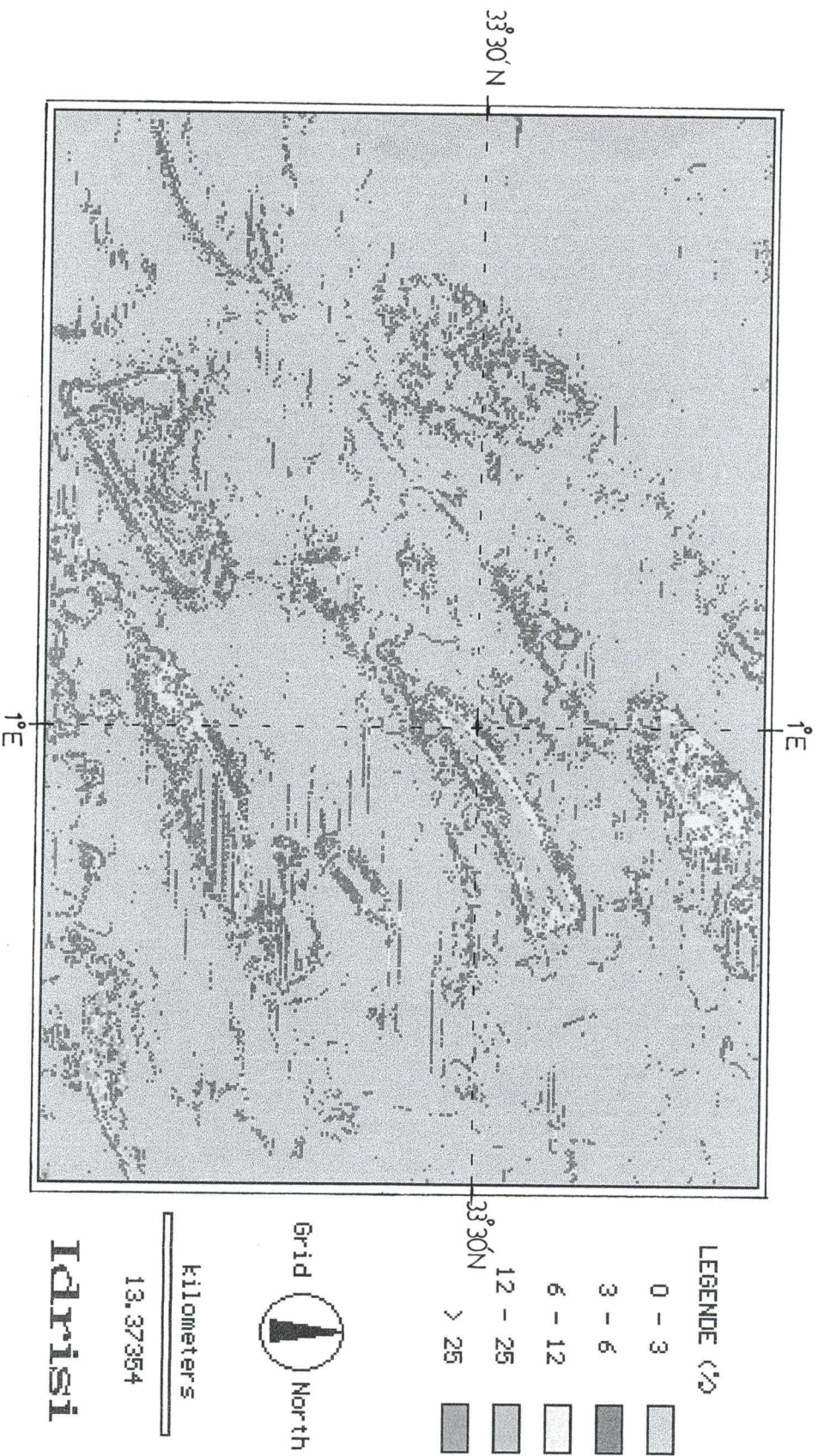


Figure C.III.2 : Carte des pentes de la région de Ghassouli



Après visualisation de ces deux figures (figure C.III-1 et figure C.III-2) et celle du Modèle Numérique de Terrain (cf. figure C.III-7), il ressort que la structure de l'ensemble de la région se présente comme un vaste synclinal dissymétrique, orienté Ouest - Sud Ouest / Est - Nord Est et constitué par une succession de massifs avec quelques dépressions intra-montagneuses.

### III.1.2 Carte lithologique

Cette carte (figure C.III-3) comprend 08 unités lithologiques:

- Unité 1: calcaire;
- Unité 2: grès;
- Unité 3: grès plus argiles ;
- Unité 4: argileux-sableux et conglomératiques;
- Unité 5: formation gypso-saline de type diapirique plus roche verte;
- Unité 6: lit majeur d'oueds, alluvions actuels;
- Unité 7: formations dunaires;
- Unité 8: quaternaire, alluvions anciens.

L'examen de cette carte et l'estimation des superficies de chaque unité lithologique montrent que l'unité 8 (alluvions anciens) est la plus représentée. Les formations occupant de grandes surfaces, sont localisées dans les plaines et les dépressions. Elles sont composées de divers matériaux détritiques. Cette unité est suivie de près par les formations gréseuses (unité 2), formant essentiellement les structures anticlinales, et grès plus argiles (unité 3). Les calcaires disposés en synclinaux et formant le plus souvent les anciens glacis viennent en troisième position. Les formations lithologiques restantes occupent des superficies non significantes par rapport à celles citées ci-dessus.



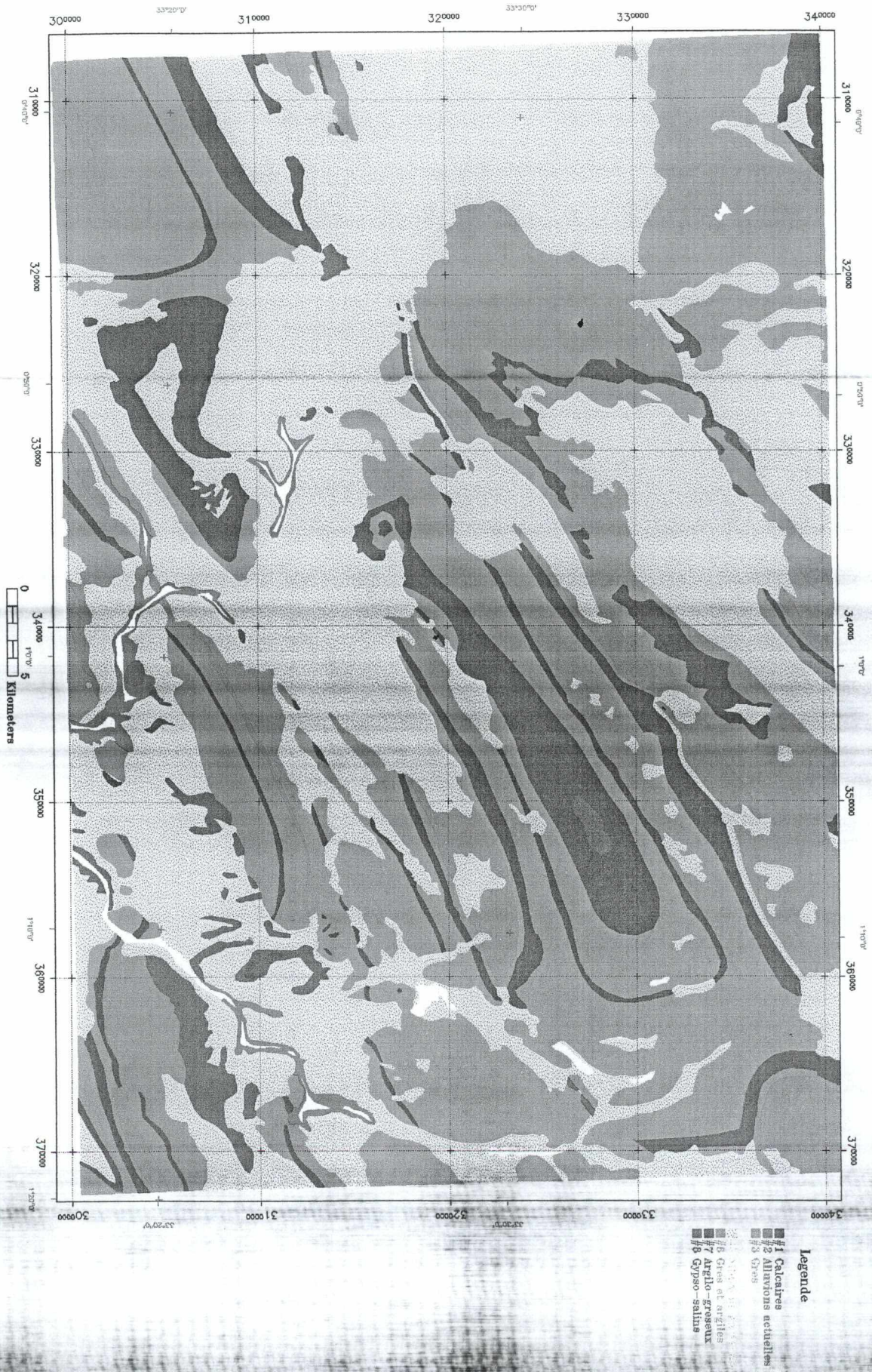


FIGURE C.III-3 : CARTE LITHOLOGIQUE DE LA REGION DE GHASSOUL



### III.1.3 Carte d'occupation du sol

La carte photo-interprétative de l'occupation du sol de la région d'étude, réalisée au 1/100.000<sup>ème</sup> sur une trichromie TM 4,3&1 du 11 avril 1988 (figure C.III-4), comprend sept unités entre couverture végétale et sol nu (figure C.III-5). La végétation prédominante est celle de la steppe (groupements à alfa). Les principaux types de formations végétales sont :

- **les formations forestières**

Ces formations composées essentiellement de maquis très dégradés ne sont présentes que sur les sommets des montagnes. Elles sont constituées essentiellement par le chêne vert, le genévrier oxycédre et de phénicie et se présentent en boisements clairsemés et dégradés. Toutefois, on constate nettement un reboisement de pin d'Alep bienvenant qui se localise au nord-ouest de la commune de Ghassoul.

- **les formations steppiques**

*Les groupements à dominance d'alfa* : sont de loin les plus importants dans la zone d'étude. Ils correspondent à une steppe graminéenne. Ils sont représentés notamment par l'alfa, souvent en association avec le sparte et l'armoise blanche.

*Les groupements à psammophytes*: occupent de grandes superficies et représentent les parcours dégradés. Ils sont constitués essentiellement de *Lygeum spartum*, *Aristida pungens*, *Artemisia compestris* et *Thymelea microphylla*.

- **les terres cultivées**

La pratique de la céréaliculture sur les dayas et les défrichements occasionnés par l'homme est la plus prépondérante (exemple: daiet Guarrâ).

- **les sols nus**

Ce sont généralement les affleurements rocheux où le couvert végétal est non significatif, les dunes vives longeant oued Ghassoul et oued Kerakda et les voiles sableux affleurant au nord-ouest de la commune de Ain el Orak.



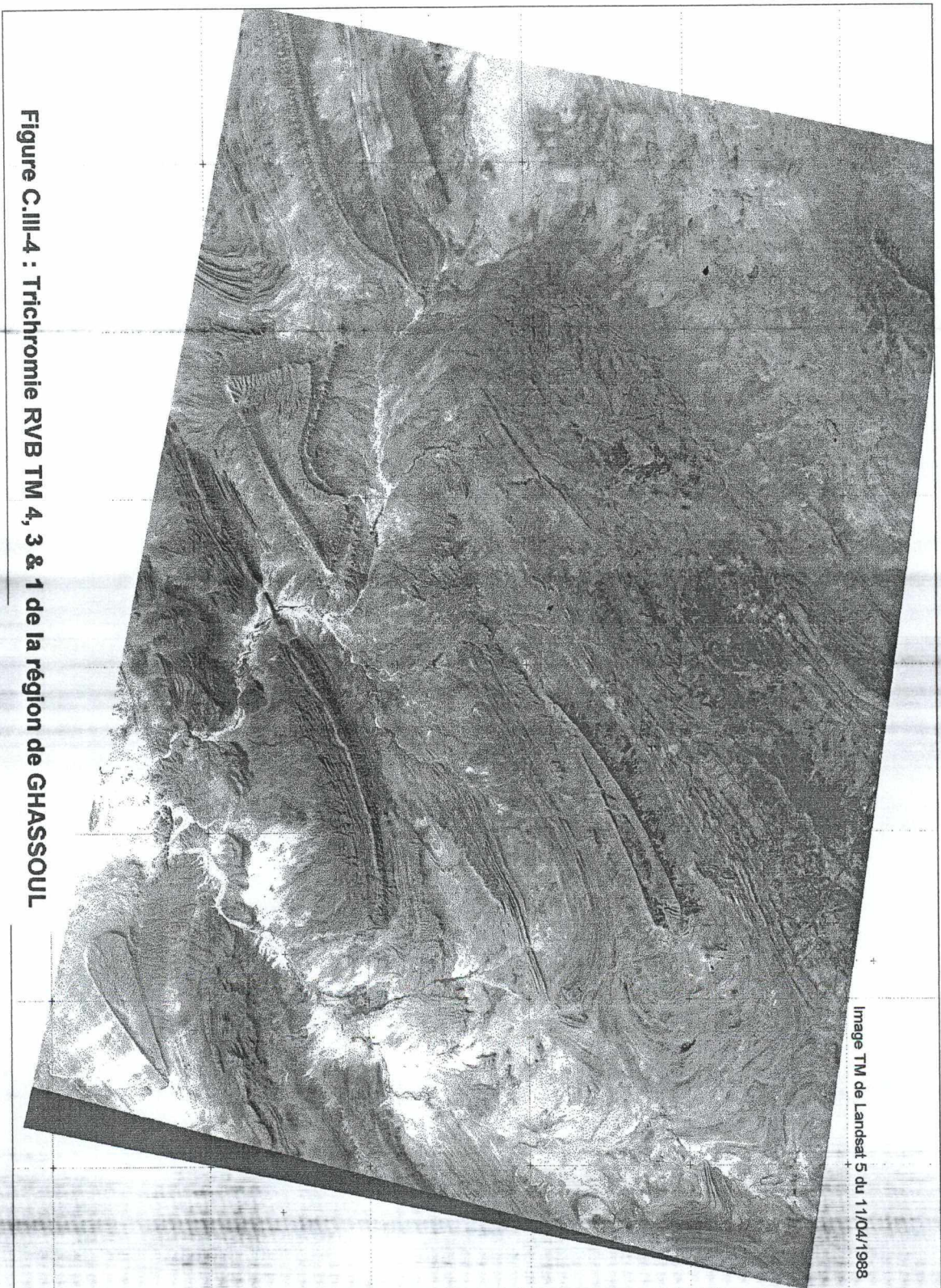
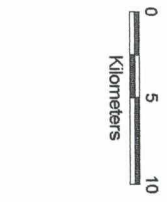
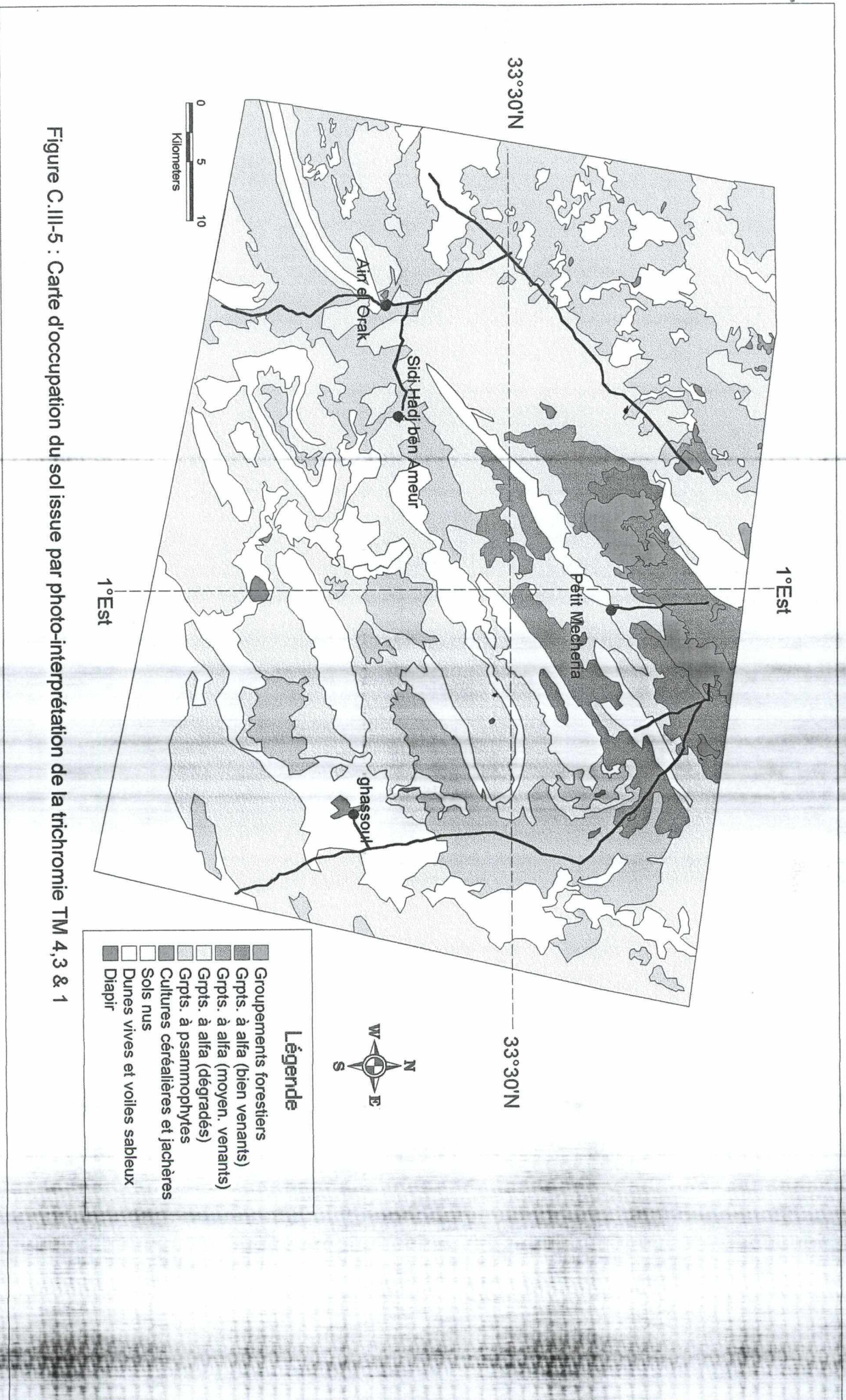


Figure C.III-4 : Trichromie RVB TM 4, 3 & 1 de la région de GHASSOUL





1°Est

1°Est

33°30'N

33°30'N



**Légende**

- Groupements forestiers
- Grpts. à alfa (bien venants)
- Grpts. à alfa (moyen. venants)
- Grpts. à alfa (dégradés)
- Grpts. à psammophytes
- Cultures céréalières et jachères
- Sols nus
- Dunes vives et voiles sableux
- Diapir

Figure C.III-5 : Carte d'occupation du sol issue par photo-interprétation de la trichromie TM 4, 3 & 1



### III.1.4 Carte pédopaysagique par photo-interprétation

#### III.1.4.1 Introduction

La carte pédopaysagique de reconnaissance de la zone à l'échelle du 1/100.000<sup>ème</sup> réalisée dans une première étape a servi de document de base.

L'objectif de l'établissement de la carte pédopaysagique est de définir les grandes unités de sols et de préciser leur extension géographique. La cartographie consiste en une opération de synthèse qui vise :

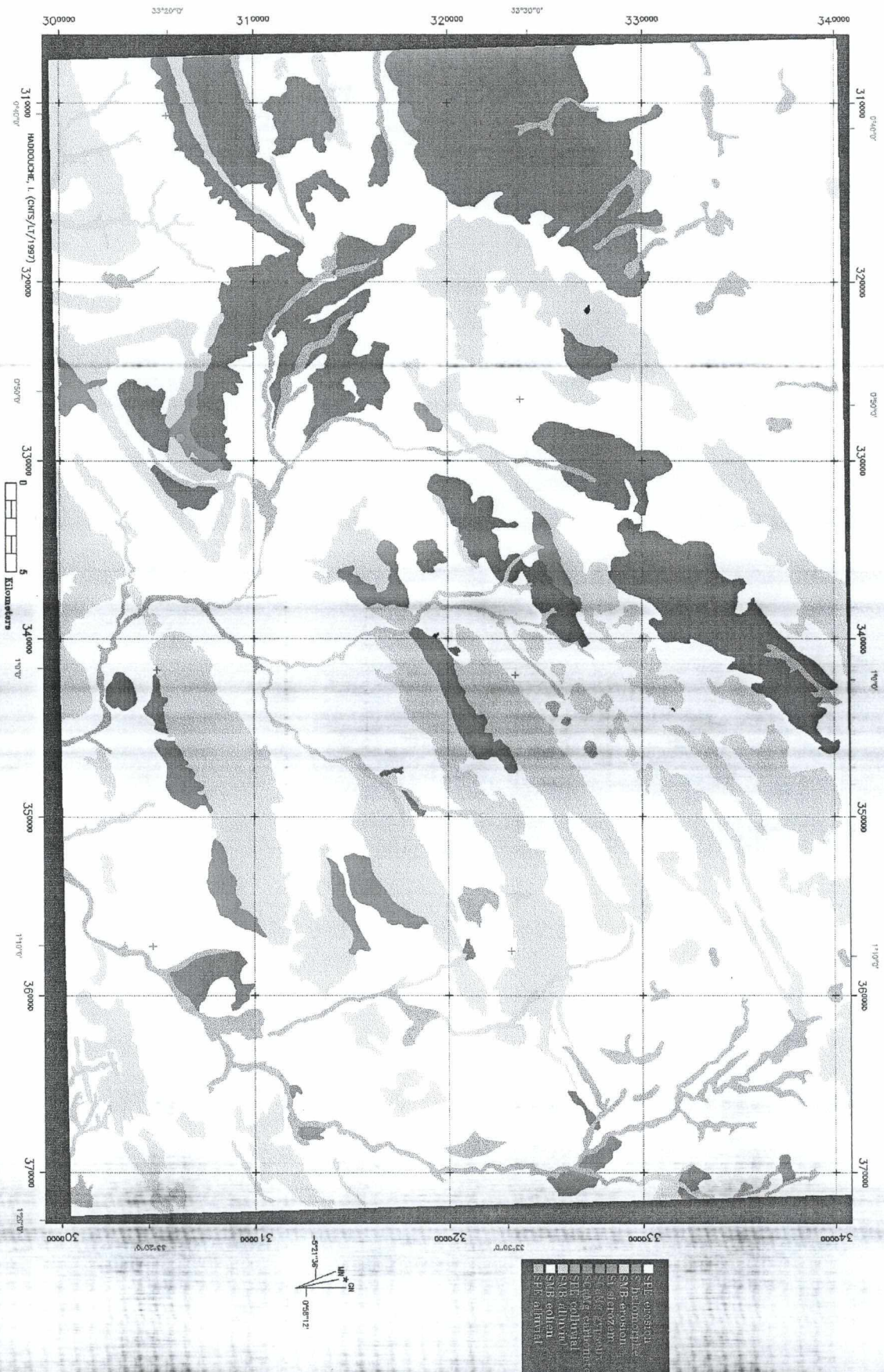
- ➡ à replacer chaque unité de sol dans le paysage;
- ➡ à mettre en relief les relations qui existent entre chaque type de sol et son milieu ( végétation ; lithologie ; pente; climat ).

L'approche préconisée pour la cartographie des sols peut être différente en fonction du but recherché et l'échelle adoptée. Les critères de reconnaissance et de classement de chaque type de sol sont tirés à partir de la classification française « CPCS, 1967. »

La digitalisation, à l'aide du logiciel AtlaGis, a permis d'obtenir une "carte pédopaysagique numérique" (figure C.III-6). Par la suite, elle a été superposée à l'image classifiée (classification supervisée), afin de vérifier les limites cartographiques.




FIGURE C.III-6 : CARTE PEDOPAYSAGIQUE DE LA REGION DE GHASSOUL






## LA LEGENDE DE LA CARTE PEDOPAYSAGIQUE DE LA REGION DE GHASSOUL


## CLASSE I : SOLS MINERAUX BRUTS.


 **SOLS MINERAUX BRUTS D'EROSION.**  
sur les versants des djebels et/ou affleurements rocheux.  
Grès et argiles gréseuses.  
Pente : > 12% .


 **SOLS MINERAUX BRUTS D'APPORT ALLUVIAL.**  
sur les lits d'oueds.  
Dépôts détritiques caillouteux.  
Pente : 0 - 3%.

 **SOLS MINERAUX BRUTS D'APPORT EOLIEN.**  
sur les plaines glacis.  
Dépôts éoliens.  
Pente : 0 - 3%.


## CLASSE II : SOLS PEU EVOLUES.


 **SOLS PEU EVOLUES D'EROSION.**  
sur les glacis de piémonts et/ou les plaines glacis.  
Grès; argiles et marnes.  
Pente : < 25%.

 **SOLS PEU EVOLUES D'APPORT ALLUVIAL.**  
sur les terrasses d'oueds alluvionnées;  
les zones d'épandage et les dayas.  
Dépôts quaternaires récents (alluvions).  
Pente : 0 - 3 et 3 - 6%.


 **SOLS PEU EVOLUES D'APPORT COLLUVIAL.**  
sur les piémonts des djebels et les cônes de déjection.  
Colluvions du quaternaire.  
Pente : 6 - 12%.

## CLASSE III : SOLS CALCIMAGNESIQUES.


 **SOLS CALCIMAGNESIQUES CARBONATES.**  
sur buttes témoins et/ou glacis encroûtés de piémonts.  
Calcaires du quaternaire ancien et moyen.  
Pente : < 12%.

 **SOLS CALCIMAGNESIQUES A ENCROUTEMENTS GYPSEUX.**  
sur glacis de raccordement et/ou anciennes zones de blocage.  
Encroûtements gypseux (trias).  
Pente : 0 - 6% et > 12%.

## CLASSE IV : SOLS ISOHUMIQUES.

 **SOLS ISOHUMIQUES « SIEROZEMS ».**  
sur plaines glacis et/ou dépressions alluviales.  
Alluvions anciens.  
Pente : 0 - 3%.

## CLASSE V : SOLS SODIQUES

 **SOLS SODIQUES**  
Sur dépressions alluviales.  
Alluvions récents.  
Pente: 0 - 3%.



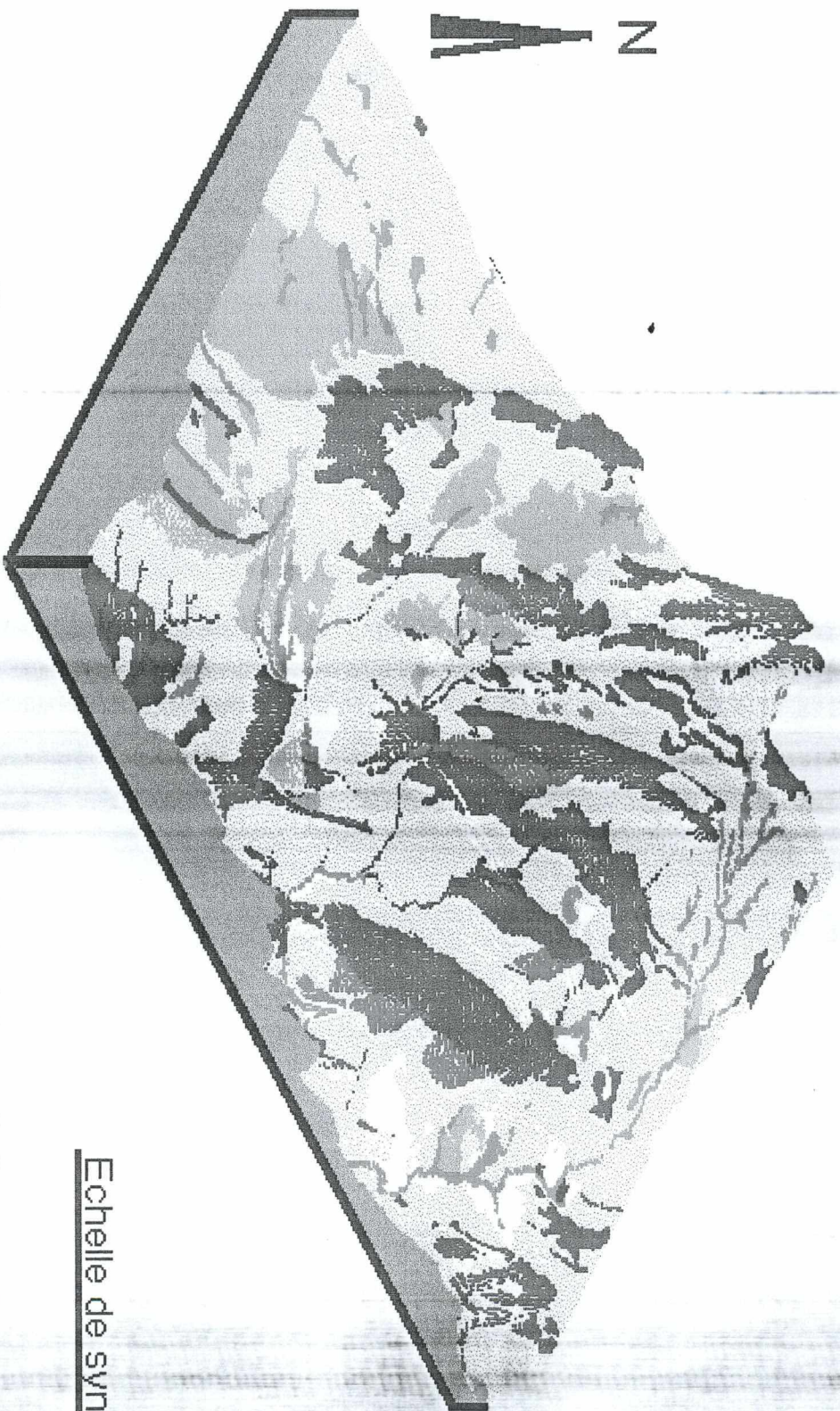


Figure C.III- 7 Vue en perspective de la carte photo-interprétative "pédopaysagique"  
"drapée au Modèle Numérique de Terrain" de la région de Ghassouli

Echelle de synthèse



### III.1.4.2 Interprétation

Il est admis pour tous que l'interaction des facteurs du milieu (morphologie, lithologie, pente, végétation, climat et l'homme) influent sur la tendance évolutive du sol. Cette évolution peut être dans le sens d'une pédogenèse donc progressive, ou dans le sens d'une morphogenèse donc régressive.

Comme nous l'avons rappelé dans le premier chapitre de la partie application, les sols de la région d'étude sont en général peu épais, parfois inexistant. Ils sont caractérisés par une évolution beaucoup plus régressive que l'inverse (la morphogenèse qui l'emporte sur la pédogenèse).

- **Unités de sols**

Les grandes unités de sols qui existent dans la région d'étude sont:

- ➔ les sols minéraux bruts « SMB »
- ➔ les sols peu évolués « SPE »
- ➔ les sols calcimagnésiques « SCaMg »
- ➔ les sols isohumiques « SIsOh »
- ➔ les sols sodiques « SSod »

- **Leurs caractéristiques**

A notre connaissance, il n'existe aucune étude ponctuelle au niveau de notre zone d'étude. Néanmoins, nous avons jugé utile de donner une synthèse des caractéristiques des sols qui s'y trouvent classiquement dans la steppe, en faisant référence aux différents travaux pédologiques réalisés par DURAND (1954), AUBERT (1960), BELOUAM et al. 1974, BERAUD et al. 1975, POUGET (1980), DJEBAILI et al (1982), HALITIM (1988) et autres.



les « SMB » : Ce sont généralement des sols de type de profil (A) C, ne contenant que des traces de matière organique dans les 10 cm supérieurs et/ou pas plus de 1 % dans les 2 à 3 cm supérieurs.

Ils s'observent sur des roches ou des formations superficielles qui n'ont pas encore ou qui ne peuvent subir d'évolution pédologique. Les sols de cette classe sont définis par:

- les « SMB » d'érosion;
- les « SMB » d'apport alluvial;
- les « SMB » d'apport éolien.

les « SPE »: Ce sont des sols de type de profil AC contenant plus que des traces de matière organique dans les 20 cm supérieurs et/ou plus de 1 à 1.5% de matière organique sur plus de 2 à 3 cm .

Les sols de cette classe sont définis par:

- les « SPE » d'érosion;
- les « SPE » d'apport alluvial;
- les « SPE » d'apport colluvial.

les « SCaMg »: Ce sont des sols de type de profil AC ou A(B)C. Dans l'horizon A , la matière organique est fortement liée aux éléments minéraux et forme avec eux des complexes organo-minéraux très stables.

Les sols de cette classe sont définis par:

- les "SCaMg" carbonatés;
- les "SCaMg" à encroûtement gypseux.

les « SIsol » Ce sont des sols de type de profil AC où le matériau minéral est souvent peu altéré. Ils sont des sols de climat aride et relativement pauvres en matière organique ( Siérozèms).



les « SSod » Le profil est de type AC. Ce sont des sols salins dont l'évolution du matériau minéral est conditionnée par l'ion Na (agent dispersant) sous ses deux formes : saline ou échangeable.

Tableau C.III-1 : Tableau des résultats d'interprétation pédopaysagique de la région de Ghassoul

PEDOPAYSAGES	CODE	MORPHOLOGIE	PENTE(%)	CODE
Sols minéraux bruts d'érosion	SMBe	sommets de djebels avec affleurement rocheux.	12 à 25	D
			et > 25	E
Sols minéraux bruts d'apport éolien.	SMBa	plaine glacis.	00 à 03	A
Sols peu évolués d'érosion.	SPEe	glacis de piémonts et/ou plaine glacis.	12 à 25	D
			00 à 03	A
			et 03 à 06	B
Sols peu évolués d'apport alluvial.	SPEa	terrasses récentes, zones d'épandage et Dayas.	03 à 06	B
Sols peu évolués d'apport colluvial.	SPEc	piémonts des djebels et les cônes de déjection.	06 à 12	C
Sols calcimagnésiques carbonatés.	SCMc	butes témoins et/ou glacis encroutés de piémonts.	00 à 03	A
			et 03 à 06	B
Sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux.	SCMg	glacis de raccordement et/ou anciennes zones de blocage.	00 à 03	A
			et 03 à 06	B
Sols isohumiques (Siérozèms)	SIsh	plaine glacis et dépressions alluviales.	00 à 03	A
Sols sodiques.	Ssod	dépressions alluviales.	00 à 03	A



Les résultats de l'interprétation pédopaysagique <sup>de</sup> la région d'étude, résumés par le tableau ci-dessus, montrent que la répartition géographique des sols est, en général, suivant la situation géomorphologique, ainsi que le degré de pente (figure C.III-7). Les sols minéraux bruts d'érosion, par exemple, sont liés aux affleurements rocheux et sont situés sur de fortes pentes. En fonction du substrat rocheux, on distingue principalement les lithosols et les rigosols en altitude.

Les zones des terrasses d'oueds et les dayas, situées sur des pentes nulles à faibles, correspondent, généralement, aux glacis du quaternaire récent et au zone d'épandage et sont constituées, essentiellement, de dépôts alluviaux.

### III.1.5 Carte pédopaysagique par classification automatique

La classification supervisée d'image est un outil de cartographie adapté des unités de paysages homogènes. Cependant, il reste à vérifier que la classification, supervisée par le choix de parcelles d'entraînement, est bien représentative de l'état de surface des sols et non de leur type d'occupation ou d'utilisation.

Le test de la classification multispectrale a été réalisé sur cinq (05) canaux TM de Landsat 5 (TM 1, 2, 3, 4 & 7). Il a été conduit sur les treize (13) échantillons retenus sur la composition colorée TM 7, 4 & 2 (figure C.III-8), représentatifs de treize (13) classes dont dix (10) de sols, une d'ombre, une de végétation et une de carrières (figure C.III-8).



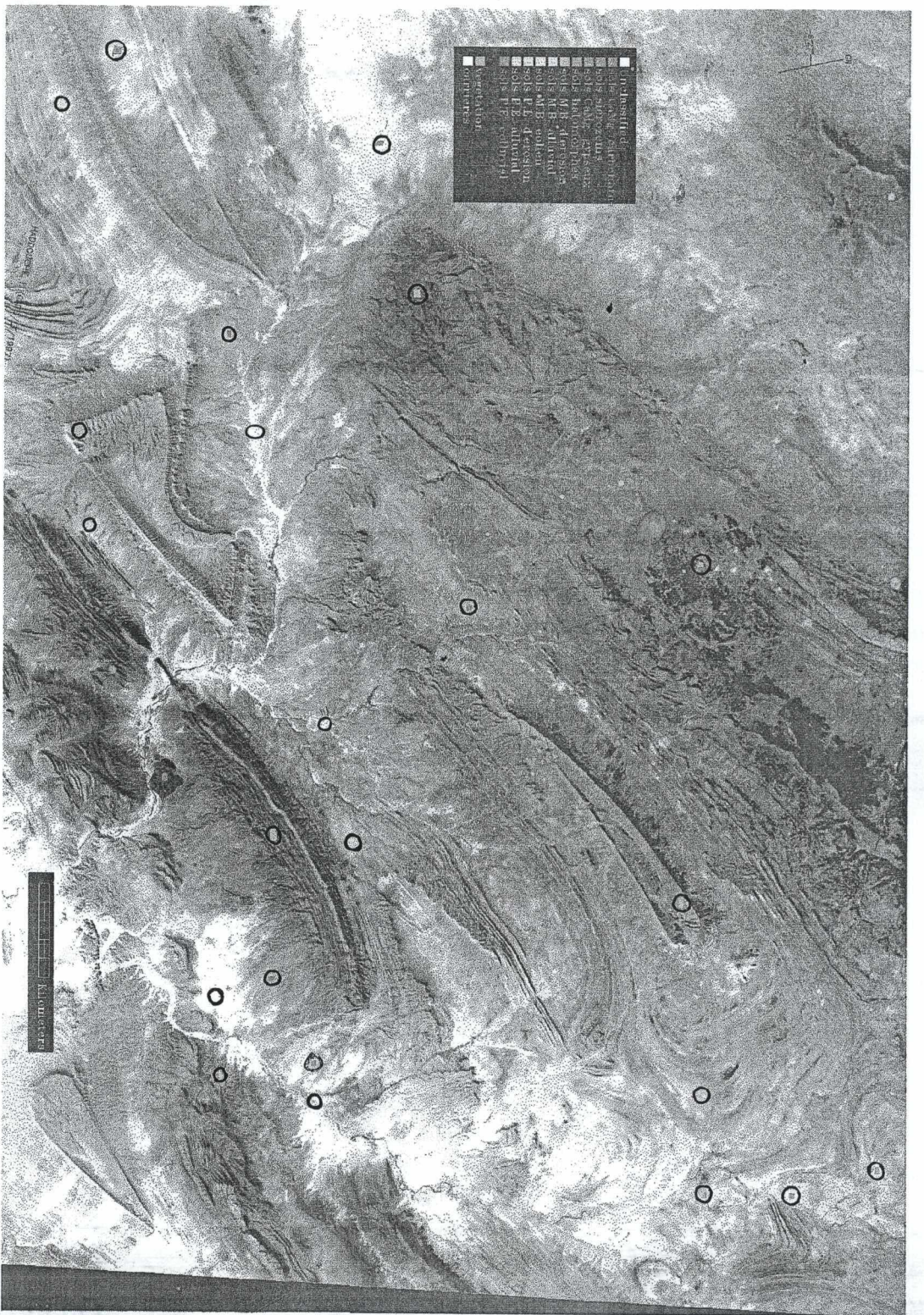


FIGURE C.III-8 : POSITIONNEMENT DES ECHANTILLONS SUR L'IMAGE TM 7, 4 & 2



### III.1.5.1 Analyse des courbes de réflectance spectrales des échantillons

L'interprétation des signatures spectrales des objets montre que les bandes dans le proche infrarouge (TM 4) et le moyen infrarouge (TM 7) sont celles qui apportent le plus d'informations au niveau pédopaysagique et géomorphologique dans la région d'étude (figure C.III-9).

Avant l'interprétation de la classification proprement dite, les courbes de réflectance des pédopaysages, illustrées par la même figure montrent le comportement de ces derniers dans le domaine spectral des canaux choisis, permettant ainsi, en partie, d'expliquer les confusions qui apparaissent dans la classification.



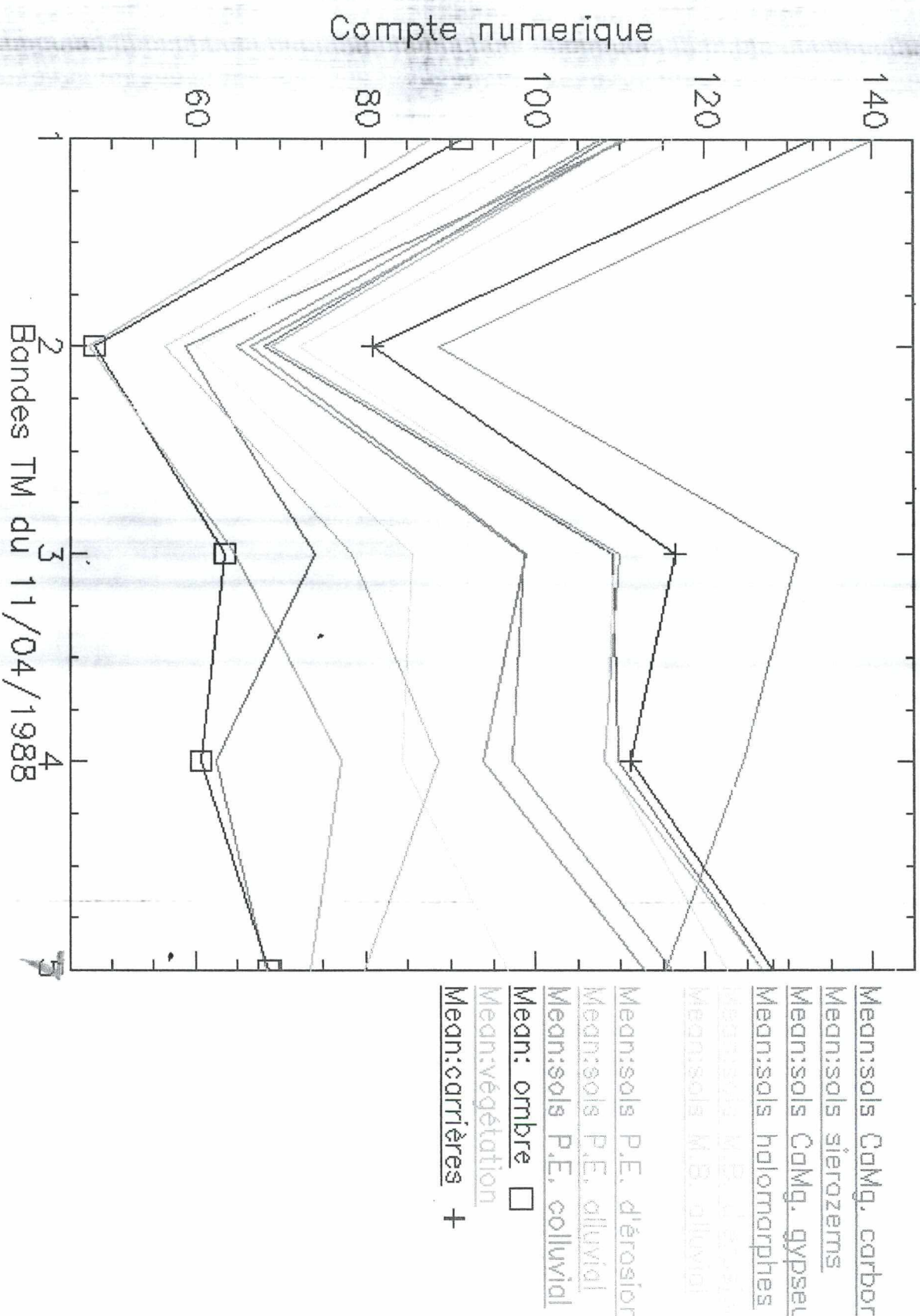
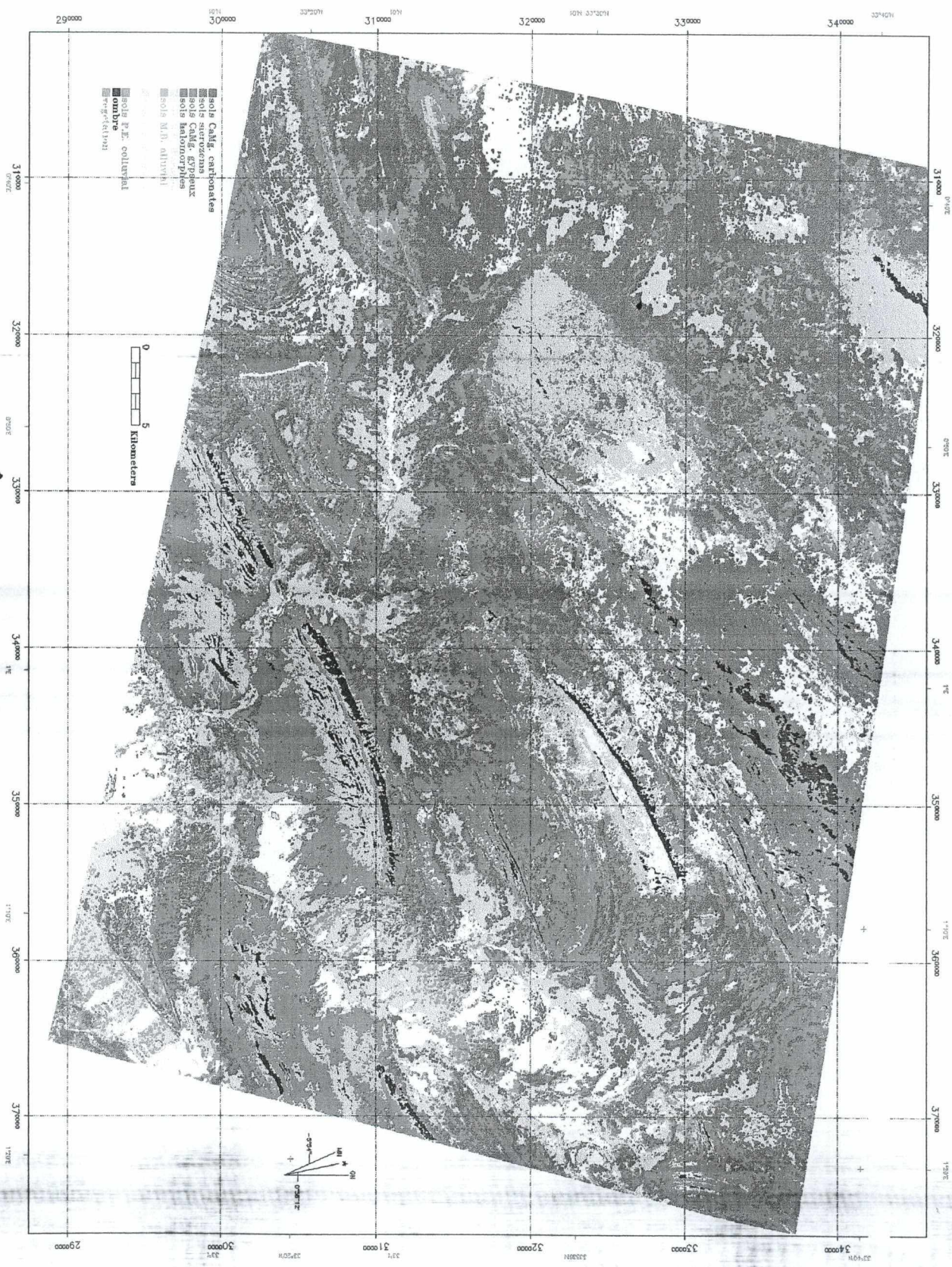


Figure C.III-9 : Réponses spectrales des échantillons





**FIGURE C.III-10 : IMGE CLASSIFIEE PAR LA METHODE PAR MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE DE LA REGION DE GHASSOUL**



### III.1.5.2 Matrice de confusion

C'est un tableau à double entrée (tableau C.III-2). En ligne s'expriment les résultats par rapport aux différentes classes thématiques définies dans l'image classifiée (figure C.III-10). Les colonnes donnent les résultats par rapport aux zones de références délimitées (zones d'apprentissages). La matrice de confusion permet de vérifier la séparabilité effective des classes constituées et permet aussi de rendre compte de la qualité de leurs description. Le niveau de confusion existant entre les classes dépend:

- de l'écart entre les valeurs radiométriques moyennes dans chacun des canaux;
- de la variance « radiométrique » pour chaque canal. Si les radiométries sont fortement dispersées autour des valeurs moyennes, les risques de confusion entre les classes seront accrus.

Dans une zone d'apprentissage, les pixels se répartissent de la manière suivante:

$$m = X_{ii} + X_{ij} + X_{oi}; \quad i \neq j$$

avec  $m$  : le nombre de pixels dans la zone d'apprentissage;

$X_{ii}$  : le nombre de pixels, affectés correctement à la classe d'apprentissage;

$X_{ij}$  : la somme des pixels, appartenant à des classes différentes de celle définie dans la zone de référence;

$X_{oi}$  : le nombre de pixels non classés dans la zone de référence.



Zone d'apprentissage				
CLASSES	classe 1	....classe i	....classe r	total
non-classés	Xo1	.... Xoi	.... Xor	Xo+
classe 1	X11	.... X1i	.... X1r	X1+
classe i	Xi1	.... Xii	.... Xir	Xi+
.....				
.....				
classe r	Xr1	.... Xri	.... Xrr	Xr+
Total <sup>1</sup>	X+1	.... X+i	.... X+r	M
Total <sup>2</sup>	X+o1	.... X+oi	.... X+or	Mo
(1) Pixels non-classés exclus de l'évaluation.				
(2) Pixels non-classés inclus dans l'évaluation.				

Tableau C.III-2: Matrice de confusion

**Xii** nombre de pixels de la classe i, classés correctement

**Xij** i ≠ j, erreur de commission le long d'une ligne (Xi1.....XXir);

**Xij** i ≠ j, erreur d'omission le long d'une colonne (X1i.....Xri);

**Xo+** fréquence marginale de la ligne « o » des pixels non-classés;

**Xi+** fréquence marginale de la ligne i;

**X+i** fréquence marginale de la colonne i, pixels non-classés exclus;

**r** nombre de classes;

**M** l'ensemble des pixels de toutes les zones de référence,  
pixels non-classés exclus;

**Mo** l'ensemble des pixels de toutes les zones de référence,  
pixels non-classés inclus.



Classe classe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	TOTAL
Pixels non classés (0)		2				2									4
S.CaMg. carbonaté (1)	2	279	77				42	13	33						446
Siérozèms (2)		1	145		2	3	8		11		21				191
S.CaMg. gypseux (3)			2	128			1		8			1			140
S.halo-morphe (4)		1			249										250
S.M.B.érosion (5)	2	6	4	31		456	69		15	137	49	56	2		827
S.M.B.alluvial (6)			2				22		2					3	29
S.M.B.éolien (7)		5						73	4						82
S.P.E.érosion (8)		44	1				12	7	222						286
S.P.E.alluvial (9)						11				67	1		11		90
S.P.E.colluvial (10)			12			5					81				98
Ombre (11)						2						31			33
Végétation (12)													103		103
Carrières (13)							1							11	12
TOTAL	4	338	243	159	251	479	155	93	295	204	152	88	116	14	2591

Tableau C.III-3 : Matrice de confusion en nombre de pixels



Classe classe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Pixels non classés (0)														
S.CaMg. carbonaté(1)	0,4	56,25	15,52				8,46	2,62	16,73					
siérozèms (2)		0,52	75,91		1,04	1,57	4,18		5,76					
S.CaMg. gypseux (3)			1,42	91,42			0,71		5,71			0,71		
S.halomorphe (4)		0,4			99,6									
S.M.B. érosion (5)	0,24	0,72	0,48	3,74		55,13	8,34		1,81	16,56	5,92	6,77	0,24	
S.M.B. alluvial (6)			6,89				75,86		6,89					10,34
S.M.B. éolien (7)		6,09						89,02	4,87					
S.P.E. érosion (8)		15,38	0,34				4,19	2,44	77,62					
S.P.E. alluvial (9)						12,22				74,44	1,11		12,2	
S.P.E. colluvial (10)			12,24			5,1					82,65			
Ombre (11)						6,06						93,93		
Végétation (12)													100	
Carrières (13)							8,33							91,66

Tableau C.III-4 : Matrice de confusion en pourcentage



### Indices de classification

$$P_i = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \quad (1)$$

L'indice  $P_i$  est le rapport entre le nombre de pixels classés correctement et la fréquence marginale de la colonne «  $i$  ». Il permet de mesurer l'erreur d'omission pour la classe «  $i$  », les pixels non-classés sont exclus et aussi de mettre en évidence la domination d'une classe dans sa zone de référence. Pour le calcul de l'erreur d'omission, nous devons modifier l'indice «  $P_i$  » afin d'inclure les pixels non-classés. L'indice «  $P_i$  » de l'équation (1) devient alors équation (2).

- **erreur d'omission ou indice «  $P_{oi}$  »**

C'est le rapport entre le nombre de pixels classés correctement et le nombre de pixels dans la zone de référence de la classe «  $i$  ».

$$P_{oi} = \frac{X_{ii}}{X_{+oi}} \quad (2)$$

La comparaison entre l'indice  $P_i$  et  $P_{oi}$  met en évidence l'erreur due au nombre de pixels non-classés.

- **erreur de commission ou indice «  $U_i$  »**

Est défini pour chaque classe «  $i$  » par le rapport entre le nombre de pixels classés correctement et la fréquence marginale de la ligne «  $i$  ».

$$U_i = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \quad (3)$$



L'indice «  $U_i$  » exprime les confusions entre les classes, c'est à dire il exprime la répartition d'une classe dans toutes les zones de fréquence définies dans l'image pour l'ensemble des classes.

- **indice G ou mesure globale**

Il traduit globalement les résultats de la classification, en comparant la somme des pixels bien classés et la totalité des pixels non-classés exclus, c'est à dire il exprime les pixels classés correctement par rapport aux pixels mal-classés.

$$G = \frac{\sum X_{ii}}{M} \quad (4)$$

- **indice KAPPA « K »**

Il est similaire à l'indice G, il est sensible aux erreurs d'omission et de commission (COHEN, 1960 in MOSTEFAOUI, 1997).

$$K = M \cdot \sum X_{ii} - \frac{\sum X_{i+} \cdot X_{+i}}{M^2} - \sum X_{i+} \cdot X_{+i} \quad (5)$$



Indice / Classe	Ui (Commission)	Pi (omission)	G (globale)	0,721
Pixels non classés (0)	0	0	K (Kappa)	0,721
S.CaMg. carbonaté (1)	0,626	0,825		
Siérozèms (2)	0,759	0,597		
S.CaMg. gypseux (3)	0,914	0,805		
S.halo-morphe (4)	0,996	0,992		
S.M.B.érosion (5)	0,551	0,952		
S.M.B.alluvial (6)	0,759	0,142		
S.M.B.éolien (7)	0,890	0,785		
S.P.E.érosion (8)	0,776	0,753		
S.P.E.alluvial (9)	0,744	0,328		
S.P.E.colluvial (10)	0,827	0,533		
Ombre (11)	0,939	0,352		
Végétation (12)	1,000	0,888		
Carrières (13)	0,917	0,786		

Tableau C.III-5 : Résultats des indices de classification

### III.1.5.3 Interprétation

#### III.1.5.3.1 Analyse de la matrice de confusion

La précision de la classification peut être évaluée individuellement pour chaque classe, ou globalement sur l'ensemble des éléments de la matrice de confusion (FUNG et LE DREW, 1988 in MOSTEFAOUI, 1997).

L'analyse de la matrice de confusion donne pour chacune des zones d'apprentissages (disposées en lignes) le nombre de pixels affectés aux différentes classes (disposées en colonnes). La diagonale fournit le nombre de pixels qui sont probablement bien classés pour chaque classe.



L'examen de la matrice de confusion a permis de définir avec précision les différentes classes, possibles de les mettre en évidence, basées sur leurs valeurs radiométriques, d'autres mal classées présentant des confusions à des degrés plus ou moins important.

#### III.1.5.3.2 Analyse globale des résultats

L'évaluation des résultats s'est faite en comptabilisant, par rapport à la carte de base, les pixels bien classés après traitement (élimination des pixels isolés).

L'analyse des treize (13) classes est faite schématiquement en deux niveaux de perception. La première concerne les principales classes ou classes fondamentales de pédopaysages (dix classes) et la seconde les classes secondaires (trois classes) dont une d'ombre, une de végétation et une dernière de carrières.

#### III.1.5.3.3 Analyse classe par classe

##### □ classes pédopaysagiques

L'efficacité de la classification est différente d'un groupe à l'autre (figure C.III-11). Pour les classes qui sont particulièrement moins bien classifiées (au dessous de 70% de pixels bien classés), nous avons identifié deux types:

- les sols minéraux bruts d'érosion (uniquement 456 pixels sur 827 sont bien classés ce qui correspond à une proportion de 55,13 %);
- les sols calcimagnésiques carbonatés (uniquement 279 pixels sur 496 sont bien classés, ce qui correspond à une proportion de 56,25 %).

Les sols minéraux bruts d'érosion sur le Crétacé présentent des états de surface proches des sols peu évolués d'apport alluvial (16,56% de pixels affectés) et des sols minéraux bruts d'apport alluvial (08,34% de pixels affectés), composés souvent d'éléments grossiers (sable, gravier, cailloux et galets) et déposés le long des lits d'oueds ou près des méandres. Ce sont généralement des calcaires disposés en synclinaux et formant le plus souvent les anciens glacis. Alors que, sur le Primaire, ces sols ne se confondent pas avec les autres classes. C'est le cas des formations



gréseuses et grès plus argiles, formant essentiellement les structures anticlinales. Néanmoins, nous avons une bonne homogénéité de l'échantillon (l'indice d'omission « Pi » est de 0,952) représentatif de cette classe; par contre l'indice de commission « Ui » est de 0,551, relativement faible, ce qui explique ces confusions.

Les sols calcimagnésiques carbonatés, ayant une grande pierrosité de surface (débris de croûte) se confondent avec les sols peu évolués d'érosion (16,73% de pixels affectés). Ils sont confondus aussi avec les sols isohumiques (siérozèms). Une proportion de 15,52% des pixels classés est affectée à ces derniers dont la nature lithologique du substratum est calcaire et/ou marneuse, présentant des caractéristiques de surface semblables en terme de couleur. Ces confusions sont dues essentiellement aux valeurs radiométriques proches. Toutefois, nous avons une bonne homogénéité de l'échantillon représentatif de cette classe (l'indice d'omission « Pi » est de 0,825); par contre l'indice de commission « Ui » est de 0,626, ce qui justifie ces confusions.

COURAULT et al. (1987) et GIRARD M-C et al. (1989) montrent que la clarté de surface du sol est corrélée positivement avec le calcaire et la charge et anticorrélée avec la matière organique et le fer (cf. chapitre II. partie A).

Les autres types de sols ressortent très bien où le taux de confusion est insignifiant (inférieur à 30%):

- Les sols halomorphes (249 pixels sur 250 sont bien classifiés, soit 99,6%) ont un indice d'omission « Pi » de 0,992 et un indice de commission « Ui » de 0,996;
- les sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux "Diapir de Djebel Melah" (120 pixels sur 140 sont bien classifiés, soit 91,42%) ont un indice d'omission « Pi » de 0,805 et un indice de commission « Ui » de 0,914;



## 73

- les sols minéraux bruts d'apport éolien (73 pixels sur 82 sont bien classifiés, soit 89.02%) ont un indice d'omission « Pi » de 0,785 et un indice de commission « Ui » de 0,890;
- les sols peu évolués d'apport colluvial (81 pixels sur 98 sont bien classifiés, soit 82,65%) ont un indice d'omission « Pi » de 0,533, explicité par une hétérogénéité des échantillons pris en considération (mauvais échantillonnage), et un indice de commission « Ui » de 0,827;
- les sols peu évolués d'érosion (222 pixels sur 286 sont bien classifiés, soit 77,62%) ont un indice d'omission « Pi » de 0,753 et un indice de commission « Ui » de 0,776;
- les sols isohumiques "siérozèms" (145 pixels sur 191 sont bien classifiés, soit 75,91%) ont un indice d'omission « Pi » de 0,597, expliqué par un mauvais échantillonnage, et un indice de commission « Ui » de 0,759;
- les sols minéraux bruts d'apport alluvial (22 pixels sur 29 sont bien classifiés, soit 75.86%); ont un indice d'omission « Pi » de 0,142, explicité par une hétérogénéité des échantillons pris en considération (mauvais échantillonnage), et un indice de commission « Ui » de 0,890; → 0,759
- les sols peu évolués d'apport alluvial (78 pixels sur 90 sont bien classifiés, soit 74,44%) ont un indice d'omission « Pi » de 0,328, expliqué par une hétérogénéité des échantillons, et un indice de commission « Ui » de 0,744; → 67



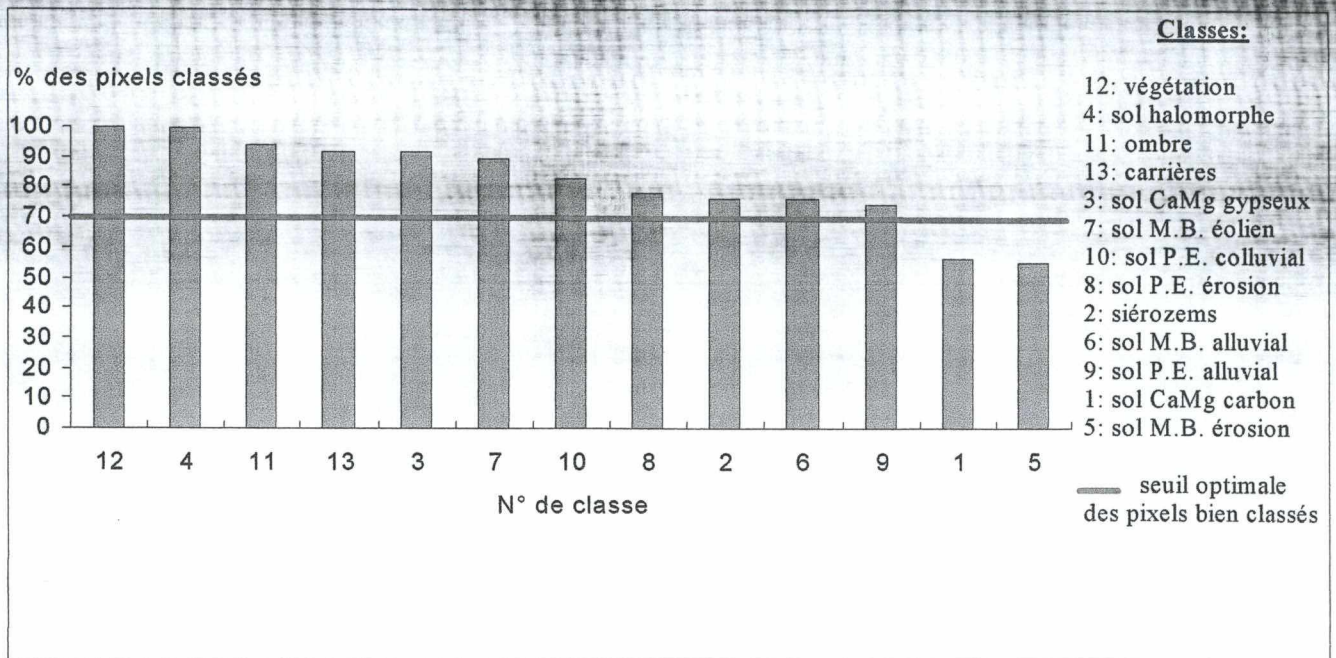


Figure C.III-11 : Distribution fréquentielle des différents thèmes classés

#### □ végétation

Le nombre total des pixels (103) est bien classé (figure C.III-11). La forêt située au Nord Est de Chabket Tekachkech, correspond bien à la réalité terrain. Mais elle semble tout de même surestimée. Car, par rapport aux autres classes, la végétation s'individualise par une signature spectrale très caractéristique (figure C.III-9); ceci revient à la représentation du noyau (échantillon végétation) dans le système d'inertie(\*) et la fixation du seuil de la classification ( $P = 0,3$ ). Elle a un indice d'omission «  $P_i$  » de 0,888 (homogénéité des échantillons pris en considération) et un bon indice de commission «  $U_i$  », égal à 1, qui explique la non confusion de cette classe avec les autres.

#### □ ombre et carrières

Ils ressortent très bien où le taux de confusion est minime:

(\*) la distance, au sens du moindre carrée, de l'échantillon végétation par rapport aux autres classes est plus grande.



- l'ombre (31 pixels sur 33 sont bien arrangés, soit 93,93%) est caractérisé par un indice d'omission de 0,352 (hétérogénéité des échantillons) et un bon indice de commission «  $U_i$  » de 0,939;
- les carrières (11 pixels sur 12 sont bien arrangés, soit 91,66%) sont caractérisés par un indice d'omission de 0,786 et un bon indice de commission «  $U_i$  » de 0,917.

### III.1.6 Conclusion

En général, les sols de la zone d'étude se répartissent en fonction des unités géomorphologiques. La majorité des sols est en relation avec la nature de la roche mère ( pratiquement toujours calcaire ).

L'utilisation du couvert végétal, comme critère pour la cartographie des sols, est aléatoire; car les espèces végétaives étant trop plastiques vis-à-vis des conditions édaphiques. Néanmoins , en règle générale , ils peuvent fournir quelques indications sur le type de sol .

Les données de télédétection ont été utilisées dans une première étape, de façon empirique, pour la définition des unités cartographiques des pédopaysages. Elles ont été exploitées, en second lieu, par une approche (classification automatique) supervisée sur la base des données de la carte photo-interprétative.

Dans un contexte pédopaysagique, les réponses spectrales deviennent des indicateurs pour la différenciation des principales classes de sols. La réflectance, utilisée comme variable relative, peut contribuer dans un modèle statistique à expliquer les variations rencontrées à l'intérieur d'une même classe de sol (ROBBEZ MASSON et al., 1992).

Pour la plupart des unités pédopaysagiques étudiées, la méthode de maximum de vraisemblance est pertinente où les confusions restent acceptables pour



## BIBLIOGRAPHIE

---



- [1] ARROUAYS (D.), 1987. Un exemple d'utilisation de la Télédétection pour la réalisation d'une carte des sols à moyenne échelle. Actes de la semaine de Monétier-les-Bains.  
Projet Télédétection II Recherches en cours à l'INRA, 1987; pp. 275-280.
- [2] AUBERT (G.), 1960. Les sols de la zone aride. Etude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. pp. 127-150.
- [3] BAISE (D.) et KING (D.), 1992. La modélisation spatiale des couvertures pédologiques «carte papier» et SIG (Gestion de l'espace rural et SIG). INRA, 1992; pp.17-27.
- [4] BARIOU (R.), 1978. Manuel d'utilisation de télédétection .2° partie : les applications de la photo-interprétation dans le domaine des sciences de la terre . III Les sols; pp. 129-153.
- [5] BARTHES (J-P.), 1991. Réflexion sur la méthodologie d'approche de la cartographie pédologique en région calcaire méditerranéenne.  
I.N.R.A. , Science du sol - Montpellier-; pp. 118-122.
- [6] BELOUAM (N.), BERAUD (F.) et CIAUDIN (J.), 1974. Le synclinal d'El Bayadh.  
Etude écologique et proposition de mise en valeur.  
Etude D.E.M.R.H. , Alger, 22p.
- [7] BERAUD (F.), CIAUDIN (J.) et POUGET (M.), 1975. Etude écologique de la Z.D.I.P. des Arbouets.  
Etude D.E.M.R.H. , Alger, (non diffusée).
- [8] BIALOUSZ (S.), 1977. Deux remarques sur l'utilisation de la télédétection pour la cartographie pédologique. Introduction à la discussion . 1er colloque « pédologie-télédétection »; Rome, 1977; pp. 213-220.



- [9] BOISSARD (P.) et POINTEL (J-G.), 1987. Caractérisations des états de surface du sol nu ou peu couvert à partir des données Landsat TM et Spot . Actes de la semaine de Monétier-les-Bains.  
Projet Télédétection .II Recherches en cours à l'INRA 1987; pp. 267-274.
- [10] BONN (F.) et ROCHON (G.), 1993. Précis de la télédétection: Principes et méthodes. Vol. I, U.R.E.F., 485 p.
- [11] BOULAHOUAT (N.), 1993. Etude méthodologique sur la télédétection des sols en milieu aride. Région de Djelfa -Algerie- .  
I.N.R.A. , laboratoire de télédétection -Montpellier-; 24p.
- [12] CALOZ (R.), J-BLASER (T.) et WILLEMIN (G.), 1993. Création d'une ortho-image à l'aide d'un modèle numérique d'altitude: influences des modes de rééchantillonnage radiométrique.  
Télédétection et cartographie. Ed.AUPELF-UREF.  
Les presses de l'université du Québec, 1993; pp. 17-30.
- [13] CHAMME (R.) et COBEAU (A.), 1983. Evolutions saisonnières comparées des signatures spectrales de divers milieux perennes ( forêts;prairies; sols nus ) à partir de documents Landsat.  
O.R.S.T.O.M., 1983.
- [14] CHEYLAN (J-P.) , 1992 . Eléments pour la conception des SIG en recherche .  
« Gestion de l'Espace Rural et SIG ». INRA 1992; pp. 79-85.
- [15] COURAULT (D.) et GIRARD (M-c), 1987. Analyse des sols à l'échelle de la parcelle par télédétection.  
« Spot1 - Utilisation des images, bilan, résultats- » .  
Paris, C.N.E.S., 1987.



- [16] COURAULT (D.), GIRARD (M-c) et ESCADAFAL (R.), 1988. Modélisation de la couleur des sols par télédétection.  
The 4th International Colloquium on spectral signatures of objects in Remote Sensing held at Aussois, France; pp. 357-362.
- [17] DESHAYES (M.) et MAUREL (P.), 1990. La télédétection en agriculture.  
Première partie : Principes généraux de la télédétection ( L'image spatiale et son contenu).  
Actes du colloque de Montpellier 13-15 mars 1990; pp. 11-27.
- [18] DIDON (E.) , 1990. SIG : Concepts, Fonctions, Applications.  
Octobre , 1990.
- [19] DJEBAILI (S.), ACHOUR (H.), AIDOUUD (F.) et KHELIF (H.), 1982. Groupes écologiques édaphiques dans les formations steppiques du sud-oranais.  
Biocenoses 1; pp 08 - 59:
- [20] DONNAY (J-L), 1990. Application de la télédétection satellitaire à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme.  
Télédétection spatiale .Université d'été européenne, TOULOUSE 1990;  
pp. 221-243.
- [21] DUBUCQ (M.) , 1986. Télédétection spatiale et érosion des sols .  
Etude bibliographique. Cahiers ORSTOM. Ser.pédol., vol XXII, n°2,1986;  
pp. 247-258.
- [22] DUBUCQ (M.) ,1989. Reconnaissance des sols par télédétection et de leur comportement par rapport à l'érosion dans le Lauragais. Thèse doctorat ,  
Université Paul Sabatier -TOULOUSE III-; 235 p plus annexes.



- [23] DURAND (J-H), 1954. Les sols d'Algérie.  
S.E.S. Alger, 243p.
- [24] ESCADAFAL (R.) et POUGET (M.), 1985). Luminance spectrale et caractères de la surface des sols en région aride méditerranéenne (Sud Tunisien).  
4<sup>eme</sup> symposium of ISSS working group remote sensing for soil survey  
IAC, Wageningen and ITC, Enshede 4-8 March 1985, 12p.
- [25] ESCADAFAL (R.), 1989. Caractérisation de la surface des sols arides par observation de terrain et par télédétection. Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie) .  
Etudes et Thèses , ORSTOM , Paris ; 317 p plus annexes.
- [26] ESCADAFAL(R.), MULDER (M-A.) et THIOMBIANO (L.), 1995. Surveillance des sols dans l'environnement par Télédétection et Systèmes d'Information Géographique.  
Actes du symposium international AISS, Ouagadougou ( Burkina Faso) du 6 au 10 février 1995; 619p.
- [27] GIRARD (M-C.), 1977. Apport de la télédétection à la cartographie des sols: Possibilités, limites.  
1er colloque « pédologie-télédétection »; Rome, 1977; pp. 221-231.
- [28] GIRARD (M-C.), 1977. Télédétection de la surface du sol.  
1er colloque « pédologie-télédétection »; Rome, 1977; pp. 55-64.
- [29] GIRARD (M-C.) et GIRARD (C-M), 1977. Les fonctions et les traitements des images satellites - Méthodes d'emploi en pédologie-  
1er colloque « pédologie-télédétection »; Rome, 1977; pp. 325-339.



- [30] GIRARD (M-C.), 1983. Télédétection de la surface du sol .  
 Les colloques de l'INRA . Application de la télédétection à l' agriculture .  
 Seminaire Paris 5, 6 et 7 DEC. 1983; pp.177-193.
- [31] GIRARD (M-C.), 1986. Interprétation pédologique des photographies prises par  
 spacelab.1. ITC. Journal, 1986, pp 01-05.
- [32] GIRARD (M-C.) et GIRARD (C-M.), 1989. Télédétection appliquée. Zones  
 tempérées intertropicales .  
 Partie pédologie; pp. 192-233.
- [33] GUAULTIER (J-P.), DARROUSSIN (J.) et YART (G.), 1990. L'interférence  
 Arc/Info pour la gestion des données pédologiques. pp. 321-328.
- [34] HALITIM (A.), 1988. Sols des régions arides d'Algerie.  
 O.P.U. , Alger; 384 p. .
- [35] HAMZA (A.) et EL AMANI (M.), 1977. Les apports des images par satellite à la  
 cartographie morphopédologique de synthèse. L'exemple de la carte de  
 SBEITLA au 1/200.000<sup>eme</sup>.  
 1er colloque « pédologie-télédétection »; Rome, 1977; pp. 125-137.
- [36] HINSE (M.), 1989. Réflectance spectrale des sols de Settat  
 ( Chaouia, Maroc).  
 Travaux sur le terrain . 132p.
- [37] JAMAGNE (M.) , BEGON (J-c.) et HARDY (R.) , 1977. La cartographie des sols,  
 élément fondamental de l'aménagement et de la conservation de l'espace  
 rural.  
 Pédologie ,XXVII 1; pp. 09-43.



- [38] JAMAGNE (M.), KING (D.), GIRARD (M-C) et HARDY (R.), 1993. Quelques conceptions actuelles sur l'analyse spatiale en pédologie. Science du sol, Vol.31, 3, pp. 141-169.
- [39] KILIAN (J.), 1974. Etude du milieu physique en vue de son aménagement. L'Agronomie Tropicale XXIX, pp.2-39, pp. 141-153.
- [40] KING (D.), 1994. Apport de la télédétection à l'étude de la couverture pédologique. Revue des travaux menés au service d'étude des sols et de la carte pédologique de France. Bul. S.F.P.T n°134 (1994-2), pp. 15-19.
- [41] KRISTOF (S.J.) et ZACHARY (A.L.), 1971. Mapping soil types from multispectral scanner data. Center for remote sensing information and analysis. Seventh international symposium on remote sensing of environment, volume III, 17-21 May 1971, pp. 2095-2108.
- [42] LAGRANGE (J-P.), 1994. S.I.G. et cartographie. Bulletin d'information de l'IGN n° 62 1994/3; pp 90-95.
- [43] MANIERE (R.) et CHAMIGNON (C.), 1986. Cartographie de l'occupation des terres en zone aride méditerranéenne par télédétection spatiale. Exemple d'application sur les Hauts-Plateaux sud oranais: Mecheria au 1/200.000°. Ecologia Mediterranea, Tome XII (Fascicule 1-2); pp. 159-185.
- [44] MANIERE (R.), 1987. Télédétection spatiale et aéroportée et système d'information géocodée sur l'environnement. Principes généraux et étude de quelques domaines d'application. Thèse doc. Univ. EX. MARSEILLE; 260 p.



- [45] MASSOUD (F-I), 1977. The use of satellite imagery in detecting and delimiting salt affected soils.  
1er colloque « pédologie-téledétection »; Rome, 1977; pp. 77-84.
- [46] MBULUYO (M.), OZER (A.) et LAVREAU (J.), 1993. La carte morphostructurale de l'Ituri Oriental (Nord-Est du Zaïre): étude à partir des données satellitaires TM de Landsat. Télédétection et cartographie. AUPELF-UREF; université du Québec, 1993; pp. 41-53.
- [47] MEROT (P.) et EZZAHAR (B.), 1992. Utilisation de MNT pour cartographier l'hydromorphie des sols.  
« Gestion de l'espace rural et SIG », I.N.R.A. 1992; pp. 121-131.
- [48] MERZOUK (A.), 1992. Utilisation de la télédétection spatiale dans l'étude et l'inventaire des sols en zone semi-aride.  
Geo-Observateur; MARISY, 1992 Rabat -Maroc-; pp. 43-50.
- [49] MESBAH (C.), 1996. Génération de modèle numérique de terrain à partir de courbes de niveau. Utilitaire MNTvr, 1996, Rapport, 20 p, CNTS, Arzew.
- [50] MOKADEM (A.), LEJEUNE (J-L.) et DAUTREBANDE (S.), 1988. Analyse d'images satellites en agrohydrologie: approche d'une étude du stress hydrique par l'utilisation du canal thermique TM.  
Pédologie, XXXVIII-3, Gand, 1988; pp. 273-288.
- [51] MOSTEFAOUI (T.), 1997. Utilisation de la télédétection dans la cartographie des sols et dans l'évaluation des potentialités agricoles en vue d'un aménagement hydro-agricole à l'aide des Systèmes d'Information Géographique. Cas de la plaine de Berriche et du bassin versant de l'oued Guerrah (Wilaya d'Oum El Bouaghi).  
Thèse magister, CNTS, 1997, 144p.



- [52] NAERT (B.), 1977. Méthodologie de l'application de la télédétection à la cartographie des sols. Premières conclusions obtenues à partir de traitements photographiques des données.  
1er colloque « pédologie-télédétection »; Rome, 1977; pp. 297-310.
- [53] NAERT (B.), BOYER (G.) et FLOURE(C.), 1987. Pédologie et télédétection globale du paysage .  
Projet télédétection . Actes de la semaine de MONÉTIER-LES-BAINS II  
Recherches en cours à l'INRA , 1987; pp. 260-266.
- [54] NAERT (B.), 1995. Cartographie des sols aidée par télédétection .  
Une méthode adaptée aux milieux méditerranéens et arides.  
I.N.R.A. - Montpellier - France; pp. 193-205.
- [55] NAERT (B.), 1995. Cartographie, télédétection, référentiel, pédologie et changement d'échelle.
- [56] POUGET (M.) , 1971. Etude agropédologique du Zahrez Gharbi au 1/100.000°  
(feuille de Rocher de sel).  
Etude D.E.M.R.H., Alger, 160 p. Et 5 cartes couleurs.
- [57] POUGET (M.) , 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes sud Algéroises' .  
Travaux et documentations de l'ORSTOM n°116 ; 555 p.
- [58] PROY (C.), 1986. Intégration du relief au traitement d'image de télédétection.  
Thèse Docteur Ingénieur en informatique.  
Institut National Polytechnique de Toulouse.
- [59] ROBBEZ-MASSON (J-m.), DOLEDEC (A-f.) et BILLY (F.) , 1992. Relations entre facteurs du milieu naturel et pédopaysages : Variables pertinentes



pour une délimitation assistée . Comparaison de trois petites régions (Herault , FRANCE) ; INRA /1992 ; pp. 05-15.

[60] ROGALA (J-p.) , 1979. Traitements numériques des données LANDSAT .  
Utilisation en pédologie ; pp. 89-121.

[61] SCANVIC (J.Y.), 1983. Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre.  
Manuels et méthodes. BRGM. 1983. FRANCE. 158 p.

[62] SOMMA (J.) et CAVAYAS (F.), 1993. Comparaison de différentes méthodes de rapports de bandes pour l'application de la télédétection satellitaire à la reconnaissance géomorphologique d'un milieu montagneux subarctique semi-aride.  
Télédétection et cartographie. AUPELF-UREF.  
Université de Québec, 1993; pp. 41-53.

[63] STONNER (E.R.) et BAUGARDNER (M.F.), 1981. Characteristic variations in reflectance of surface soils.  
Journal paper n° 8460, Purdue univ., Agric., 16 March 1981, pp. 1161-1165.

[64] TRICART (J.) et CAILLEUX (A.), 1965. Introduction à la géomorphologie climatique. L'influence non directe du climat: pédogénèse et morphogénèse.  
Tome 1; pp. 100-144.

[65] TRICART (J.), 1978. Géomorphologie applicable.  
Collection de géographie applicable; pp. 108-114.

[66] VOGT (T.) et SCHNEIDER (N.), 1988. Apports de la télédétection satellitaire au repérage des sols humides.



113<sup>eme</sup> Congrès national des sociétés savantes, Strasbourg, 1988,  
Télédétection, pp. 177-188.

- [67] YONGRCHALERMCHAI (C.), 1993. Etude d'objets complexes sol/plante à  
différentes niveaux d'organisation de la parcelle au paysage.  
Thèse doctorat , 1983 232 p

**RAPPORTS ET MEMOIRES:**

ANAT, 1987. Plan d'aménagement de la wilaya d'El Bayadh.  
Rapport de commencement, 173 p.

CHERIGUENE (S.), 1991. Apport des images M.S.S. et T.M. à la connaissance de  
l'utilisation de l'espace de la région de Ghassoul:  
Quelques propositions d'aménagements.  
Mémoire d'ingénieur. Institut Agro Vétérinaire de Tiaret; 85 p.

C.N.T.S. , 1994. Schéma directeur d'aménagement de la Wilaya d'El Bayadh.  
Rapport de la troisième phase: Orientations d'aménagement.  
Laboratoire de télédétection, Octobre, 1994; 36 p.

C.N.T.S./C.R.D.I., 1997. SIG pour la gestion de l'activité pastorale de la steppe  
Algérienné.  
Rapport n°3 , 1997, 73 p.



## ANNEXES

---

**ANNEXE 1: ETUDE D'UN PROFIL PEDOLOGIQUE**

**ANNEXE 2: ETUDE STATISTIQUE DE LA CLASSIFICATION  
SUPERVISEE**

**ANNEXE 3: LES DONNEES SATELLITAIRES ET LES PRODUITS  
DISPONIBLES**

**ANNEXE 4: LES VECTEURS ET LES CAPTEURS**



## ANNEXE 1: ETUDE D'UN PROFIL PEDOLOGIQUE

Lieu dit ..... Oued Ghassoul  
 Commune..... Ghassoul  
 Coordonnées..... X: 359.12 Km Y: 306.80 Km  
 Date..... le 27-06-1993  
 Nature de la roche mère..... alluvions anciens  
 Géomorphologie..... plaine alluviale  
 Topographie..... dépression  
 Pente..... 0 - 3 %  
 Altitude..... 1110 m  
 Exposition..... sud-est  
 Charge..... moyenne à faible  
 Test HCl..... faible  
 Type physiologique de la végétation..... steppe psammophyte  
 Type d'utilisation..... pâturage  
 type d'érosion..... hydrique éolienne

### Description du profil:

Profondeur en cm des horizons	éléments grossiers	matière organique	structure	enracinement et faune
70 cm	la couche superficielle est recouverte uniquement de pierres à la dimension de gravier, cependant de faible importance On note également une mince couche sableuse.	Très faible la litière est quasiment inexistante.	De type continu et massif. Elle se caractérise par l'impossibilité de séparer les éléments.	L'enracinement est superficiel avec la présence de quelques acarien et Insectes.
supérieur à 70 cm	Les éléments graveleux sont noyés dans un ciment fin.			

Type de sol..... sol peu évolué d'apport alluvial.



## ANNEXE 2 : ETUDE STATISTIQUE DE LA CLASSIFICATION SUPERVISEE

Dims: Full Band (496 points)

### Band 1 Histogram (sol CaMg.carbonaté)

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
0	2	2	0.4032%	0.4032%
1	279	281	56.2500%	56.6532%
2	77	358	15.5242%	72.1774%
6	42	400	8.4677%	80.6452%
7	13	413	2.6210%	83.2661%
8	83	496	16.7339%	100.0000%

Dims: Full Band (191 points)

### Band 1 Histogram (sol isohumique)

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
1	1	1	0.5236%	0.5236%
2	145	146	75.9162%	76.4398%
4	2	148	1.0471%	77.4869%
5	3	151	1.5707%	79.0576%
6	8	159	4.1885%	83.2461%
8	11	170	5.7592%	89.0052%
10	21	191	10.9948%	100.0000%

Dims: Full Band (140 points)

### Band 1 Histogram (sol CaMg.à encroût.gypseux)

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
2	2	2	1.4286%	1.4286%
3	128	130	91.4286%	92.8571%
6	1	131	0.7143%	93.5714%
8	8	139	5.7143%	99.2857%
11	1	140	0.7143%	100.0000%

Dims: Full Band (250 points)

### Band 1 Histogram (sol halomorphe)

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
1	1	1	0.4000%	0.4000%
4	249	250	99.6000%	100.0000%



## Dims: Full Band (827 points)

## Band 1 Histogram (sol M.B.d'érosion)

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
0	2	2	0.2418%	0.2418%
1	6	8	0.7255%	0.9674%
2	4	12	0.4837%	1.4510%
3	31	43	3.7485%	5.1995%
5	456	499	55.1391%	60.3386%
6	69	568	8.3434%	68.6820%
8	15	583	1.8138%	70.4958%
9	137	720	16.5659%	87.0617%
10	49	769	5.9250%	92.9867%
11	56	825	6.7715%	99.7582%
12	2	827	0.2418%	100.0000%

## Dims: Full Band (29 points)

## Band 1 Histogram (sol M.B.d'apport alluvial)

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
2	2	2	6.8966%	6.8966%
6	22	24	75.8621%	82.7586%
8	2	26	6.8966%	89.6552%
13	3	29	10.3448%	100.0000%

## Dims: Full Band (82 points)

## Band 1 Histogram (sol M.B.d'apport éolien)

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
1	5	5	6.0976%	6.0976%
7	73	78	89.0244%	95.1219%
8	4	82	4.8780%	100.0000%

## Dims: Full Band (286 points)

## Band 1 Histogram (sol P.E.d'érosion)

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
1	44	44	15.3846%	15.3846%
2	1	45	0.3497%	15.7343%
6	12	57	4.1958%	19.9301%
7	7	64	2.4476%	22.3776%
8	222	286	77.6224%	100.0000%



**Dims: Full Band (90 points)****Band 1 Histogram (sol P.E.d'apport alluvial)**

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
5	11	11	12.2222%	12.2222%
9	67	78	74.4444%	86.6667%
10	1	79	1.1111%	87.7778%
12	11	90	12.2222%	100.0000%

**Dims: Full Band (98 points)****Band 1 Histogram (sol P.E.d'apport colluvial)**

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
2	12	12	12.2449%	12.2449%
5	5	17	5.1020%	17.3469%
10	81	98	82.6531%	100.0000%

**Dims: Full Band (33 points)****Band 1 Histogram (ombre)**

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
5	2	2	6.0606%	6.0606%
11	31	33	93.9394%	100.0000%

**Dims: Full Band (103 points)****Band 1 Histogram (végétation)**

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
12	103	103	100.0000%	100.0000%

**Dims: Full Band (12 points)****Band 1 Histogram (carrières)**

DN	Npts	Total	Pct	Acc Pct
6	1	1	8.3333%	8.3333%
13	11	12	91.6667%	100.0000%



## ANNEXE 3: LES DONNEES ET LES PRODUITS DISPONIBLES

### 1- Les données-images des satellites.

Une image, quel que soit son type, peut être affichée sur n'importe quel écran d'ordinateur, mais elle n'apparaîtra pas de la même manière sur tous les écrans. Par exemple si on affiche une image couleur sur un moniteur noir et blanc, on ne verra pas les couleurs car elles apparaîtront en noir et blanc. Chaque description d'un type d'image comporte la mention "bits". Le nombre de couleurs disponibles dépend de ce chiffre. Pour obtenir le nombre de couleurs qu'une image peut comporter, il suffit d'élever deux à la puissance du nombre de bits. Par exemple, une image de type 8 bits peut comporter 256 couleurs différentes.

- Noir et blanc : Il s'agit d'un type d'image à un bit. par conséquent, dans une image en noir et blanc, un pixel ne peut être que noir ou blanc.
- Niveau de gris : Dans une image en niveau de gris les pixels peuvent être noir, blanc ou n'importe laquelle des 254 nuances de gris.
- Indexé 16 et 256 couleurs : Les images 16 couleurs possède 16 couleurs (4 bits) et pour les images indexé en 256 couleurs il contient 256 couleurs (8 bits).

#### Principe de visualisation de l'image de télédétection:

On appelle **fonction image** toute représentation d'un objet ou d'une scène dans un plan. Il existe trois formes physique d'existence d'une image :

- \* forme binaire ;
- \* en niveaux de gris ;
- \* en couleurs.

Une image de télédétection est acquise, en général, par un capteur électronique, embarqué à bord d'un satellite, et captant l'énergie provenant de la surface de la terre. Cette énergie reçue par le capteur est transformée en signaux électriques. Ces signaux continus (analogique) sont ensuite amplifiés et numérisés. Cette numérisation consiste le plus souvent en un codage linéaire sur 8 bits (256 comptes numériques possibles).

Le principe de visualisation d'une image numérique est d'associer un niveau de gris à chaque compte numérique. Ces comptes prenant des valeurs comprises entre deux bornes extrêmes qui sont le plus souvent 0 et 255. Lors de visualisation en niveau de gris, la correspondance entre comptes numériques et les niveaux de gris se fait généralement comme suit : le Noir est affecté à la valeur minimale 0, le Blanc à la valeur maximale 255, une gamme d'intensités croissantes de gris correspondant aux valeurs intermédiaires.



Les cartes graphiques élaborées permettent de restituer sur écran les 256 niveaux de gris. Mais l'oeil humain ne peut distinguer ces 256 intensités de gris (ou d'une couleur quelconque en général). Il peut distinguer environ une quinzaine de niveaux différents.

## **2- Les systèmes informatiques de traitement d'images**

### **2-1- le Système MICROPERICOLOR 3100**

Le MICROPERICOLOR 3100 est conçu pour traiter aussi bien des images satellitaires que des images issues de capteurs numériques ou analogiques dans un environnement industriel. Les performances de cette nouvelle génération de machines répondent exactement aux besoins de la Télédétection en particulier.

Il est constitué de :

- un écran de visualisation graphique;
- une unité centrale avec le logiciel intégré GeoPericolor;
- une console de développement.

### **2-2- les périphériques**

#### **2-2-1- le dérouleur de bandes**

Le dérouleur de bandes est conçu pour la lecture et/ou l'écriture (enregistrement) des données numériques sur bandes magnétiques.

#### **2-2-2- le système de restitution**

Il permet la restitution des images traitées.

## **3 - Les supports de données**

Les données transmises par les satellites sont fournies aux utilisateurs sur bandes magnétiques, donc on est obligé de manipuler ces bandes pour former notre banque de données images, d'où le besoin de connaître la structure des bandes magnétiques et l'organisation des fichiers images sur celles-ci.

### **3.1. Bande magnétique**

Support de données constitué par un ruban souple en matière plastique, revêtu sur une face d'une matière magnétisable. Les bandes magnétiques courantes pour ordinateur (bande compatible avec



l'ordinateur-B.C.O./computer compatible tape -C.C.T) ont une largeur de 1,26 cm et habituellement 731 ou 360 m en longueur, comportent 7 à 9 pistes et qui acceptent une densité d'information de 256 à 6250 bpi (bits per inch-bits par pouce).

A cause de la lenteur de lecture d'une image sur bande, allant de 15 à 45 min on a opté pour l'utilisation de quick-looks, imagerettes réduites, pour tout d'abord éviter la consultation des images originales qui sont très précieuses.

Le second intérêt est de permettre de rassembler sur un même support, en l'occurrence, le disque dur bien que le vidéodisque aurait été souhaitable, toutes les images de la bandothèque.

Le troisième intérêt est la rapidité de lecture de ces quick-looks (1/2 seconde), il est donc préférable de donner à voir sur un sujet une certaine quantité d'images, car généralement le demandeur veut voir une série d'images et non pas une seule en réponse à sa recherche. En plus le choix d'une image relève d'un processus "irrationnel" et il ne peut s'effectuer que par comparaison d'images, sauf cas de recherche particulière (reproduction d'un tableau, par exemple).

### 3.2. Le Vidéodisque

Le vidéodisque est le premier support optique opérationnel, et c'est dû à quelques qualités principales:

- sa compacité : 30 cm de diamètre et 2,5 mm d'épaisseur ;
- sa résistance : l'utilisation du disque n'entraîne aucune usure;
- sa fiabilité : taux d'erreur peu élevé et qualité de la restitution de l'image et du son ;
- sa vitesse d'accès sélectif précis ;
- son interactivité : comme toutes les mémoires optiques, le vidéodisque est connectable à un ordinateur. L'adressage de chaque image, (un code numérique, identifiable par l'ordinateur, précède chaque enregistrement) joint à la possibilité d'un arrêt sur l'image, en font une mémoire périphérique de l'ordinateur ;
- sa capacité de stockage : sa capacité peut aller jusqu'à quelques 54000 images et elle est de 10 à 100 fois supérieure des images animées.
- le vidéodisque est le seul support optique pouvant enregistrer des images animées.



## ANNEXE 4 : LES VECTEURS ET LES CAPTEURS

La télédétection dépend essentiellement de l'interaction entre le rayonnement électromagnétique et la matière (objet).

- les vecteurs (satellites, fusées, avions, ballons, etc.).
- les capteurs ou détecteurs qui sont associés aux vecteurs (appareils photographiques, camera, radiomètre, etc.).

### 1- Les vecteurs.

Objet spatial qui tourne autour d'une planète (la Terre, le plus souvent), destiné à recueillir des informations sur celle-ci, et dont le mouvement est déterminé principalement par le champ de gravité de cette planète. Il existe deux types de satellites:

➡ Satellites géostationnaire: Ont une position presque fixe par rapport à la Terre. Ils peuvent dès lors assurer une surveillance continue d'une partie du globe.

Exemple: Le satellite Meteosat est de type géostationnaire.

➡ Satellites à défilement : Permettent une observation cyclique de la Terre. Le satellite Landsat réalise 14 révolutions autour de la Terre par jour.

Ces satellites:

- ➡ Présentent un champ d'observation très large de l'espace étudié, jamais obtenu jusqu'à lors, SPOT (60 km x 60 km) et LANDSAT (180 km x 180 km) sur une seule image;
- ➡ Permettent une couverture complète du globe;
- ➡ Assurent une répétitivité régulière et fréquente des enregistrements;
- ➡ Offrent des possibilités d'analyse accrues des phénomènes étudiés au moyen de capteurs recueillant des informations des différentes "bandes spectrales" ;
- ➡ Transmettent au sol des informations dont le traitement peut se faire automatiquement sous forme de cartes au moyen d'ordinateurs.



### Les satellites LANDSAT

Comme leur nom l'indique (LAND: terre ; SAT: satellite), ces satellites sont conçus pour l'observation des ressources terrestres. Le premier a été lancé en juillet 1972 par la NASA.

Les satellites LANDSAT 1,2,3,4 et 5 font partis des satellites à défilement avec une période d'évolution d'environ 103 min (permettent une observation cyclique de la terre).. Ils ont tous comme altitude moyenne environ 900 km , le poids de chacun des satellites 4 et 5 est égale à 1941 kg. Les satellites LANDSAT sont tous équipés d'un capteur MSS (MultiSpectral Scanner), et ils fournissent simultanément dans quatre domaines de longueur d'onde:

- ✓ canal 4 :de 0,5 à 0,6  $\mu$  m (bleu) ; pour donner une image MSS4
- ✓ canal 5 :de 0,6 à 0,7  $\mu$  m (vert) ; pour donner une image MSS5
- ✓ canal 6 :de 0,7 à 0,8  $\mu$  m (jaune-orange) ; pour donner une image MSS6
- ✓ canal 7 :de 0,8 à 1,1  $\mu$  m (rouge- proche infrarouge); pour donner une image MSS7.

Ils ont un champ total d'observation au sol égale à 185x185 km avec une résolution spatiale de 79m x 56m.

Par contre les satellites 4 et 5 sont équipés en plus d'un capteur TM(Thematic Mapper),qui travaille sur 7 domaines de longueur d'onde:

- ✓ canal 1: de 0,45 à 0,52  $\mu$  m ;pour donner une scène TM1
- ✓ canal 2: de 0,52 à 0,60  $\mu$  m ;pour donner une scène TM2
- ✓ canal 3: de 0,63 à 0,69  $\mu$  m ;pour donner une scène TM3
- ✓ canal 4: de 0,76 à 0,90  $\mu$  m ;pour donner une scène TM4
- ✓ canal 5: de 1,55 à 1,75  $\mu$  m ;pour donner une scène TM5
- ✓ canal 6: de 10,40 à 12,50  $\mu$  m ;pour donner une scène TM6
- ✓ canal 7: de 2,08 à 2,35  $\mu$  m ;pour donner une scène TM7.



Et qui a un champ total d'observation au sol égale à 185 km avec une résolution spatiale de 30m x 30m.

On peut énumérer rapidement leurs caractéristiques généraux ainsi que leurs avantages majeurs:

- ➡ placés à des altitudes moyennes allant de 650 à 900 km de la surface de la terre;
- ➡ inclinaison par rapport à l'axe du pôle de la terre de 8.3°;
- ➡ répétitivité spatio-temporelle: 14 révolutions par jour;
- ➡ type de capteur embarqué: Radiomètre multispectral à balayage;
- ➡ résolution spectrale accrue allant à 7 canaux pour le capteur T.M de LANDSAT 4 et 5;
- ➡ résolution spatiale pour LANDSAT 4 et 5: dimension du pixel = 30 x 30 m;
- ➡ traitement rapide (données numériques, la chaîne de traitement des données reste homogène, se qui optimise de façon remarquable le délai de production cartographique et les comparaisons multitudes);
- ➡ couvrent de très vastes surfaces (dimension de la scène : 185 x 185 km.);
- ➡ le coût d'achat inférieur des données en les comparant avec le coût de l'établissement d'une couverture aérienne spécifique.

### **Le Système Probatoire d'Observation de la Terre(SPOT)**

C'est une nouvelle génération grâce à ses avantages :

- ➡ vision stéréoscopique (grâce à un radar latéral);
- ➡ menus de capteurs de type HRV (Haute Résolution Visible): un dans le mode multispectral (XS1, XS2, XS3) et un dans le mode panchromatique (0.51 - 0.73  $\mu$ m);
- ➡ résolution spatiale accrue: dimension du pixel 20x20 m pour le mode multispectral et 10x10 m pour le mode panchromatique .

SPOT a été lancé par la France en 1984 , il fait partie des satellites à défilement. rappelons au passage que le terme probatoire en



souligne le caractère expérimental. Il a une altitude 822 km. Sa période de révolution est de 101 mn.

Le champ d'observation d'un satellite SPOT est de 60 x 60 km.

SPOT est doté d'un capteur HRV (Haute Résolution Visible) pouvant opérer dans 3 domaines de longueur d'onde (en micromètre):

- XS1 (0.50 à 0.59  $\mu$  m) correspond à la couleur verte;
- XS2 (0.61 à 0.68  $\mu$  m) correspond à la couleur rouge;
- XS3 (0.79 à 0.89  $\mu$  m) correspond à la couleur proche infrarouge;

avec une résolution de 20m au sol, ou dans une bande panchromatique notée XP (0.51 $\mu$ m à 0.73 $\mu$ m), avec une résolution de 10m.

Toutes ces caractéristiques indiquent que l'image SPOT est un outil particulièrement adapté aux études de la géologie, l'agriculture, l'hydrographie, la cartographie, l'occupation des sols et l'urbanisme.

#### Satellite NOAA

C'est une nouvelle génération de satellites météorologiques à défilement, qui a une altitude moyenne d'environ 817 km et une période d'évolution égale à 101,2 min. Son capteur AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) travaille sur 5 domaines de longueur d'onde (en micromètre):

- ➡ canal 1: de 0,58 à 0,68  $\mu$ m;
- ➡ canal 2: de 0,725 à 1,10  $\mu$ m;
- ➡ canal 3: de 3,55 à 3,93  $\mu$ m;
- ➡ canal 4: de 10,5 à 11,3  $\mu$ m;
- ➡ canal 5: de 11,5 à 12,5  $\mu$ m.

Il a un champ d'observation de 2700 km x 2700 km avec une résolution spatiale de 1,1 km

#### Satellite METEOSAT

Réalisés par l'Agence Spatiale Européenne(E.S.A),les satellites METEOSAT appartiennent au réseau international de satellites



géostationnaires mis en place dans le cadre de l'expérience Météorologique mondiale. Ils ont pour mission de transmettre une scène, dont le centre se situe au point de longitude 0° et de latitude 0°, toutes les demi-heures afin de permettre un suivi de la situation météorologique et atmosphérique sur une aire importante. Les données établies par ce satellite sont reçues à la station terrestre de Damstadt (Allemagne) qui effectue alors un certain nombre de traitements et d'extraction d'informations.

METEOSAT 1 et 2 ont respectivement une altitude moyenne de 35802 km et 35884 km. La résolution spatiale d'une scène dans le domaine visible (0,4 à 1,1 $\mu$ m) est de 2,5 x 2,5 km. Celle du domaine infrarouge (10,5 à 12,5  $\mu$ m) est 5x5 km.

## 2- Les capteurs

Un capteur est un appareil capable de recevoir le rayonnement qui vient du sol dans une certaine gamme de longueurs d'ondes appelé canal ou bande spectrale et à le convertir en une grandeur physique qui puisse être traitée et enregistrée. Autrement dit, ce sont des détecteurs associés aux vecteurs. Ils ont pour fonction de mesurer l'énergie électromagnétique émise, diffuse ou réfléchi par les objets situés à la surface terrestre. Ces types de capteurs sont appelés: **capteurs passifs**. En outre, il existe un deuxième type de capteurs dits actifs, type radar. Ils mesurent l'énergie rétrodiffusée.

On peut distinguer, donc, deux familles de capteurs :

- ⊖ les capteurs permettant une acquisition quasi-instantanée de l'ensemble de la scène observée, il s'agit par exemple d'appareils photographiques.
- ⊖ les capteurs offrant une acquisition séquentielle d'éléments d'image à l'aide desquelles, ligne par ligne, se construit l'ensemble de la scène.



Le balayage est effectué sous différentes longueurs d'ondes de rayonnement, dans le domaine du visible et dans l'infrarouge proche ou lointain.

Chaque objet possède par nature une signature spectrale (façon de réfléchir l'énergie lumineuse) qui lui est propre, ce qui permet de l'identifier ou de le reconnaître. La végétation par exemple, renvoie très bien les rayons solaires dans le domaine de l'infrarouge, la neige réfléchit beaucoup mieux la lumière dans les longueurs d'ondes de 0,5 à 0,59 micromètres, un peu moins entre 0,61 à 0,68 micromètres, et moins encore dans le proche infrarouge.

<b>spectre</b>	<b>longueur d'onde</b>
ultraviolet	0,29 à 0,40 $\mu\text{m}$
visible	0,40 à 0,70 $\mu\text{m}$
proche infrarouge	0,70 à 1,10 $\mu\text{m}$
infrarouge moyen	3,00 à 5,50 $\mu\text{m}$
infrarouge lointain	8,00 à 14,0 $\mu\text{m}$



