

République Algérienne Démocratique Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université El Hadj Lakhdar

-Batna-

Faculté des sciences



Département des sciences de la terre

Spécialité : aménagement du territoire

*Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme*

*De magistère en dynamique des milieux physique et risques naturels*

Par : Bouhata Rabah

# Thème

**Analyse de la dynamique des sebkhas et son impact sur la  
vulnérabilité au risque d'inondation dans les dépressions  
endoréiques situées entre Zana et Madghassen à l'aide de l'imagerie  
satellitaire LANDSAT**

Devant le jury composé de :

Mr : Amirche. H	Maitre de conférences	U. de Constantine	Président
Mr : Guettouche .M.S	Maitre de conférences	USTHB	Examineur.
Mr : Kalla. M	Maitre de conférences	U.de Batna	Rapporteur
Mr : Malki .H	Chargé de cours	U.de Batna	Examineur.

**PROMOTION : 2006 / 2007**

## Remerciements

- Il m'est agréable d'adresser mes remerciements et ma profonde reconnaissance à monsieur Dr : Kalla Mahdi qui a accepté de me guider et de diriger ce travail malgré ses diverses occupations.

Je lui suis également reconnaissant pour m'avoir initié aux techniques de la télédétection

- J'adresse également mes sincères remerciements au Dr. Guettouche M.S pour son aide précieuse et pour ses nombreux conseils.

- Je tiens à exprimer ma gratitude à Mme Kalla pour ses conseils judicieux et fructueux.

- Je tiens à remercier vivement m : Oukil youcef, Mezrag Mohamed de la faculté des sciences de la terre, U.S.T.H.B pour leurs aides et conseil.

- Je remercier les enseignants de l'institut des sciences de la terre, Université de BATNA pour leurs encouragements.

- Mes remerciements s'adressent à mes collègues et à mes amis pour toute l'aide et le soutien moral.

- Que tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin trouvent ici l'expression de ma gratitude.

Bouhata Rabah

## Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents.

A mes frères et sœurs.

A tous mes amis et à tous ceux qui sont proches et  
chères.

A tous mes enseignants.

A mon pays l'Algérie.

Rabah Bouhata.

# Table des matières

	Page
Introduction générale .....	01
<b>Première partie : généralité</b>	
<b>Chapitre 1 : généralité sur les sebkhas, chotts et le risque naturel.....</b>	<b>03</b>
1. définitions .....	03
2. Les facteurs intervenant dans les processus de genèse des sebkhas et chotts .....	04
2.1. Le facteur géologique.....	04
2.2. Le facteur topographique .....	05
2.3. Le climat.....	06
2.4. Les divers composants qui peuvent intervenir dans les processus hydrologique .....	06
a. les sources .....	06
b. les cours d'eau .....	06
c. La nappe .....	07
2.5. Le facteur humain .....	08
3. Les processus de genèse des sebkhas dans les zones semi-aride .....	11
3.1. Une réserve, un stock des sels mobilisables .....	11
3.2. Un ensemble de processus qui assurent la mobilisation et la redistribution de Ces sels .....	12
a- Mobilisation .....	12
b- Distribution .....	12
c- Accumulation .....	12
4. définition d'un risque naturel .....	13
4.1. Un aléa naturel .....	13
4.2. Un risque naturel.....	13
4.3. Une catastrophe .....	13
4.4. Le risque d'inondation.....	13
4.5. Le risque de désertification (la salinisation des sols) .....	15

<b>Chapitre 2 - La télédétection .....</b>	<b>16</b>
1- Définition .....	16
2- Le spectre électromagnétique .....	17
3- L'action de milieu de propagation .....	18
3-1- La diffusion .....	18
3-2- L'absorption .....	19
4- Comportement spectral des sols .....	19
4-1- Comportement spectral des sols .....	19
4-2- Comportement spectral des végétaux .....	20
4-3- Comportement spectral de l'eau, la glace et la neige .....	20
5- Présentation générale des satellites (LAND SAT) .....	22
5-1- Caractéristiques orbitales .....	22
5-2- Systèmes embarqués .....	22
5-3- Les satellites- Landsat .....	23
5-4- Type des images Land SAT .....	23
5-5- Les caractéristiques radio métriques des images et leur importance .....	24

### **Deuxième partie : l'étude physique**

<b>Chapitre 1 : présentation générale et étude topographique .....</b>	<b>25</b>
1- Présentation géographique de la région d'étude .....	25
2- le climat .....	28
3- le couvert végétal .....	29
4- aperçu socio-économique .....	29
5- le relief .....	31
5-1- la courbe hypsométrique .....	31
5-2- les altitudes caractéristiques .....	34
a- les altitudes maximales et minimales .....	34
b- l'altitude moyenne .....	34
c- l'altitude médiane .....	35

d- autres altitudes.....	35
5-3-modélisation 3D et création de MNT .....	36
5-4-la pente.....	38
<b>Chapitre 2 : étude géologique.....</b>	<b>41</b>
1. caractéristiques lithologiques du matériel rocheux .....	41
1.1. Les formations du quaternaire .....	41
1.2. Les formations du Mio-Pliocène.....	42
1.3. Les formations de l'ensemble allochtone sud-sétifien.....	42
1.4. Les formations de l'ensemble Parautochtone et autochtone Auresin .....	43
1.5. Les formation de Trias exotique ou extrusif .....	43
2. La perméabilité.....	45
3. La stratigraphie de la région.....	45
4. la tectonique de la région .....	46
5. l'hydrologie et le réseau hydrographique .....	48
<b>Chapitre 3: étude climatique .....</b>	<b>50</b>
1-Les précipitations .....	50
1-1-Les variations annuelles .....	50
1-2-Les variations saisonnières .....	51
1-3-Les variations mensuelles .....	53
2-Le régime thermique .....	54
2-1-Les températures minimales et maximales .....	55
3- la gelée blanche et la neige .....	56
4- l'humidité relative .....	56
5- le vent .....	57
6- la duré de l'insolation .....	58
7- l'évaporation.....	59
7.1. Les données expérimentales .....	59
7.2. Les mesure de l'évaporation annuelle .....	60

7.3.	Les données récentes de l'évaporation mensuelle .....	60
8.	synthèse climatique.....	61
8.1.	Courbe ombro-thermique .....	62
8.2.	Indice de martone .....	62
8.3.	Climagramme de L. EMBERGER .....	64
9.	le bilan hydrographique.....	65
9.1.	L'évapotranspiration .....	65
9.2.	Evapotranspiration potentielle (E.T.P.) .....	65
9.3.	Evapotranspiration réelle (E.T.R).....	67
9.4.	Calcule du ruissellement et de l'infiltration .....	73
10.	Etude statistique des précipitations.....	75
10.1.	Etude statistique des précipitations annuelles .....	75
10.2.	Test de X2 (Khi- deux) .....	77
10.3.	Calcul les précipitations et le temps de retour pour les différentes fréquences .....	78
10.4.	Analyse statistique des pluies journalière maximale.....	79
10.5.	Les débits maximum .....	82
10.6.	L' hydro gramme des crues .....	83

### **Troisième partie : application de la télédétection**

1.	Etude diachronique de la dynamique et l'évolution des sebkhas et chotts et les risques Naturels qui en découlent.....	87
2.	La constitution et la préparation de base de données .....	87
2.1.	Les données supports (les cartes topographiques) .....	87
2.1.1.	Types de cartes topographiques .....	87
2.1.2.	Scannage des cartes topographiques .....	88
2.1.3.	Choix de la projection.....	88
2.1.4.	Géo référencement des cartes topographiques.....	88
2.1.5.	Découpage et mosaïcage des cartes topographiques.....	88
2.2	Les données de télédétection .....	89

2.2.1.	Le choix des images .....	89
2.2.2.	Les caractéristiques des images choisies .....	91
2.2.3.	Le choix des canaux .....	92
2.2.4.	Extraction d'une fenêtre de la zone d'étude .....	92
3.	Les prétraitements .....	93
3.1.	Les corrections des images .....	93
3.1.1.	Les corrections radio métriques .....	93
3.1.2.	Les corrections géométriques .....	93
3.2.	Les transformations multi spectrales : les indices et les filtres.....	98
3.2.1.	L'indice de végétation (NDVI) .....	98
3.2.2.	Filtrage (les filtres).....	101
3.3.	L'analyse visuelle et le choix de la composition colorée .....	107
3.3.1.	La composition colorée .....	107
3.3.2.	Interprétation de la composition colorée .....	111
4.	traitements des données.....	111
4.1.	La classification supervisée .....	112
4.2.	Choix des zones d'entraînement.....	114
4.3.	Application de l'algorithme de maximum de vraisemblance .....	115
4.4.	Classification classique (par analyse visuelle) .....	118

#### **Quatrième partie : analyse les résultats et zonage des risques**

Conclusion générale .....	129
---------------------------	-----

Bibliographie

Annexe

# introduction générale

## Introduction générale

Les régions des hauts plateaux de l'Est algérien sont caractérisées par **l'endoréisme** à savoir un niveau de base local qui ne permet pas au système hydrologique d'arriver vers la mer.

Ces zones endoréiques par leur caractère morphologique fermé ou semi-fermé localisent des espaces récepteurs et collecteurs des écoulements de surface provenant simultanément de nombreux bassins. Elles constituent à ce titre de vastes zones inondables.

Par ailleurs la socialisation rapide et continue de ces espaces endoréiques par des activités diverses et souvent une anthropisation accélérée lui confère une vulnérabilité élevée.

Les zones des sebkhas et chotts situées entre Zana et Madghassen peut être considérées comme un espace à risque en raison d'une part de la dynamique des sebkhas et chotts qui s'installent sur des surfaces étendues et d'autre part de l'importance des enjeux socio-économiques qui s'y localisent notamment sur toutes les zones limitrophes.

Les phénomènes d'inondation et de salinisation des sols présentent souvent une extension spéciale importante, son étude impose de disposer d'informations précises, **géo localisées** sur ses composantes à savoir **l'aléa et les enjeux**. Les données de la **télé-détection** permettent de les caractériser à l'aide d'indicateurs et de classes.

En effet la description des enjeux et leur évaluation par des moyens cartographiques classiques dont la mise à jour peut durer plusieurs mois, ne permet de fournir que des visions quasi historiques des zones qualifiées de vulnérables. Pour cette raison les capacités cartographiques des systèmes d'observation de la terre par satellite qui en revanche fournissent des informations synchroniques et régulièrement actualisables sont devenues indisponibles.

Le même problème se pose pour l'aléa où l'information globale et synchrone sur l'ampleur des événements est difficile à obtenir par les moyens conventionnels. En effet la possibilité de couverture récurrente des systèmes d'observation satellitaires permet à fréquence régulière de cartographier le phénomène et son évolution spatio-temporelle.

Notre démarche dans ce travail consiste d'abord en une analyse de l'importance et la distribution spatiale des enjeux socio-économiques, en suite l'analyse de l'aléa et sa mobilité spatio-temporelle ce qui va nous amener à l'analyse de la dynamique des sebkhas et chotts et leur mobilité.

Enfin la valorisation des résultats fournis une vision générale sur le risque et constitue un document d'aide à la décision et à la gestion de ce territoire endoréique vulnérable.

Le travail s'articulera autour de quatre parties :

- la première partie aura un caractère théorique qui essayera de formuler des définitions et de dresser un état des lieux sur les questions abordées à savoir les zones endoréiques, les risques d'inondation et de désertification, les techniques de la télédétection et les caractéristiques des images utilisées LANDSAT,
- la deuxième partie concerne la localisation de la zone d'étude et l'analyse des caractéristiques physiques de cette zone qui jouent un rôle très important dans le comportement et la dynamique des sebkhas et des chotts.
- La troisième partie est une étude détaillée des procédures suivies pour l'établissement des spatio-cartes de cette dépression fermée, en commençant par la constitution et la préparation de la base de données qui est suivie par l'étude diachronique des images à savoir l'analyse des images et la reconnaissance des objets à travers leurs signatures spectrales, ce qui permettra de dresser une cartographie synthétique numérique de la dynamique et de l'évolution des sebkhas et chotts.
- La quatrième partie s'intéresse à l'analyse des résultats et essayera de formuler des propositions sur les cartes relatives au zonage des risques qui sont considérées comme des outils d'aide à la décision et à gestion des risques.

Première partie

# généralités

# **Chapitre 1 : généralité sur les sebkhas, chotts et le risque naturel**

Pour mieux appréhender le phénomène dynamique des sebkhas et chotts il est nécessaire d'en définir les principaux concepts.

## **1- Définitions générales**

-Définitions (sebkha et chott) :

- Glossaire de géomorphologie (ARMAND Colin) p 253 :

Sebkha : dépression fermée à fond plat, salée (sel ou gypse) et inondable en période de pluie.

Chott : auréole de végétation halophile autour d'une sebkha de grande dimension (kilométrique).

- Dictionnaire de géologie – MASSON Paris –1984 – p70

Sebkra (Sebkha) : dépression temporairement occupée par un lac en général salé, et où se déposent des évaporites, les eaux proviennent du ruissellement mais aussi des nappes sous terrains.

Chott : terre salée ou parfois pâturage qui entoure une dépression formée à lac temporaire (Sebkha).

- Glossaire international d'hydrologie (1992) :

Endoréisme : caractère des régions où l'écoulement n'atteint pas la mer et se perdent dans les dépressions fermées.- Les dépressions endoréiques :

Sont des espaces naturels très importants en raison de la richesse biologique et des importantes fonctions naturelles, elles participent dans la limitation des ravages des inondations en régulant les eaux des crues, elles constituent également un lieu de stockage de l'eau pendant la période de sécheresse, maintiennent les nappes phréatiques présentent ainsi un intérêt écologique.

- L'Algérie comporte plusieurs zones de caractère endoréique et tel que la zone de notre étude, malgré sa dimension et sa superficie n'a fait l'objet que de très peu d'étude.
- La dépression endoréique Sud constantinoise demeure toutefois sensible et dangereuse en raison de leur proximité des activités humaines en particulier agricoles et des enjeux socio-économiques, situés en majorité dans l'étage bioclimatique Semi-aride. Elles sont également soumises à des fortes fluctuations journalières et saisonnières qui provoquent les averses et les inondations.
- La région du Sud constantinois comprend une série de chotts, lacs endoréiques plus ou moins salés, généralement peu profonds et temporaires, de rares plan d'eau douce, comme le marais de Zana et le petit Ank Djamel,

la majeure partie est représentée par des sebkha dont nous citons : Garaet El-Taref, chott Tinsilt, etc.):

La sebkha évolue dans le cadre de systèmes endoréiques, une dépression fermée, le bassin versant a une importance dans l'élaboration de cette sebkha.

Elle est allongée sur quelques dizaines à centaines mètres avec une superficie plane en apparence, caractérisée par un tapis de cristallisation saline. Une végétation halophile de densité et de largeur variable lui succède juste à la périphérie.

Les revêtements salins pendant la saison sèche sont remarquables, les efflorescences salines recouvrent alors de vastes étendues, elles constituent en un semis de petits cristaux d'une éclatante blancheur, les formes cubiques du chlorure de sodium y dominent, les cristaux peuvent former un voile à peu près continu de fines poussières (Coque, 1962).

Lorsqu'on gratte ces pellicules salines, on découvre un horizon de structure granuleuse, épais de quelques centimètres formés de petits agrégats de sels emprisonnant des particules argileuses (Coque, 1962).

## **2- Les facteurs intervenant dans les processus de genèse des sebkhas et chotts:**

### **2-1- Le facteur géologique :**

Au cours des temps, les formations salifères (le plus souvent de type gypso-salines) étaient caractérisées par une plasticité largement supérieure en général à celles des formations voisines, elles étaient beaucoup moins rigides.

Le résultat fut que lors des plissements suite aux forces de pression considérables mises en jeu, il y eut de véritables poussées verticales de ces formations salines (à l'échelle du temps géologique bien sûr) soit verticalement, soit à travers failles et fractures (Hulin, 1983).



Fig. (01) : L'exploitation des gypses – Ouled Zaoui – près de sebkha Tinsilt

## **2-2- Le facteur topographique :**

a- l'influence indirecte : l'influence indirecte de la topographie est essentielle en premier lieu, par la différenciation des climats locaux et des microclimats qu'elle détermine, selon le relief du territoire, ainsi que l'exposition et la pente des terrains concernés les variations climatiques qui en résultent d'une station à une autre se répercutent évidemment sur les modalités de la pédogenèse.

b- le rôle direct : son rôle direct et d'autre part des plus importants entant que facteur régulateur de l'érosion, des migrations et de drainage le long d'un topo séquence et selon le model, trois phénomènes intervient à des degrés divers :

- L'érosion : elle prédomine au niveau de la coupe, et surtout de la rupture de pente, où elle entrave l'évolution normale du sol par « décapage » constant du profil.
- La migration oblique : la migration oblique dans le sol, sous l'effet de la pente, des éléments solubles et colloïdaux entraînant le long du versant. Il s'y ajoute souvent en surface le colluvionnement, c'est-à-dire l'entraînement et l'accumulation en bas de versant des matériaux issus de l'érosion des hauts de pente.
- La stagnation : la stagnation dans le bas-fond, souvent en relation avec la proximité de la nappe phréatique, que sera à l'origine d'un sol engrangé (Lacost et Salanon, 2001).



Fig. (02) : Le niveau de base locale - Sebkha Tinsilt -

### **2-3- Le climat :**

L'aridité du climat est pratiquement une condition nécessaire à la présence de sols salés d'origine géologique, plus le climat est aride et plus grande est l'intensité de la salinité.

Dans un climat aride il ne peut y avoir de dessalement des sols que s'il a une circulation des eaux, du haut vers le bas, sans inondation ou exhaussement brutal des nappes. Les pluies torrentielles ont souvent provoqué des extensions spectaculaires des zones salées.

### **2-4- Les divers composants qui peuvent intervenir dans les processus hydrologique :**

a- les sources : elles interviennent assez rarement, puisqu'il s'agit le plus souvent de terrains argileux (salifères).

Elles peuvent apparaître malgré tout dans les plans de séparation des couches dans les fissurations ...etc., de telle façon que l'on trouve parfois des sources très peu salées dans des zones à sols salés.

En moyenne, les sources ont très peu d'importance en tant que composantes intervenant dans le degré de salinité des écoulements.

b- les cours d'eau : ils peuvent être alimentés par :

- Les sources dont nous venons de parler.
- Les eaux de ruissellement, de ressuyage des terrains des bassins versants.

Le degré de salinité atteint par l'eau sera évidemment fonction des terrains constituant le bassin versant.

Il est fréquent que les cours principaux ayant un très large bassin versant, et une salinité relativement modérée.

L'importance relative des affleurements salifères éventuels y étant moindre par contre il est fréquent que de petits cours d'eau proviennent de petits bassins où l'importance relative des affleurements salifères est très grande. Ces petits oueds lorsqu'ils s'écoulent, il peuvent être alors extrêmement salés.

b-1- Les cours principaux : ces cours d'eau peuvent contribuer à la contamination des terrains et des nappes de diverses façons :

- Par débordement et inondation en contribuant à recharger des nappes (peu ou pas drainées) avec une eau plus ou moins salée.
- Par l'infiltration lors de leurs passages sur des affleurements perméables à la sortie des montagnes.
- Par l'infiltration dans les coudes perméables.

### b-2- Les cours d'eau secondaires :

Lorsque le relief est jeune, la densité des petits cours d'eau peut être très élevée, et qui coulent qu'en période de crue.

Très souvent aussi, au niveau de ces plaines, le réseau hydrographique est très mal hiérarchisé, à la sortie de la partie montagneuse, il y'a rupture de pente brutale et les plaines peuvent se contaminer.



Fig. (03) : La rupture de pente

### c- La nappe :

C'est-à-dire de la première nappe rencontrée en partant de la surface est constituée par l'accumulation au dessus de la première couche imperméable des eaux venant de la surface du sol.

Les eaux proches de la surface du sol et dont les régimes sont influencés par des apports latéraux, ces eaux vont remplir d'office le rôle de réservoir et de vecteur du salant dans les zones en dépression.

Ces eaux lorsqu'elles sont peu ou pas du tout drainées, à force d'être rechargées les nappes affleurent dans les points les plus bas (ou s'approchent suffisamment de surface du sol), à ce moment l'évaporation entre en jeu et l'accumulation de sels est inévitable.

Le processus ascendant de salinisation est d'autant plus marqué :

- Que la nappe est proche de surface.
- Qu'elle est fortement minéralisée.
- Que le bilan P/ETP est en faveur de l'évaporation.

### **2-5- le facteur humain :**

Parfois l'intervention anthropique joue un rôle très important dans la formation des néo-sebkhas, soit par la construction des infrastructures ou par l'exploitation de ressources naturelles.

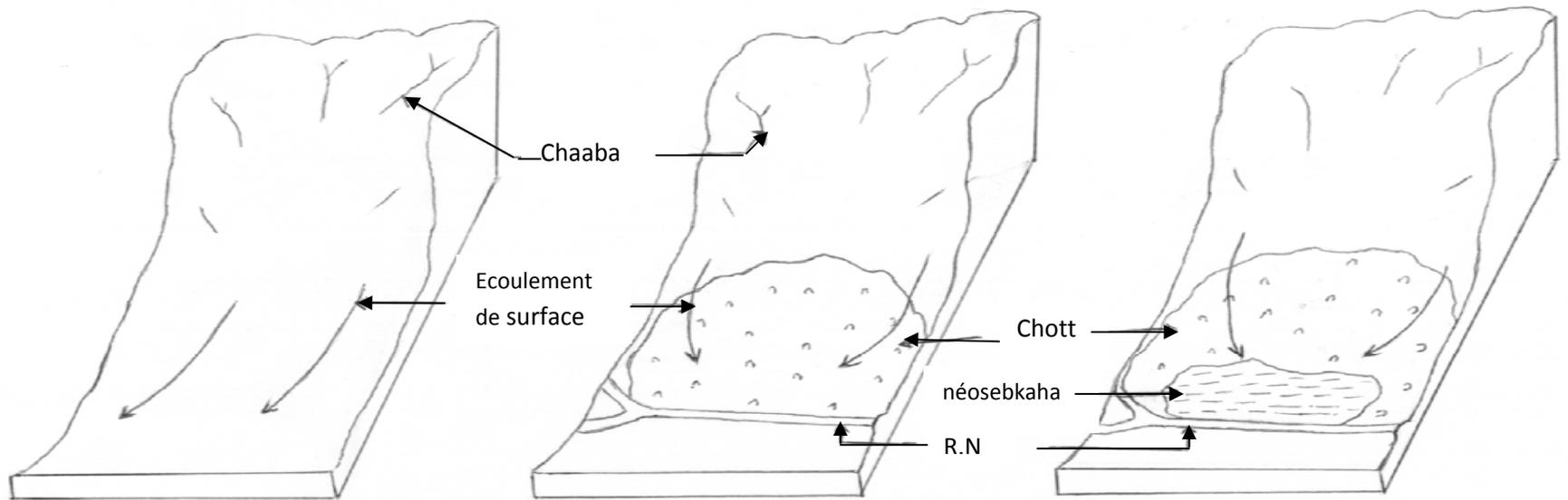
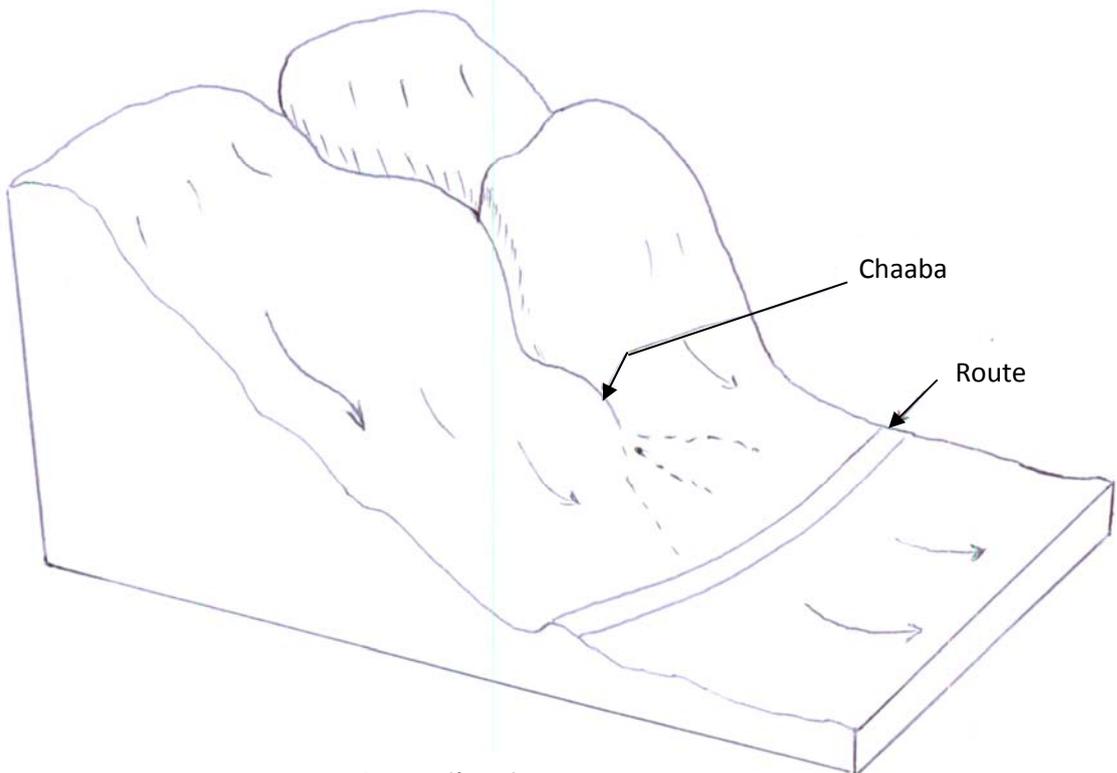
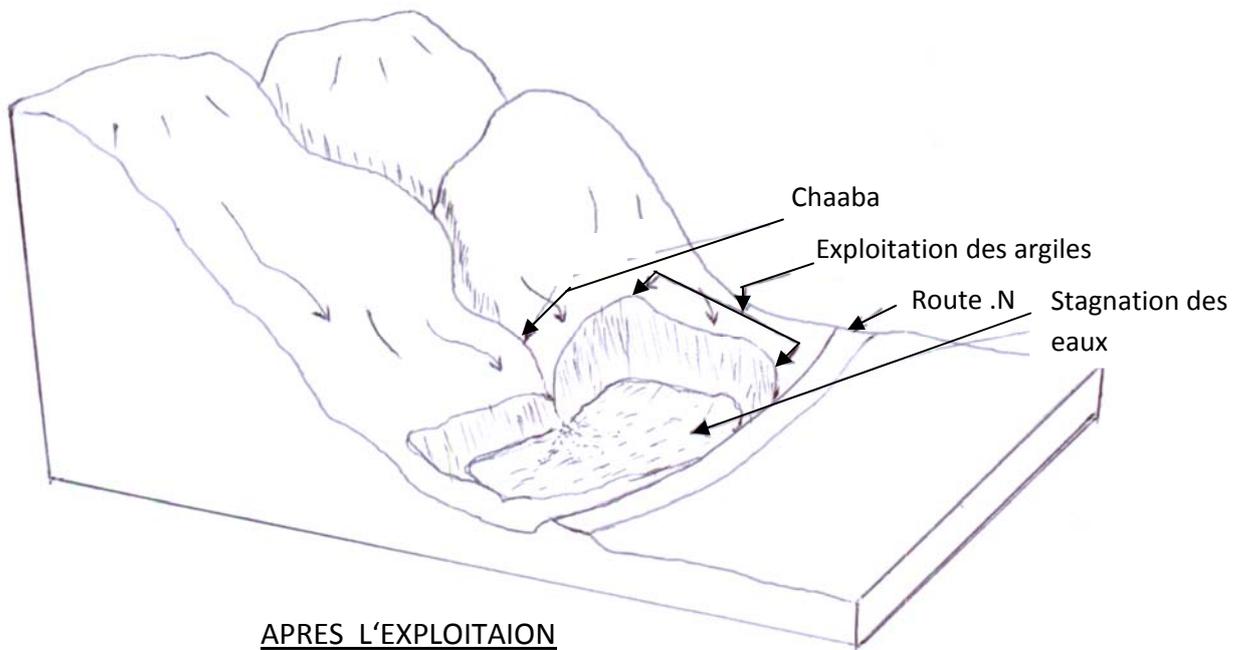


Fig. (04) : LA FORMATION D'UNE NEO-SEBKHA D'APRES L'INTERVENTION HUMAINE

(CONSTRUCTION D'UNE ROUTE \*Batna -Sétif\*)



Avant l'exploitation



APRES L'EXPLOITAION

Fig. (05) : LA FORMATION DES NEO-SEBKHAS D' APRES L'INTERVENTION HUMAINE  
(EXPLOITATION DES ARGILES)

### 3 - Les processus de genèse des sebkhas dans les zones semi-arides :

Le cas de salinisation qui nous concerne est d'origine géologique dans un climat semi-aride, c'est-à-dire que le sol trouvé provient de la redistribution des sels accumulés précédemment dans des masses des roches sédimentaires voisines des zones contaminées.

#### 3-1- une réserve, un stock de sels mobilisables :

Il s'agit essentiellement des formations salifères en altitude (versant) sous forme de :

- Dômes salifères (gypse saline très souvent).
- D'affleurement sur certains versants.
- Des dômes souterrains.



Fig. (06) : Affleurement gypseux - Ouled Zaoui –



Fig. (07) : Contact d'un dôme de gypse avec une sebkha (sebkha Tinsilt)

Les formations salifères se sont ainsi trouvées de façon privilégiée sur les points hauts, ou sur des versants et donc exposées en surface ou à proximité de la surface.

### **3-2- Un ensemble de processus qui assurent la mobilisation et la redistribution de ces sels :**

De nombreuses plaines ou dépressions de l'Algérie ont été et sont contaminées par l'écoulement, le processus intervient comme suit :

#### **a- Mobilisation :**

Dans les massifs entourant ces plaines ou ces dépressions (parfois très vastes) il existe des dômes ou des affleurements importants.

Le climat y est caractérisé globalement par des averses peu nombreuses mais qui peuvent être brutales et de très courtes durées (intensité très élevée). Ces pluies en tombant sur les massifs salifères décaperent et mettent en mouvement des sédiments salés.

L'eau à ce contact se salinise rapidement et se charge en sels.

#### **b- Distribution :**

L'eau de pluie est naturellement entraînée vers les zones basses du paysage lorsque ces zones sont très souvent caractérisées par :

- Faibles pentes.
- Un réseau hydrographique jeune voir inexistant (pas d'exutoires pour les eaux de ruissellement).

#### **c- Accumulation :**

Les fortes pluies peuvent alors y créer soit des inondations soit des recharges importantes des nappes phréatiques avec de l'eau en général qui peut être très salée.

Les averses sont suivies des périodes sèches caractérisées par de forte ETP d'où : évaporation de l'eau d'inondation et/ou ascension capillaire des eaux phréatiques proches de la surface du sol. Le terrain est une pâte molle : visqueuse absolument impraticable là où les secteurs des points profonds s'approchent de la surface (Coque, 1962).

Ces deux processus entraînent une accumulation importante de sels dans les horizons superficiels.

#### **4- La définition d'un risque naturel :**

Dictionnaire de l'environnement (1981) : le risque est la possibilité de survenance d'un événement susceptible de porter atteinte à l'équilibre naturel.

b- Le ministère de l'environnement de France : le risque naturel résulte de conjonction d'un aléa et des enjeux en présence.

On fait généralement une distinction entre aléa naturel, risque naturel et catastrophe naturelle.

4-1- Un aléa naturel : est un événement qui a son origine dans un phénomène naturel (crue, avalanche, glissement de terrains, ...etc.). La probabilité d'occurrence de ces phénomènes n'est pas nulle, beaucoup d'entre eux sont plutôt bénéfique à la nature.

4-2- Un risque naturel : si la probabilité d'occurrence d'un aléa en milieu vulnérable (sous entendu où l'homme risque de perdre des bien ou sa vie) n'est pas nulle.

4-3- Une catastrophe : est déclarée si un aléa naturel de forte intensité survient en milieu vulnérable.

- Quelques définitions :

L'aléa : est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensités données.

L'enjeu : est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

La vulnérabilité : exprime et mesure le niveau de conséquence prévisibles de l'aléa sur les enjeux.

Différentes actions peuvent la réduire en atténuant l'intensité de certains aléas ou en limitant les dommages sur les enjeux.

#### **4-4 - Le risque d'inondation :**

L'inondation est une submersion naturelle ou artificielle rapide ou lente d'une zone peuvent être habitée ; elle correspond au débordement des eaux lors d'une crue.

Une crue correspond à l'augmentation du débit ( $m^3/s$ ) d'un cours d'eau, dépassant plusieurs fois le débit moyen : elle se traduit par une augmentation de la hauteur d'eau.

La majorité des inondations se produisent à la suite de précipitations importantes, soit sur des courtes durées (crues torrentielles), soit sur des durées plus longues, quand les nappes phréatiques et les aquifères sont saturés et rendent l'infiltration impossible, au cours de la fonte des neiges ou encore pendant des épisodes mousson ou de pluie tropicales, certains inondations se produisent par débordement des drains collecteurs

d'eau pluviale ou des réseaux d'égouts, le plus souvent en zone urbaine du fait de l'imperméabilisation des surfaces.

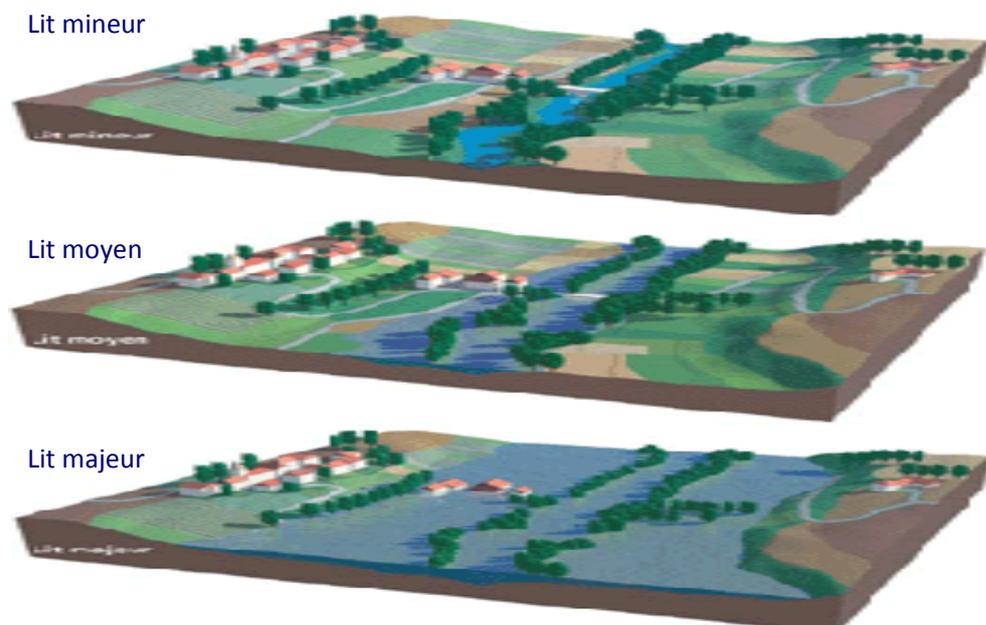
a- Les crues de type torrentiel :

Ces crues se produisent à la suite de violents orages ou d'averse soutenues, sur des bassins versants montagneux, à forte pente à faible rétention et/ou fort ruissellement.

Ces crues ont des effets qui se manifestent d'abord en aval immédiat des reliefs, mais aussi plus en aval, par exemple à la confluence des rivières quand elles ne sont plus capables d'écouler les flux sont plus dramatiques lorsque ces crues charrient de grandes quantités d'embâcles qui peuvent constituer des barrages temporaires.

b- Les crues fluviales en plaine :

Ces crues se caractérisent par une montée lente et progressive des eaux, à la fois par déportement du lit mineur dans le lit majeur, mais aussi par remontée des nappes alluviales. Ces crues sont facilement prévisibles, plusieurs heures ou plusieurs jours à l'avance, la dangerosité de ces crues est d'avantage due au risque de rupture des digues de protection qu'à des débâches brutales consécutives à la rupture d'un obstacle sur le cours d'eau. Fig. (08) :



#### **4 -5- Le risque de désertification (la salinisation des sols) :**

Est une menace réelle de l'environnement, il présente un risque naturel qui hypothèque l'avenir agricole d'une vaste région du globe et de notre pays.

La signification de la désertification prête toujours à beaucoup de confusion, malgré de nombreux travaux sur la question, on peut cependant avancer deux causes principales de l'aggravation des processus de dégradation du milieu physique.

**a /** d'abord le climat, en particulier les cycles de longue sécheresse combinées à l'activité humaine et à la naissance d'habitude nouvelles de vie, a rendu les équilibres de plus en plus fragiles.

**b /** en suite la grand croissance des populations des zones arides au cours des dernières décennies a accru les besoins en ressources diverses (aliments .... Etc.) et la demande au sol, au climat et à la végétation d'une production de plus difficile à fournir.

En réalité, toute ces action et tous ces facteurs sont liés, interdépendants et ils s'aggravent mutuellement, la désertification pouvant se comprendre comme le résultat d'un déséquilibre entre les quatre thèmes du système :

Homme ↔ climat ↔ sol ↔ végétation

Les processus de désertification se manifestent dans cette région surtout sous forme de salinisation des sols, de dégradation du couvert végétal, de différents types d'érosion. La période requise pour la désertification est différente, en réponse à des changements climatiques, elle peut s'étaler sur des siècles, mais elle peut aussi se produire en quelques années surtout avec l'intervention anthropique :

- accroissement des populations et conditions sociales
- une agriculture traditionnelle et aléatoire
- un surpâturage continu
- accroissement de l'infrastructure et l'exploitation des ressources naturelles.

La conférence des nations unie en 1977 a définie la désertification comme :

« La diminution ou la destruction des potentialités biologiques de la terre qui conduit à l'apparition des conditions désertiques, c'est l'un des aspects de la dégradation généralisée de l'écosystème sous l'emprise combinée : des conditions climatiques adverses et l'exploitation excessive.

A partir d'un certain seuil de l'accélération des processus de la dégradation elle prend rapidement un caractère irréversible.

## Chapitre 2 - La télédétection :

### 1- Définition :

LILLES et KIEFER (1994)

Ensemble des techniques permettant d'obtenir de l'information sur un objet territoire ou un phénomène géographique à travers l'analyse des données acquises à distance sans contact direct avec cet objet ce territoire ou ce phénomène géographique.

F. Bon 1992 :

Est la discipline scientifique regroupant l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir des mesures et des images obtenues à l'aide des plates formes aéroportées, spatiales, terrestres ou marines sans contact direct.

La télédétection passive-active :

La télédétection est dite passive quand la source de rayonnement est une source naturelle exemple : de soleil, elle est active quand la source est artificielle (le cas de radar).

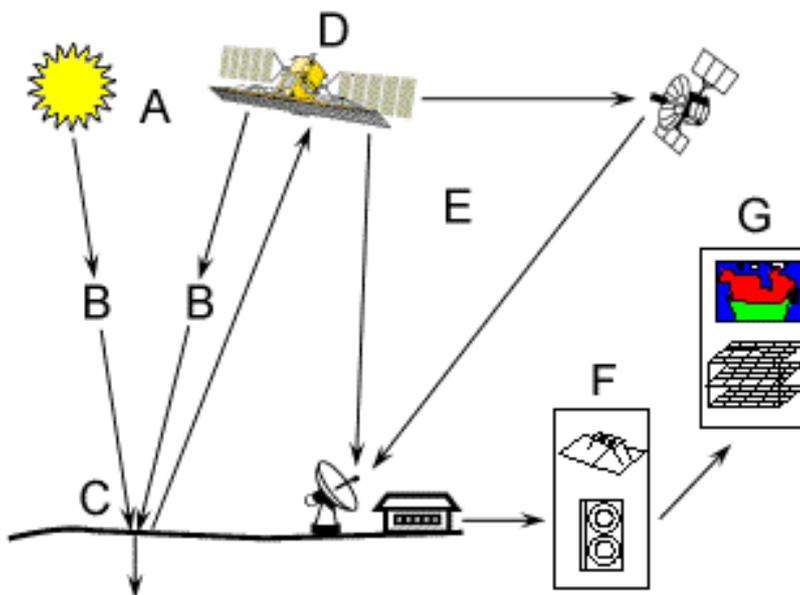


Fig. (09) : Le système télédétection

## 2- Le spectre électromagnétique :

Total des longueurs d'ondes ou de fréquences du rayonnement électromagnétique allant des ondes radioélectriques les plus longues aux rayons cosmiques les plus courts connus.

Ils sont divisés selon les longueurs d'ondes, nous citons dessous seuls les plus utilisés en télédétection (passive) :

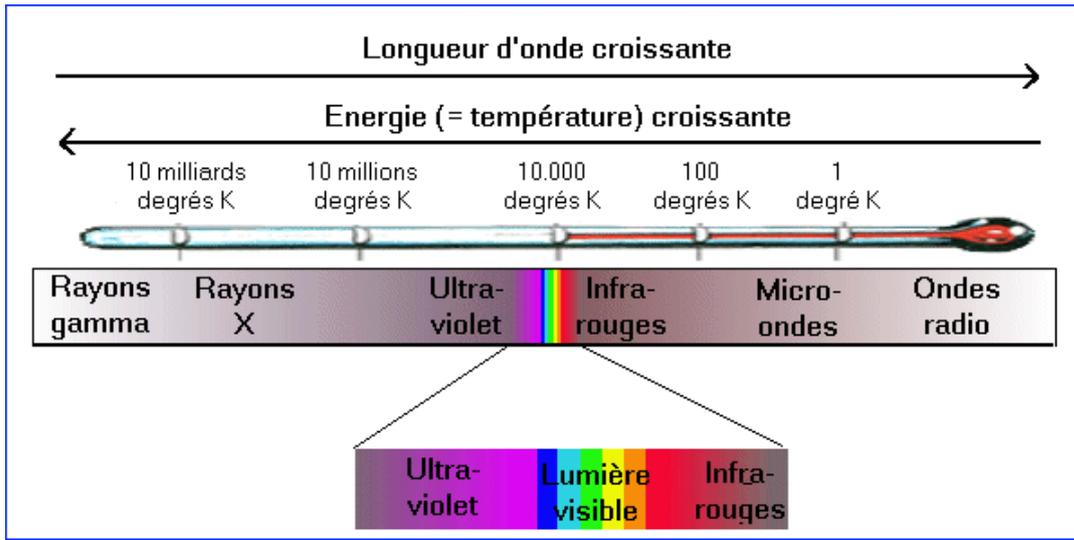


Fig. (10) : Le spectre électromagnétique

L'ultraviolet : (0,29 – 0,40  $\mu\text{m}$ ) est rarement utilisable car il est fortement absorbé par l'ozone ( $\text{O}_3$ ) à l'exception des trous d'ozone.

Le visible : (0,40 – 0,70  $\mu\text{m}$ ) ou les rayons photo synthétiquement actifs et le domaine qui contient le maximum de l'énergie solaire arrivant sur la surface de terre (environ 70% de l'énergie arrivent sur les couches supérieures de l'atmosphère dont les rayons sont aperçu par l'œil humain et aussi utilisé par la photosynthèse surtout le bleu (0,40 – 0,50  $\mu\text{m}$ ) et le rouge (0,63 – 0,68  $\mu\text{m}$ ).

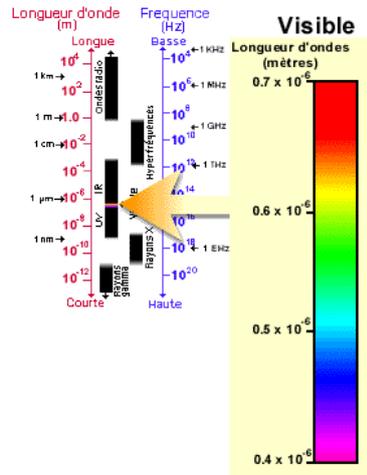


Fig. (11) : Le visible

L'infrarouge : s'étend approximativement de 0,70  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$ , ce qui fait un intervalle considérable, cependant il se divise en deux :

1- infrarouge réfléchi (solaire) qui se subdivise lui aussi en :

- Proche infrarouge (0,70 – 1,36  $\mu\text{m}$ ).
- Infrarouge moyen (1,36 – 1,90  $\mu\text{m}$ ).
- Infrarouge lointain (au delà de 1,90  $\mu\text{m}$ ).

Ces domaines spectraux sont utilisés en télédétection sur le même principe que le rayonnement visible, c'est-à-dire les capteurs mesurent le flux solaire.

2- infrarouge thermique : (3,00 – 50,00  $\mu\text{m}$ ) ce domaine est le cas particulier car les rayons mesurés sont les rayons émis sous forme de chaleur par la surface de la terre.

### 3 - L'action de milieu de propagation :

Avant que tout rayonnement utilisé par la télédétection atteigne la surface de la terre celui-ci doit traverser l'atmosphère où ce dernier perturbe le rayonnement par des mécanismes de diffusion et d'absorption.

#### 3-1- La diffusion :

Elle se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules présentes dans l'atmosphère, le niveau de la diffusion dépend de plusieurs facteurs :

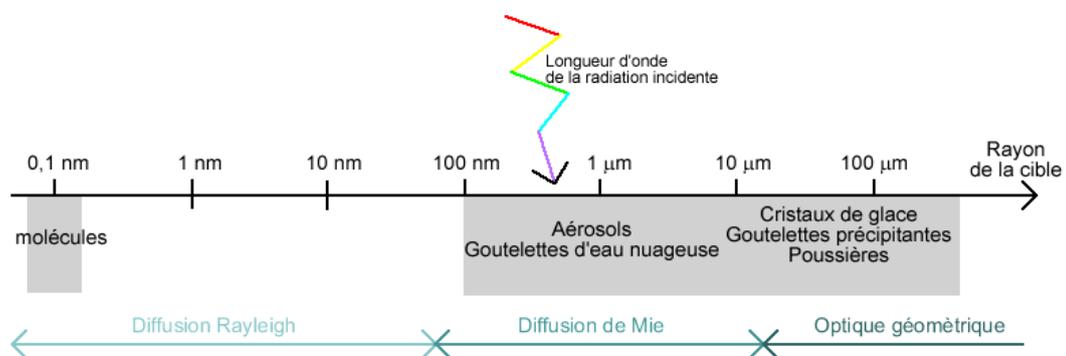
- La largeur d'onde.
- La densité des particules.
- L'épaisseur de l'atmosphère.

On cite ci-dessous brièvement les types de diffusions :

1/ diffusion de Ray Light : se produit lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde de rayonnement électromagnétique.

2/ diffusion de Mie : se produit lorsque les particules de l'atmosphère sont presque de même taille que les longueurs d'ondes. Ce type de diffusion se produit en général par la poussière, la fumée, ... etc.

3/ diffusion non sélective : se produit lorsque les particules (ex : les gouttes d'eaux, les grosses particules de poussière, ... etc.) sont beaucoup plus grosses que les longueurs d'ondes Fig. (12) :



### 3-2- L'absorption :

L'absorption de l'énergie (rayons électromagnétiques) est causée par les gaz atmosphériques.

Les principaux gaz absorbants sont l'oxygène (O<sub>2</sub>) l'Ozone (O<sub>3</sub>) la vapeur d'eau gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), l'Azote (N<sub>2</sub>).

## 4 - **Le comportement spectral des objets :**

La détection des objets en télédétection nécessite de connaître au préalable le comportement spectral de ces derniers dans les différents domaines spectraux.

### **4-1-Comportement spectral des sols :**

Le sol est milieu hétérogène complexe, il comprend une phase solide incluant des éléments minéraux et organiques, une phase liquide et une phase gazeuse. L'étude des propriétés spectrales des sols doit donc tenir compte de tous ces éléments qui influencent la réflexion du rayonnement électromagnétique dans le visible et le proche infrarouge, la réflexion croît régulièrement au fur et à mesure que l'on se déplace vers

l'infrarouge, les seules discontinuités observées sont à 0,95  $\mu\text{m}$  ; 1,1  $\mu\text{m}$  ; 1,4  $\mu\text{m}$  sont dues aux bandes d'absorption de l'eau.

La réflexion est fonction de l'état de rugosité de la surface, de l'humidité, de la teneur des constituants chimiques (matières organiques et minéraux) une forte teneur en matière organique fait diminuer notablement la valeur de La réflexion.

#### **4-2- comportement spectral des végétaux :**

Les propriétés spectrales de la végétation varient avec la saison et les phases de croissance dans le visible, les végétaux réagissent en fonction de leur composition en pigments (chlorophylle et carotène).

Il y'a une forte absorption dur deux bandes (le bleu et le rouge), ce qui caractérise un maximum de réflexion dans le vert 0,55  $\mu\text{m}$  dans le proche infrarouge (0,7 – 1,3  $\mu\text{m}$ ). Ici la réflexion est fonction seulement de la structure interne du feuillage, et croit de 0,7  $\mu\text{m}$  à 0,9  $\mu\text{m}$  dans l'infrarouge moyen (1,3  $\mu\text{m}$  – 2,5  $\mu\text{m}$ ) ; le comportement des végétaux est de leur teneur en eau, si une végétation desséchée ou souffrant de stresse hydrique par suite d'une maladie ou attaque parasitaire, sa réflexion en sera affectée.

La bande d'absorption de l'eau ne se manifeste plus.

#### **4-3- comportement spectral de l'eau, la glace et la neige :**

L'eau a des propriétés optiques très différentes selon qu'elle est à l'état liquide ou solide la signature spectrale de l'eau est caractérisée par celle des molécules (eau pure par exemple) et par celle des constituants dissous ou en suspension comme les algues, particules, ou matière organique, l'eau diffuse une partie du rayonnement reçu avec forte intensité dans les longueurs d'ondes inférieures à 0,5  $\mu\text{m}$ , d'où sa couleur bleu, sauf entre 1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$  où elle est plus absorbante. Par contre la neige constituée de cristaux de glace est très diffusante. La neige et la glace jouent un rôle prépondérant dans les changements climatiques du globe.

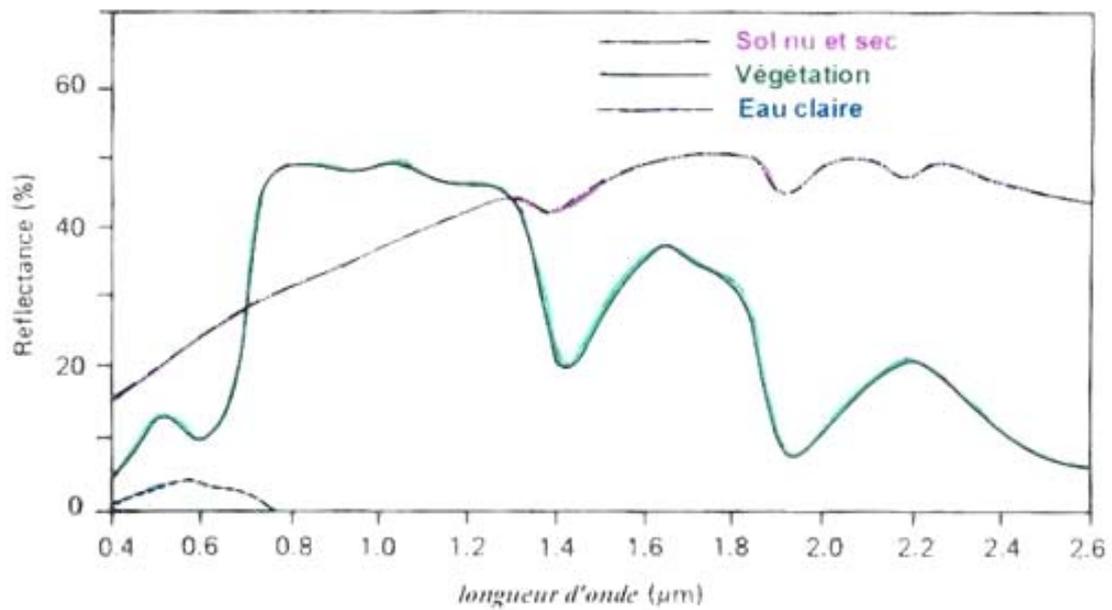


Fig. (13) : Signatures spectrales typiques des principales unités de paysage

### Conclusion :

Le mécanisme de l'acquisition des informations est un phénomène complexe il est important de retenir que le signal enregistré est le résultat de diverses transformations est prend compte des paramètres tels que :

- Les perturbations instrumentales, l'influence de l'altitude de vol, les perturbations dues à l'atmosphère, le comportement propre de l'objet étudié.

## **5- Présentation générale des satellites (LANDSAT) :**

Le programme d'observation de surface terrestre « Landsat » est le plus ancien des Etats Unis, sept satellites Landsat ont été lancés depuis juillet 1972. Le dernier d'entre eux, Landsat 7, marque une nouvelle orientation dans le programme afin de réduire le coût des données et d'augmenter la couverture globale de la terre.

### 5-1/ Caractéristiques orbitales :

Les satellites Landsat évoluent à une altitude moyenne de 705 km, sur des orbites circulaires quasi polaire caractérisées par une inclinaison de 98,2° (ce qui permet l'héliosynchronisme). Un tour de la terre leur prend 98,9 min, si bien qu'ils décrivent 14,5 révolutions par jour. Un cycle orbital compte dure 16 jours.

Les caractéristiques orbitales ont des conséquences sur l'acquisition des images :

- La couverture est complète entre le parallèle 81° Nord et Sud.
- Le recouvrement des images s'accroît avec la latitude (7% à l'équateur, 54% pour 60° de latitude).

### 5-2/ Systèmes embarqués :

L'instrumentation embarquée a évoluée au fil des satellites, depuis les cameras RBV (Return Beam Vidicon) et le radiomètre multi spectral MSS (Multi Spectral Scanner) de 1972 jusqu'au radiomètre ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de 1999. La résolution spectrale est passée de 80m à 30m (ou 15m en mode panchromatique) et les domaines spectraux explorés concernent le visible, l'infrarouge proche et moyen ainsi que l'infrarouge thermique.

Le radiomètre ETM+ permet ainsi d'offrir des images couvrant un champ d'observation de 185 km x 185 km avec une résolution spectral de 30 m en mode multi spectral.

5-3 / Les satellites- LANDSAT- tableau (1)

Satellite	Date de lancement	Altitude moyenne	Cycle orbital	Fauchée	Capteurs canaux et résolution spatiale
Landsat 1	Juillet 1972	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 2	Janvier 1975	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 3	Mars 1978	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80m) Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m)
Landsat 4	Juillet 1982	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5canaux,80m) RadiomètreTM (7canaux, 30 m)
Landsat 5		705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5canaux,80m) RadiomètreTM (7canaux, 30 m)
Landsat 6	Octobre 1993	Détruit après lancement			
Landsat 7	Avril 1999	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM+ (7 canaux, 30 m, plus canal panchro, 15 m)

Les images satellites Landsat sont des données d'observation de la terre de résolution relativement haute. Ces données sont acquises par des capteurs montés sur les satellites de la NASA.

Une image satellite est composée de bandes qui peuvent être différemment combinées suivant les besoins d'étude. Les scènes Landsat se distinguent en scène TM acquises par satellite Landsat 4 et 5, et ETM+ par le satellite Landsat 7.

5-4/ Type des images Landsat :

La qualité des images Landsat a évoluée au fil des années selon les capteurs construits par ordre chronologique.

1/ Multi spectral scanner (MSS) : Les images MSS sont les plus anciennes (de 1972 à nos jours) et de qualité la plus faible des 3 capteurs Landsat. Le capteur MSS monté sur les satellites Landsat 1 à 5 collecte les images en 4 bandes multi spectrales (2 visibles, 2 infrarouges proches) à une résolution spatiale de 79 mètre (Landsat 1 – 3) et de 82 mètres (Landsat 4 et 5) couvre une surface de +/- 180 x 170 km.

2/ Thematic mapper (TM) : les scènes TM couvrent chacune une surface de +/- 170 x 183 km, la qualité des images TM a été améliorée par rapport au MSS. Le capteur TM à bord de satellite Landsat 4 et 5 produit des images depuis 1984 constituées de 7 bandes multi spectrales : 3 bandes visibles (bande 1--- bleu, bande 2 --- verte, bande 3 --- rouge) 1 bande infrarouge proche (bande 4), 2 bandes infrarouges moyennes (bandes 5 et 7), 1 bande infrarouge thermique (bande 6). Les bandes 1 à 5 et 7 ont une résolution spectrale de 30 mètres, la bande 6 de 120 mètres.

3/ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) : Le capteur (ETM+) lancé avec le satellite Landsat 7 fournit la meilleure qualité des images Landsat. Similaire au capteur TM, le capteur ETM+ apporte les améliorations suivantes : une bande supplémentaire, la bande panchromatique (bande 8) à une résolution spatiale de 15 mètres ; une amélioration de la résolution de la bande infrarouge thermique (bande 6) est subdivisée en une bande avec un gain élevé et une bande à faible gain) rendu à 60 mètres.

#### 5-5/ Les caractéristiques radio métriques des images et leur importance :

Les caractéristiques radio métriques constituent un des paramètres déterminants la qualité de l'imagerie satellitaire.

La radiométrie des scènes fournit des caractéristiques distinctes des composantes de l'image d'une scène. Ces mesures permettent de déterminer l'utilité, d'un point de vue scientifique des images, par exemple les bandes 1, 2 et 3 peuvent être combinées pour obtenir l'apparence réelle de la terre ; la combinaison des bandes 4, 5 et 7 de ETM+ avec les bandes 1, 2 ou 3 peut donner une idée sur l'état de la végétation et la réalité du terrain.

Deuxième partie

étude physique

# **Chapitre 1 : présentation générale et étude topographique :**

## **1- Présentation géographique de la région d'étude**

La région d'étude fait partie des hautes plaines sud constantinoises de l'Est algérien qui constituent un vaste couloir dominé par deux chaînes de montagnes :

- \* le massif des Aurès au sud ;
- \* Les chaînes des Monts de Constantine au nord.

Elle se trouve à quelques dizaines de kilomètres au nord de la wilaya de Batna, occupe une vaste partie du territoire la wilaya de Batna et le reste appartient au territoire de la wilaya d'Oum El-Bouagui. La forme fermée du Bassin hydrologique constitue un système endoréique qui est limité par :

- Au nord : Djebel Anouda (1248 m), Djebel Guedmene (1134 m), Djebel tizourit (1048 m).
- A l'ouest : Merdja Saboun, Merdja Taga, Djbel gaba Essaid (1416 m).
- A l'est : Sebkhha Ezzmoul, les Monts de Ain Yagout, Djbel Azem (1190 m).
- Au sud : la plaine d'El-Madher, Koudiat Tfouda (1081 m) et Djbel de Belezma.

La région d'étude se situe approximativement dans les fourchettes des coordonnées géographiques suivantes :

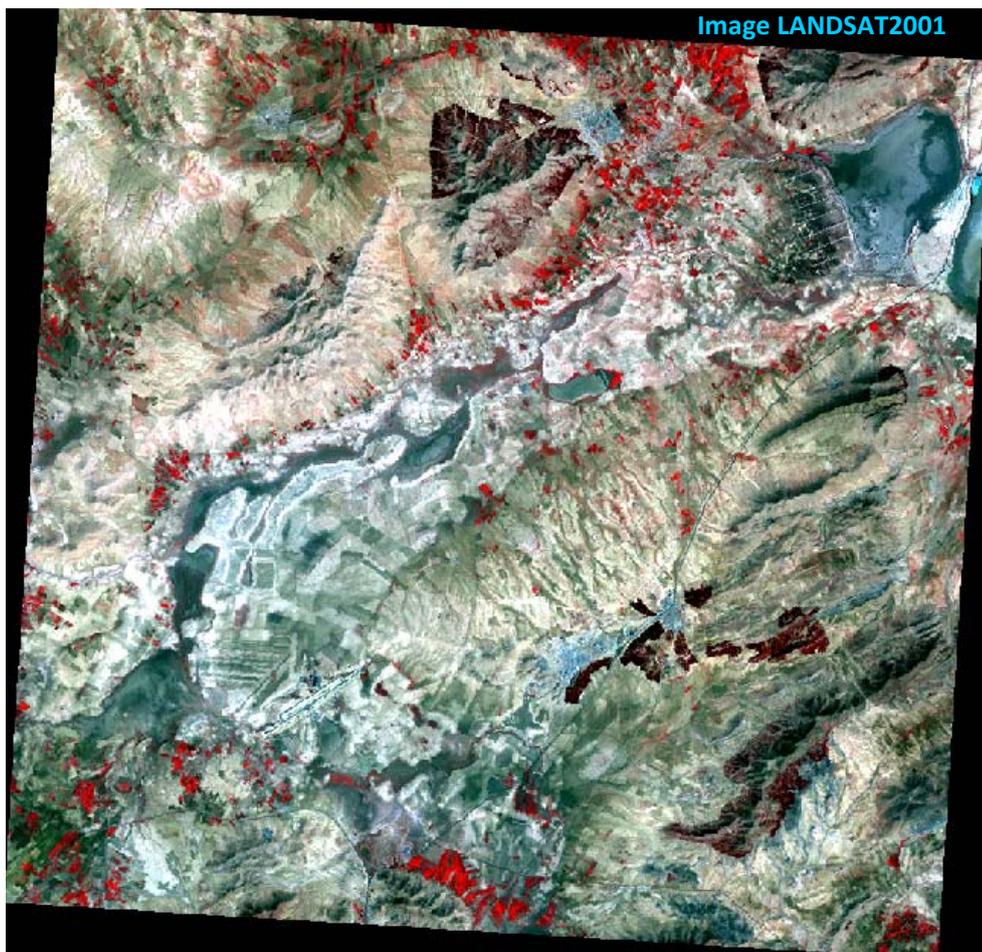
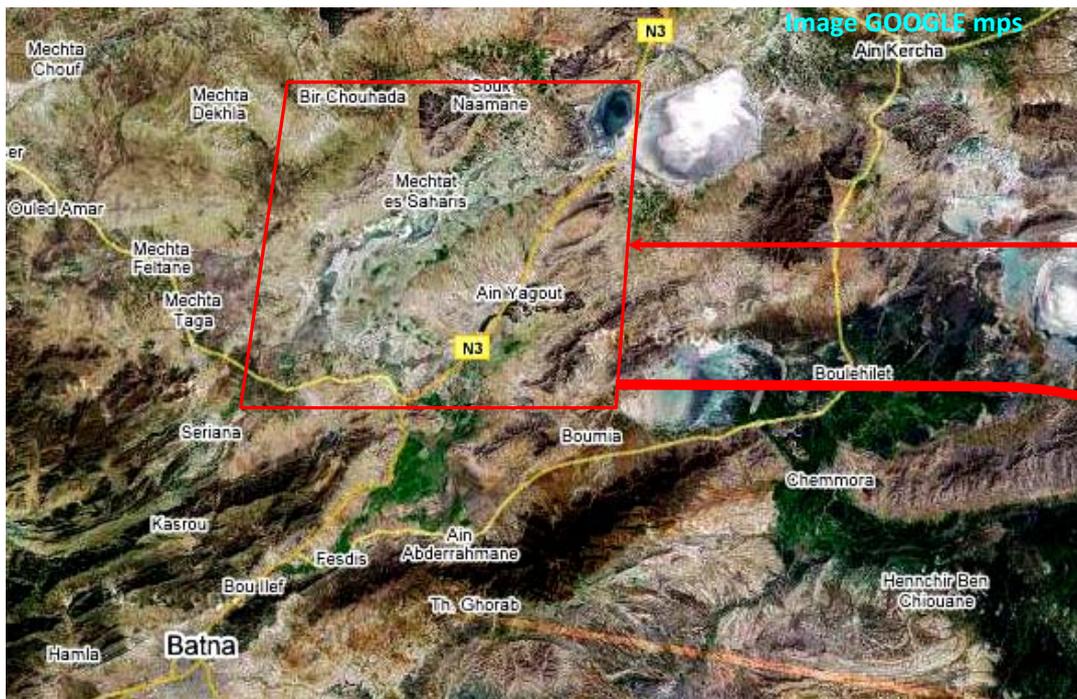
- Une longitude de 6° 13' Est à 6° 30' Est ;
- Une latitude de 35° 43' Nord à 35° 56' Nord.

Elle est limitée approximativement par :

- \*la route Nationale N° 03 qui relie Batna avec Constantine à l'est.
- \*la route de wilaya N° 48 qui relie Souk Naamane à Bir Chouhda au nord
- \*la route Nationale N° 75 qui relie Batna avec Sétif au sud.

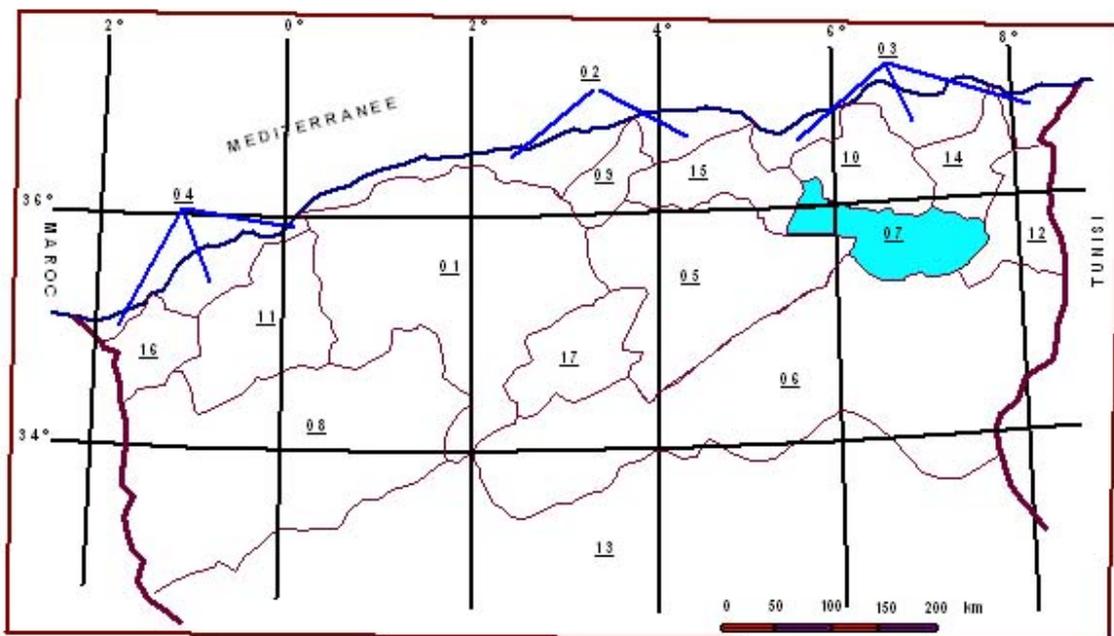
Elle est caractérisée par sa platitude et la présence de l'endoréisme qui est traduit par une multitude des Sebkhhas qui occupent le centre de la plaine, leur caractère morphologique fermé ou semi fermé constitue un espace récepteur des écoulements de surface qui proviennent de nombreux bassins tels que le bassin de l'Oued El-Gourzi qui alimente principalement cette région fermé.

Fig. (14) : LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE D'APRES L'IMAGE SATELLITAIRE



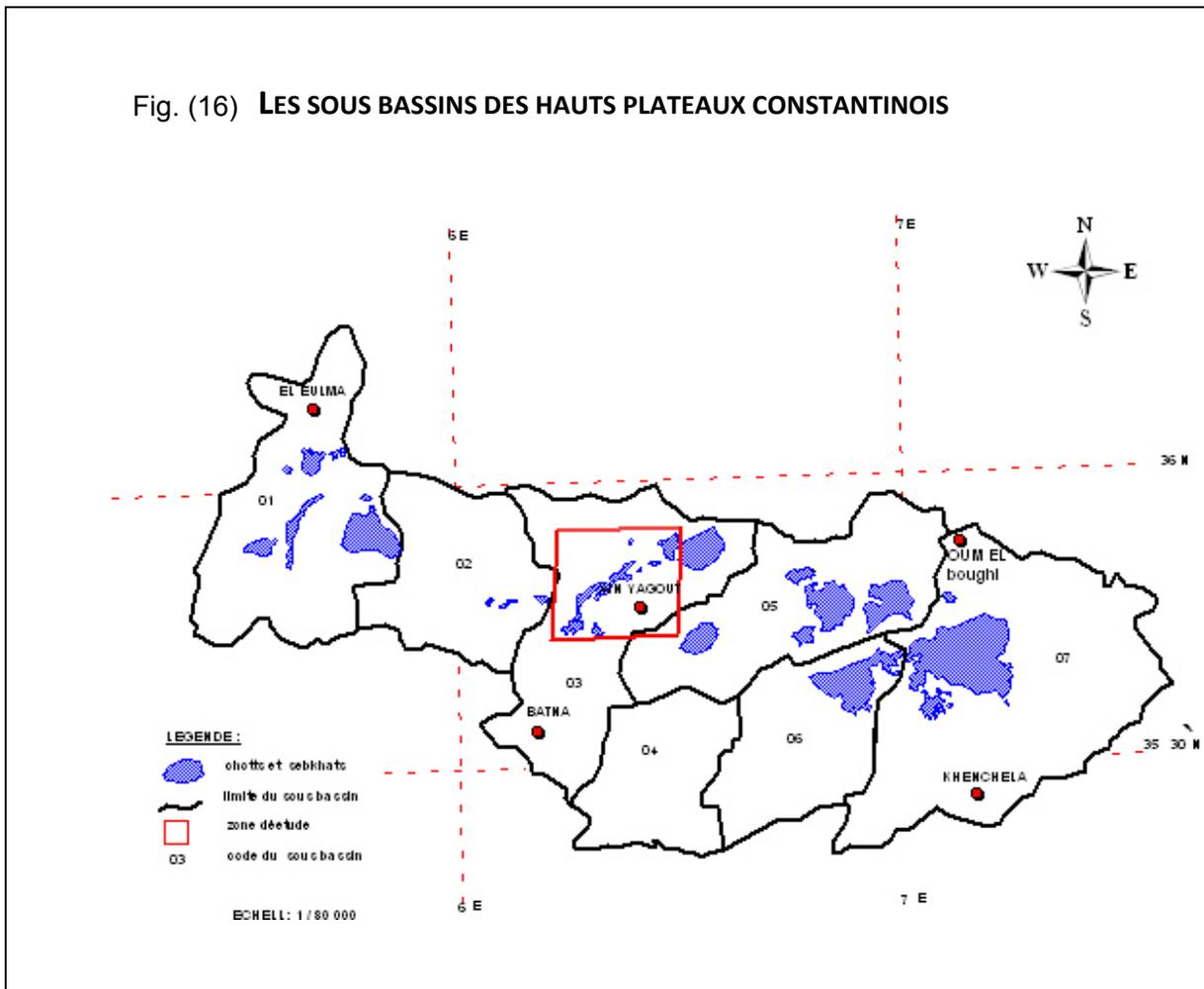
La zone d'étude appartient, selon la codification de L.A.N.R.H., au grand bassin versant des Hautes Plaines constantinoises (BV N° 07) et qui est subdivisé en sept sous bassins, la zone d'étude fait partie de ce sous bassin (07-03)

Fig. (15) : **LES GRANDS BASSINS VERSANTS DE L'ALGERIE**



- |                          |                                 |            |
|--------------------------|---------------------------------|------------|
| 01 cheliff               | 07 hauts plateaux constantinois | 13 sahara  |
| 02 cotiers algerois      | 08 hauts plateaux oranais       | 14 sebous  |
| 03 cotiers constantinois | 09 isser                        | 15 soummam |
| 04 cotiers oranis        | 10 kebir rhumel                 | 16 tafna   |
| 05 chott hodna           | 11 macta                        | 17 zahrez  |
| 06 cott melhir           | 12 medjerdah                    |            |

Fig. (16) **LES SOUS BASSINS DES HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS**



## 2 - Le climat

Cette région est caractérisée par un climat semi-aride avec des précipitations faibles en quantités ne dépassant pas 400 mm annuellement.

Ces précipitations sont souvent violentes, sous formes d'averses qui provoquent des inondations ; on remarque deux saisons bien distinctes :

- un été sec et chaud ;
- un hiver froid et humide.

### 3- Le couvert végétal

La présence et la distribution des chotts et des sebkhas au niveau de cette région et le caractère climatique ; la faible pluviosité, indiquent une pauvreté en végétation.

Généralement, on retrouve des espaces steppiques et halophytes qui résistent à la salinité des terrains, une végétation caractéristique de Grosses touffes d'atriplex ou de Salsolacées, Ces espaces steppiques sont souvent associés dans leur état et leur articulation dans l'espace à l'activité socio-économiques et son intensité.



Fig. (17) : Un couvert végétal steppique et halophyte

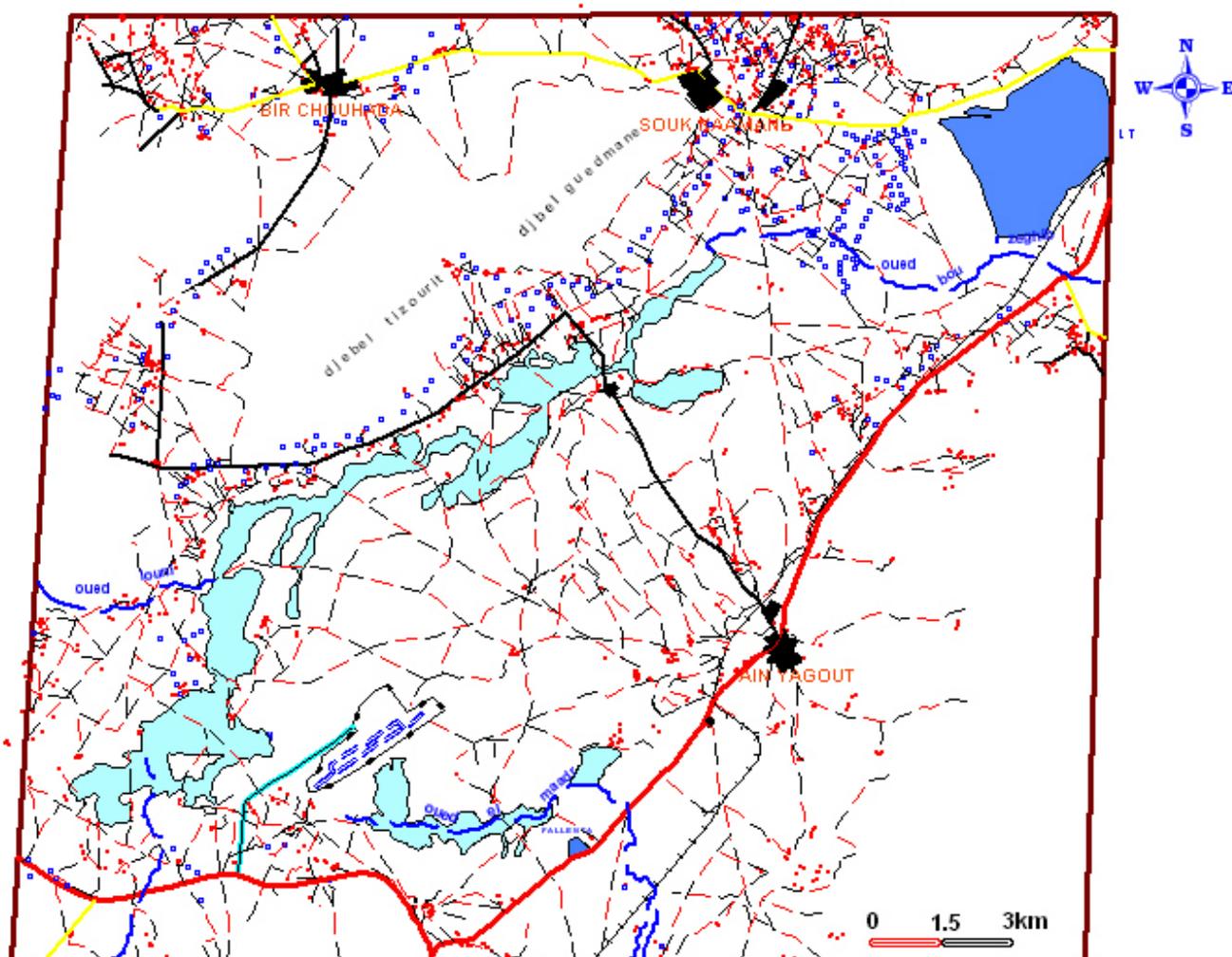
### 4- aperçu socio-économique

La région contient des agglomérations de moyennes tailles, Ain Yagout, Souk Naaman, Bir Chouhada. Les mechtas sont réparties près des oueds de même que les puits qui sont utilisés pour leurs besoins quotidiens d'usage domestique et agricole, cette plaine est une région à vocation agricole à monoculture céréalière et d'élevage surtout ovin.

Pour l'infrastructure, on note la localisation de l'aéroport de Batna au centre de cette plaine (chott Gadaine), et aussi un réseau routier important qui relie les différents points d'agglomérations et les autres secteurs économiques.

Par ailleurs l'habitat semble prendre de l'ampleur, sa densité apparaît grandissante autour des sebkhas et chotts augmentant sensiblement le niveau de vulnérabilité de ses secteurs faces à la dynamique de ces espaces.

Fig. (18) : CARTE DES ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES



**LEGENDE**

- |                     |                     |                |
|---------------------|---------------------|----------------|
| route nationale     | piste               | sebkha         |
| route de wilaya     | piste de l'aéroport | chott          |
| route communale     | puits               | oued principal |
| route de l'aéroport | agglomeration       |                |

## 5- Le relief :

L'influence du relief sur les écoulements des surfaces se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrologiques varient avec l'altitude la topographie (précipitation, température....etc.) et la morphologie du terrain en outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement le relief se détermine d'après les caractéristiques suivant :

### 5-1- La courbe hypsométrique:

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique sur la pente du terrain donc du relief, cette courbe représente la répartition des surfaces en km<sup>2</sup> ou en (%) en fonction de ces altitudes en (m).

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins ou sections entre eux.

Tableau (2) : Répartition altimétrique de la région d'étude :

élévation	Surface partielle		Surface cumulée	
	Km <sup>2</sup>	%	Km2	%
> 1200	6,18	0,9	6,18	0,9
1100-1200	8,45	1,23	14,63	2,13
1000-1100	30,9	4,52	45,5	6,65
900-1000	68,5	10,02	114,03	16,6
800-900	489,0	71,5	603,03	88,17
< 800	80,7	11,81	684	100

Fig. (19) : LA COURBE HYSOMETRIQUE

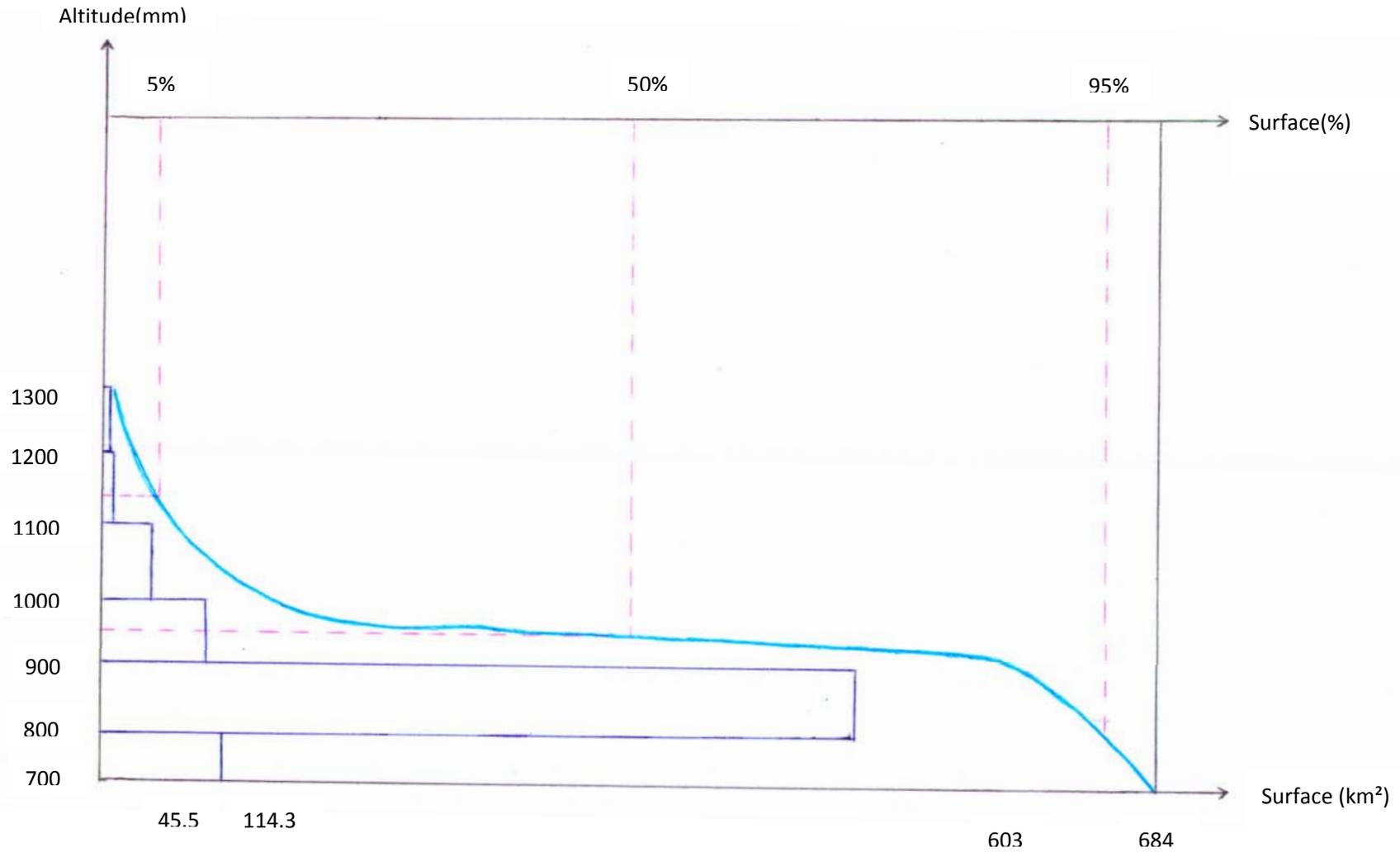
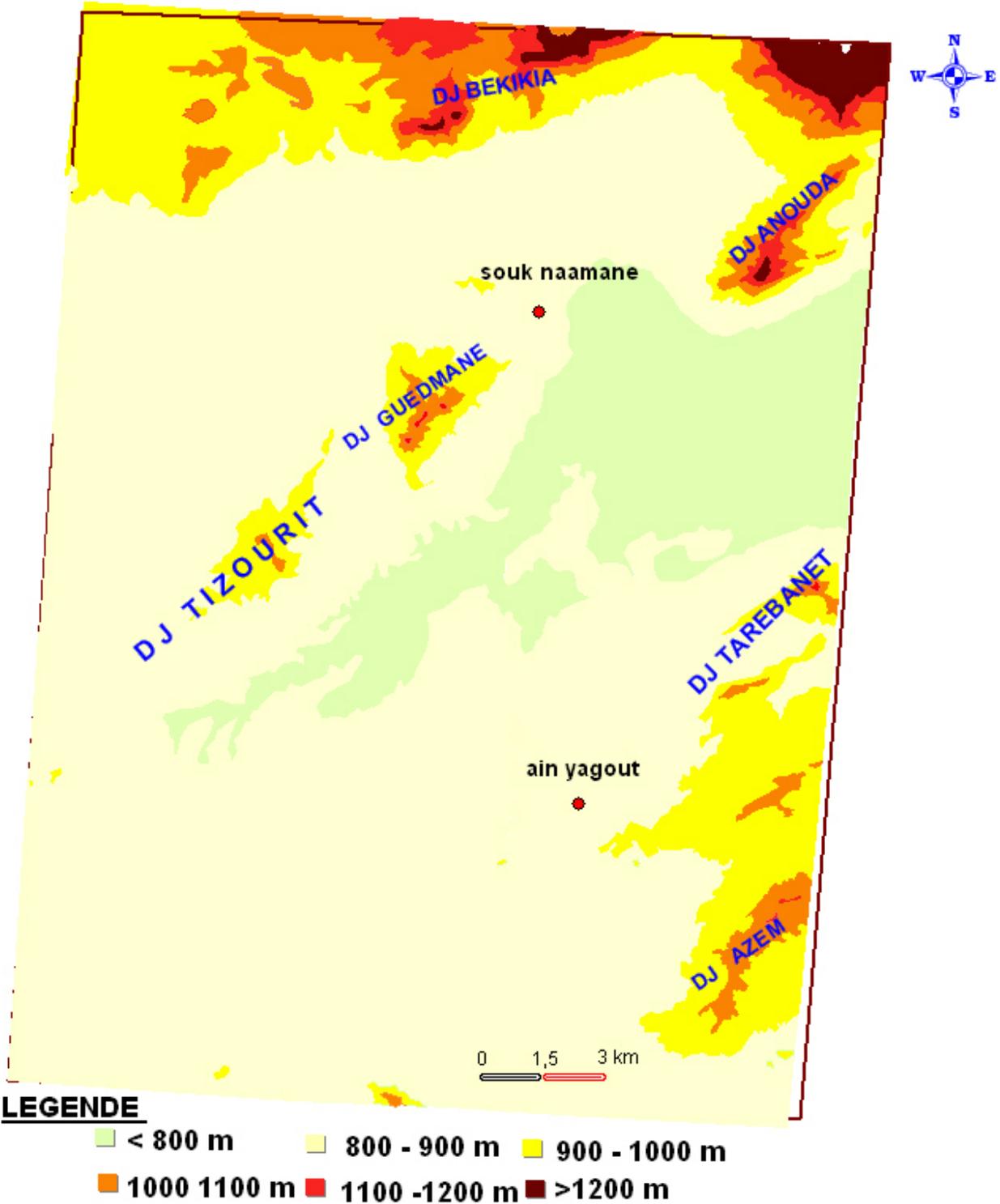




Fig. (20) : **CARTE HYPSONOMETRIQUE**



se qui montre le caractère plaine de la région donc le problème d'évaluation les écoulements des surface se qui augmente le risque d'inondation.

## 5-2 - Les altitudes caractéristiques :

### a / les altitudes maximales et minimales :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique, l'altitude maximale représente le point le plus élevé, tandis que l'altitude maximale considérée le point le plus bas.

Après les cartes topographiques:

$$H_{\max} = 1246 \text{ m}$$

$$H_{\min} = 784 \text{ m}$$

### b / L'altitude moyenne :

Elle s'obtient en divisant le volume montagneux (V) par la surface totale de la région ( $S_T$ ).

$$H = \frac{\sum V_i}{S_T}$$

Le volume est la somme des volumes partiels ( $V_L$ ) de chaque tranche d'altitude entre les isobathes retenues par planimètre ou automatiquement par le logiciel.

IL s'obtient en multipliant les surfaces partielles ( $S_i$ ) par la moyenne arithmétique des altitudes  $h_1$  et  $h_2$  des courbe qui les limitent.

$$V_i = \frac{h_1 + h_2}{2} \times S_i$$

AN :

$$\begin{aligned} H_{\text{moy}} &= \frac{(750 \times 80,7) + (850 \times 489) + (950 \times 68,5) + (1050 \times 30,9) + (1150 \times 8,45) + (1250 \times 6,18)}{684} \\ &= \frac{60525 + 415650 + 65075 + 32445 + 971,5 + 7725}{684} \end{aligned}$$

$$H_{\text{moy}} = 864,2$$

**c / L'altitude médiane :**

Correspond à l'altitude due au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique concernée présente une pente régulière.

$H_{50\%} = 960\text{m}$ .

**d / Autres altitude : à**

- l'altitude à 95% de surface  $H_{05\%} = 1140$ .
- l'altitude à 5% de surface  $H_{95\%} = 810$ .

### 5 – 3 - Modélisation 3D et création de MNT :

La digitalisation des courbes de niveau d'après les cartes topographiques de la région d'étude par le logiciel MAP INFO et d'après le VERTICEL MAPER nous permet de créer un MNT (modèle numérique de terrain) qui nous donne une idée sur la morphologie de terrain.

-IL y existe une relation globale entre la géomorphologie et la disposition des sebkhas et des chotts, ces unités morphologiques restent comme des niveaux de Base locaux dans les zones endoréiques.

Fig. (21) : VUE EN 3D DE LA ZONE D'ETUDE

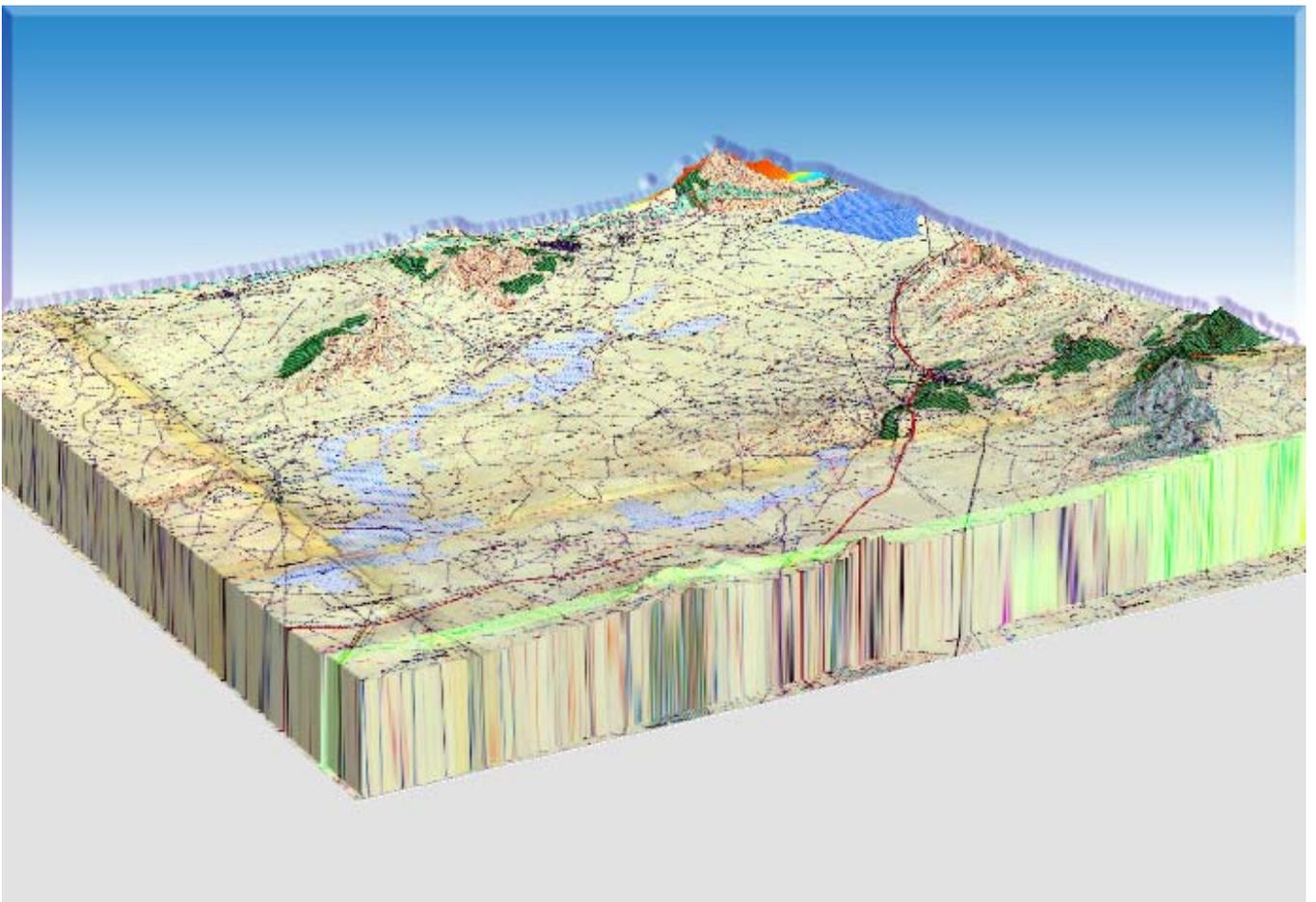
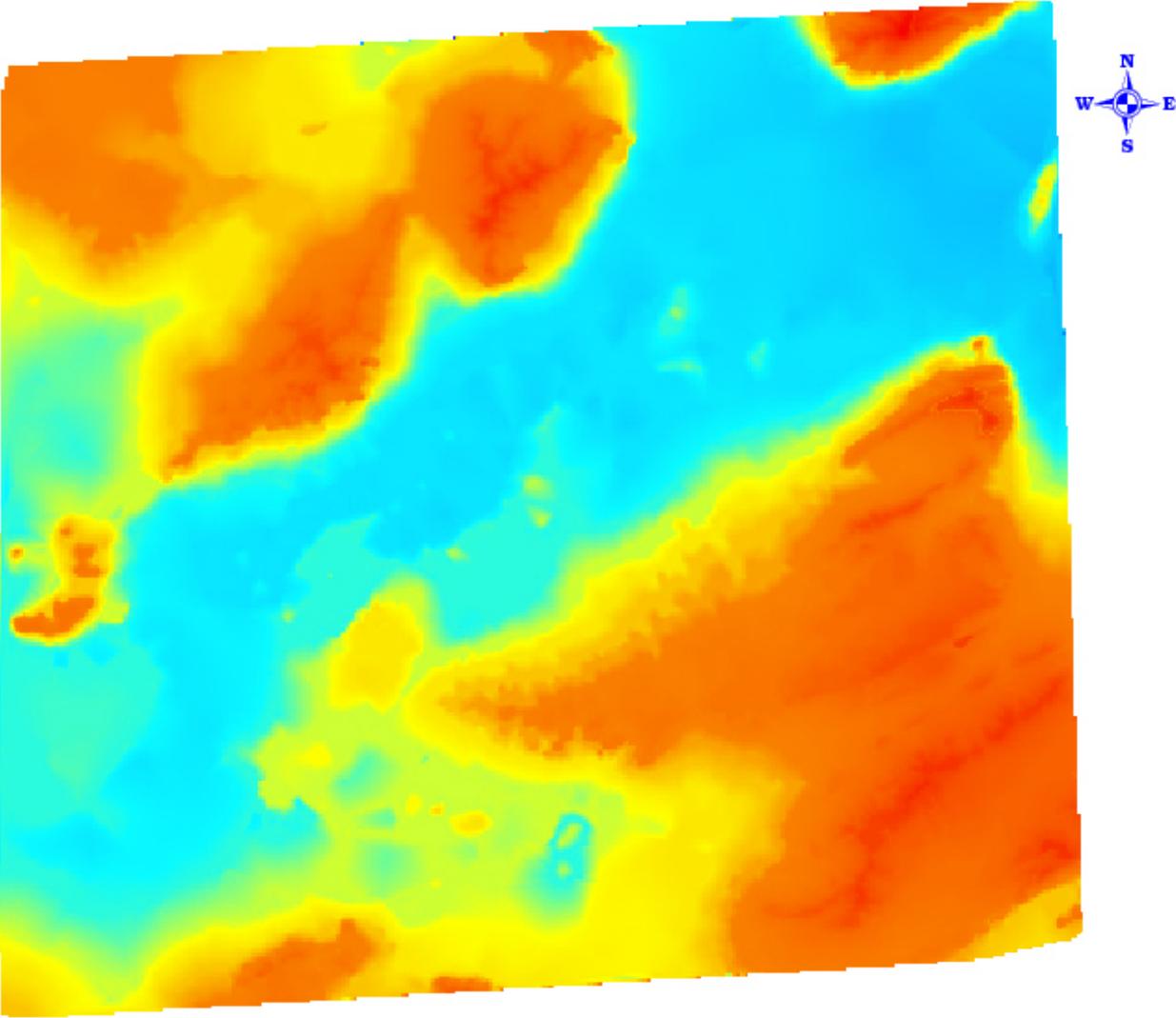


Fig. (22) : **MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN**



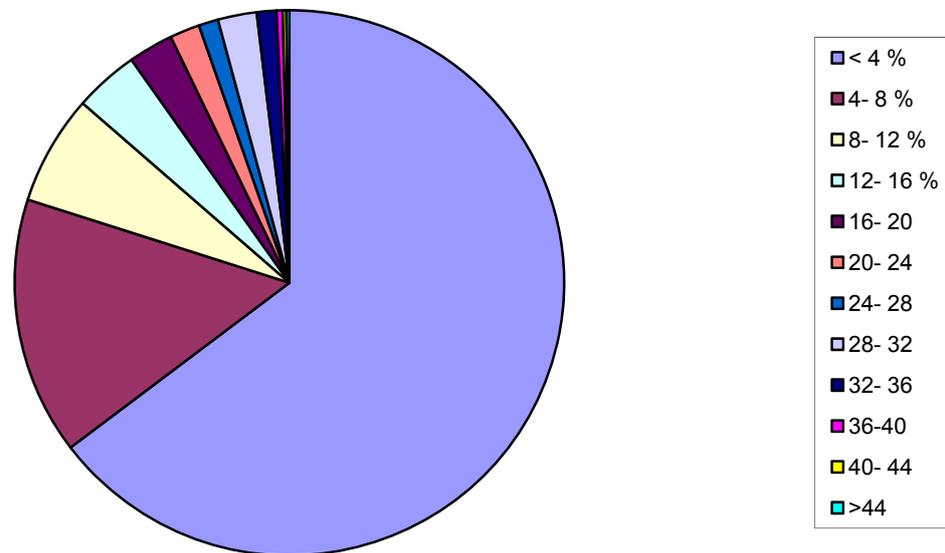
0 1.5 3 km

#### 5- 4 - La pente :

Tableau (3) : La répartition superficies /pentes de la région km et %.

Tranche des pentes	Surface partielle km	Surface partielle %
< 4 %	442,3	64,2
4- 8 %	104,4	15,2
8- 12 %	44,5	6,5
12- 16 %	26,0	3,8
16- 20	18,13	2,6
20- 24	12,05	1,76
24- 28	7,9	1,15
28- 32	15,6	2,28
32- 36	7,9	1,16
36-40	2.44	0.35
40- 44	1,45	0,21
> 44	1,22	0,17

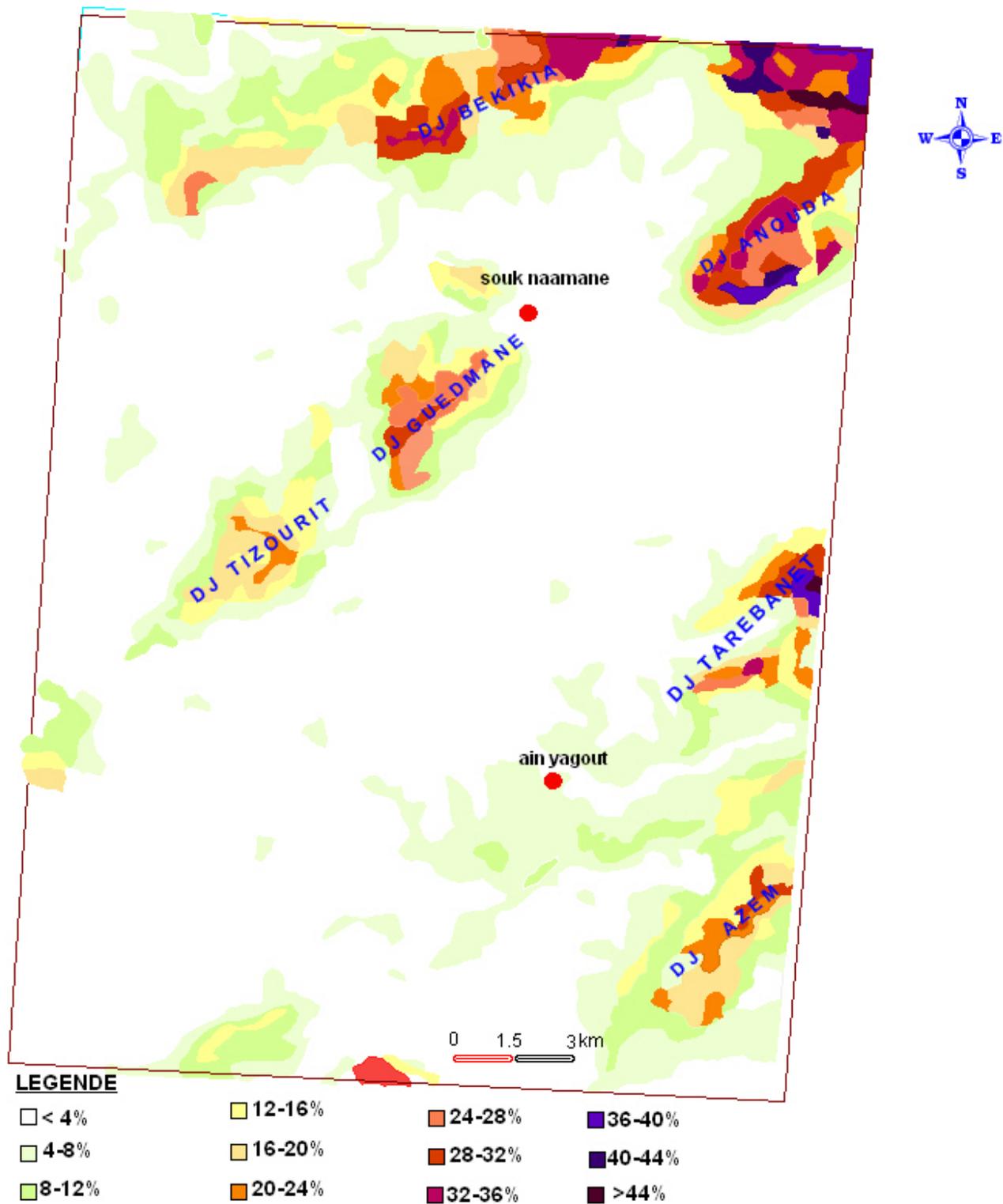
Fig. (23) Répartition superficies /pentes



On remarque : la tranche des pentes (< 4%) est très étalée (64,2 %) elle est suivie de la tranche (4-8 %), en revanche les autres tranches des pentes sont très réduites. Ce qui nous montre que notre terrain est caractérisé par une certaine platitude ; facteur qui influence directement sur la dynamique des écoulements et la formation des sebkhas et des chotts (accumulation et stagnation des eaux des surfaces).

La carte des pentes illustre bien cette répartition et montre clairement le caractère dépressif de la topographie générale.

Fig. (24) :CARTE DES PENTES



## **Chapitre 2 : étude géologique**

La région d'étude fait partie des hautes plaines constantinoises de l'Est algérien qui constitue un vaste couloir dominé par deux chaînes de montagnes : le massif des Aurès au sud et les chaînes des monts de Constantine au nord ; leur originalité réside dans la permanence de la marque de l'endoréisme qui est traduit par une multitude de sebkhas occupant le centre de ces plaines. L'idée que se font certains spécialistes géologues, en particulier de cette de sebkha, est interprétée comme un couloir subsidiant coincé entre les môles de l'Atlas au sud et du Tell au nord. Cet axe subsidiant se situait au niveau de Constantine pendant le Miocène et s'est déplacé depuis vers le sud, pour se localiser actuellement à l'emplacement des sebkhas des Hautes plaines au sud constantinois dont l'endoréisme est entretenu par les effets d'une subsidence active (Mohammed Tahar Ben Azzouz, 1986).

Cette zone constituée par des formations récentes d'âge Miocène et Plio-Quaternaire, ces formations sont entourées par des sols salés et sont également encadrées par des massifs d'âge Jurassique et Crétacé, essentiellement de l'Aptien et Barrémien.

### **1- caractéristiques lithologiques du matériel rocheux.**

Selon les cartes géologiques : Ain el-ksar et Ain Yagout 1/50000 et leurs notice explicative, le matériel rocheux et ses caractéristiques s'articule de la manière suivante :

#### 1-1 / Les formations du quaternaire

##### **Q<sup>t</sup> : Glacis polygénique nappant les reliefs**

C'est la forme de relief la plus caractéristique des hautes plaines constantinoises, ces glacis correspondent à des surfaces très faiblement pentues près des plaines et dont la pente augmente progressivement vers la montagne. Ils sont recouverts d'un matériel clastique faiblement calibré et très fragmenté vers le bas devenant plus anguleux et plus grossiers. Ces plaines inclinées sont parcourues de ravineaux divergents très faiblement marqués et devenant nuls au bas de pente, plus nettement et aillés en haut.

En profondeur, les traces d'encroûtement sont fréquentes et présentent habituellement un aspect de croûte feuilletée, classiquement attribuée au Tensiftien. Leur genèse est donc récente. Leur raccord beaucoup plus progressif avec les formations plus récentes pose le problème de leur fonctionnement. En effet, au moment des fortes pluies de printemps où de gros orages d'août septembre, ces glacis sont localement le siège d'un écoulement en nappe avec remise en mouvement des nombreux galets et du limon superficiel. Les conséquences peuvent être catastrophiques pour les cultures des zones basses.

## **S : Sols de sebkha**

Ce sont des vases ou des sols salés, presque toujours ou régulièrement inondés et dépourvus de toute végétation. Une croûte de sel les recouvre l'été. Il s'agit des chotts Tinsilt, chott Taricht Teniet Saida et chott Gadaine.

## **Q<sup>s</sup> : Sols salés anciens**

Auteurs des chotts et des sebkhas des vastes surfaces sont occupées par des sols salés (limon salés à sols hydro morphes très mal drainés) surélevés de 0.5 à 1 m au-dessous du niveau des chotts.

Q : Terres arables

Formation de pentes, alluvions anciennes et quaternaire indéterminé, ont été rapportés à cet ensemble des limons et graviers sur lesquels se sont installés des sols bruns, le plus souvent peu calcaire.

### 1-2/ Les formations du Mio-Pliocène

#### **mp : Mio-Pliocène continental :**

Calcaire lacustre, argile et conglomérats. Les formations attribuées au Mio-Pliocène affleurent dans les monts *d'Ain Yagout* ; il s'agit des conglomérations souvent mal cimentées, jaunâtres ou roses, d'argiles jaunâtres sableuses et de calcaires lacustres, mal stratifié, rosâtre ou blancs.

### 1-3 / les formations de l'ensemble allochtone sud-sétifien

#### **-n<sup>5</sup> : Aptien**

C'est une série de 150 m, formées essentiellement de calcaire en petits bancs lités, refermant une microforme.

#### **-n<sup>4-5</sup> : Barrémo-Aptien**

C'est une corniche massive des calcaires compacts, à cassure blanche marmoréenne et gros débris de rudistes ou de lamellibranches (*Djebel Anouda*).

#### **-n<sup>4b</sup> : Barrémien**

C'est un ensemble formé par une épaisse série de calcaire dolomie et grés d'une centaine de mètres, présentant des intercalations marneuses *au Djebel Guedmane*.

#### **-n<sup>1-4</sup> : Néocomien- Barrémien**

Représenté par une série de 150-200 m d'épaisseur formée de calcaires massifs Oolithiques graveleux, et de dolomies affleurent aux *Djebel Guedmane et Djebel Tizourt*.

#### **-j<sup>6</sup> Jurassique supérieur**

Le sommet de la série Jurassique apparaît au *Djebel Guedmane* sur 80 m environs, près du *Teniet Saïda*.

#### 1- 4 / Les formations de l'ensemble Parautochtone et autochtone Auresin :

#### **-c<sup>1</sup><sub>h</sub> : Cénomanién**

Les affleurements de cet ensemble forment *les monts d'Ain Yagout*.

#### **-n<sup>4bc</sup><sub>H</sub> : Barrémien calcaro-dolomitique**

C'est une formation complexe, organisée en grosses barres calcaro-dolomitiques, séparées par des zones plus tendres ou apparaissent assez mal des intercalations argileuses ou argilo-siliceuses et de petits niveaux de grés.

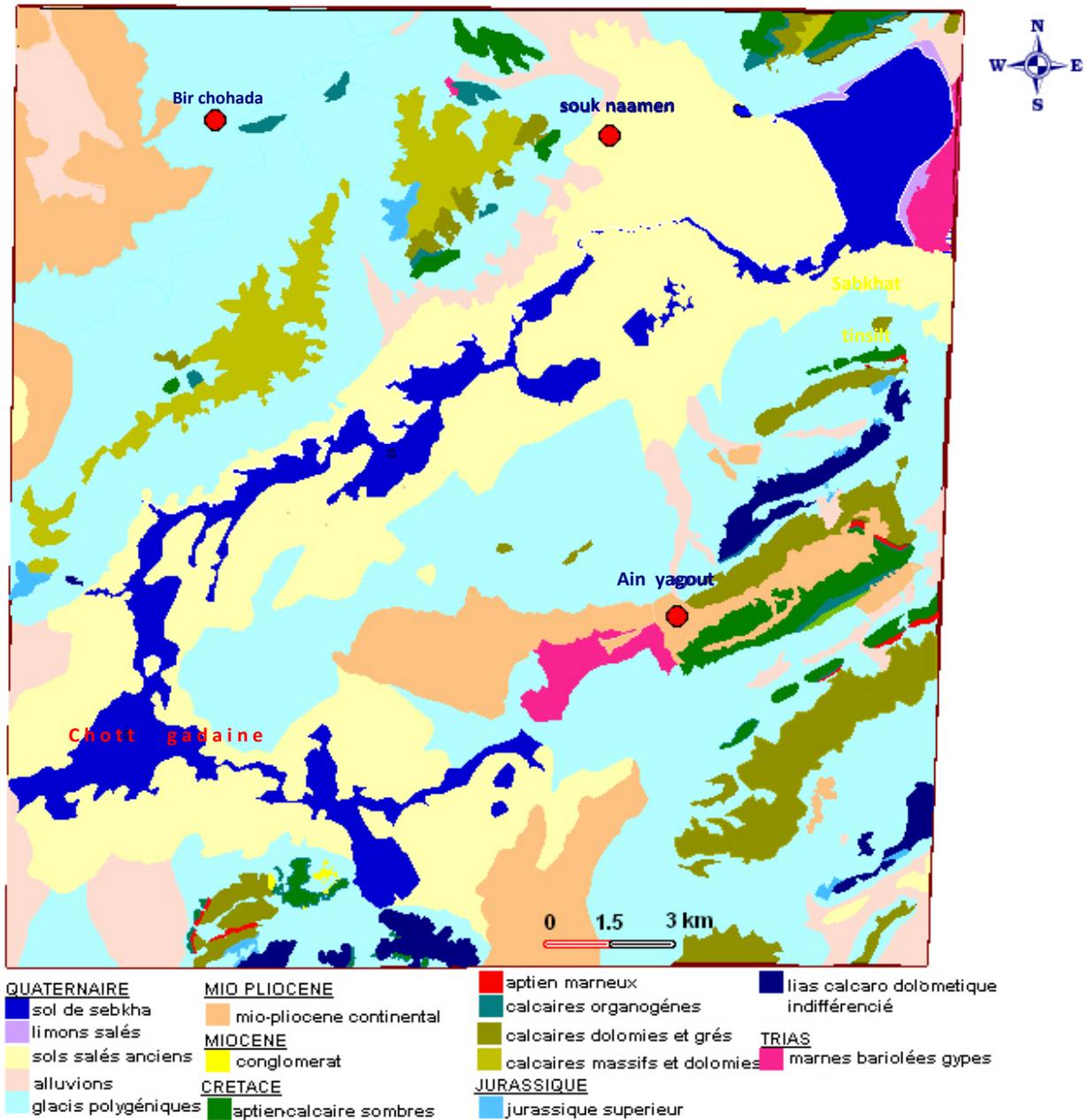
#### 1- 5 / Les formation du Trias exotique ou extrusif :

Marnes bariolés et gypses bréchiques, calcaro-dolomitiques et ophite :

- Le trias occupe un espace important, les affleurements *du Djebel Amsid*, ceux des lacs, qui sont étalés sont associés à la zone parautochtone la plus tectonisée.
- Les vastes étendues triasiques *d'Ain Yagout* sont une formation hétérogène constituée des marnes bariolées, gypses bréchiques à glaçons, calcaire dolomitique et un unique
- affleurement d'ophite près des deux lacs.

Ces formations gypsifères contribuent largement au caractère salin des ces espaces endoréiques.

Fig. (25) : **CARTE GEOLOGIQUE**



Source : carte géologique d'Ain El kser et Ain yagout

## **2- La perméabilité**

Selon la nature lithologique et la perméabilité des formations rencontrées, nous distinguons trois classes de terrains :

### **a-Terrains faiblement perméables ou imperméables**

Ce sont les marnes bariolées gypseuses du Trias.

### **b-Terrains semi-perméables**

Ce sont surtout les formations marno-gréseuses et marneuses de l'Albien et marno-calcaire du Cénomaniens.

### **c-Terrains perméables**

Correspondent aux formations détritiques d'âge Moi-Plio-Quaternaire et les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique.

## **3 - La stratigraphie de la région**

(D'après l'étude du cycle global : projet de recherche Menani Mohamed Redha ; rapport annuel, 2004)

La stratigraphie de la région se divise en deux catégories :

### **3-1- Stratigraphie des formations du Jurassique et du crétacé :**

Qui s'étale sur deux zones :

- Zone 1 : elle est représentée par le Mestaoua, Zana et les Djebels du nord.
- Zone 2 : elle comprend le Belezma, El-Madher et les monts de Ain Yagout.

### **3-2- Stratigraphie du recouvrement Post-Crétacé :**

Qui est constituée des formations Miocènes et Plio-Quaternaires.

- La transgression burdigalienne (Miocène inférieur) a atteint le bassin de Gadaine.
- Le remplissage est constitué en grande partie par des dépôts continentaux du Miocène supérieur.

Ce sont des conglomérats et des calcaires gréseux à base, des marnes rouges souvent gypseuses, des sables et graviers.

- Le Plio-Quaternaire recouvre la totalité des hautes plaines : ce sont des formations de marnes grises, des calcaires lacustres (20-30 m) des brèches de piedmont, conglomérat, graviers et enfin des marnes rouges sableuses.

#### 4 - La tectonique de la région

La région se caractérise par d'importants accidents tectoniques, cette tectonique peut être souple et/ou cassante :

##### \*La tectonique cassante

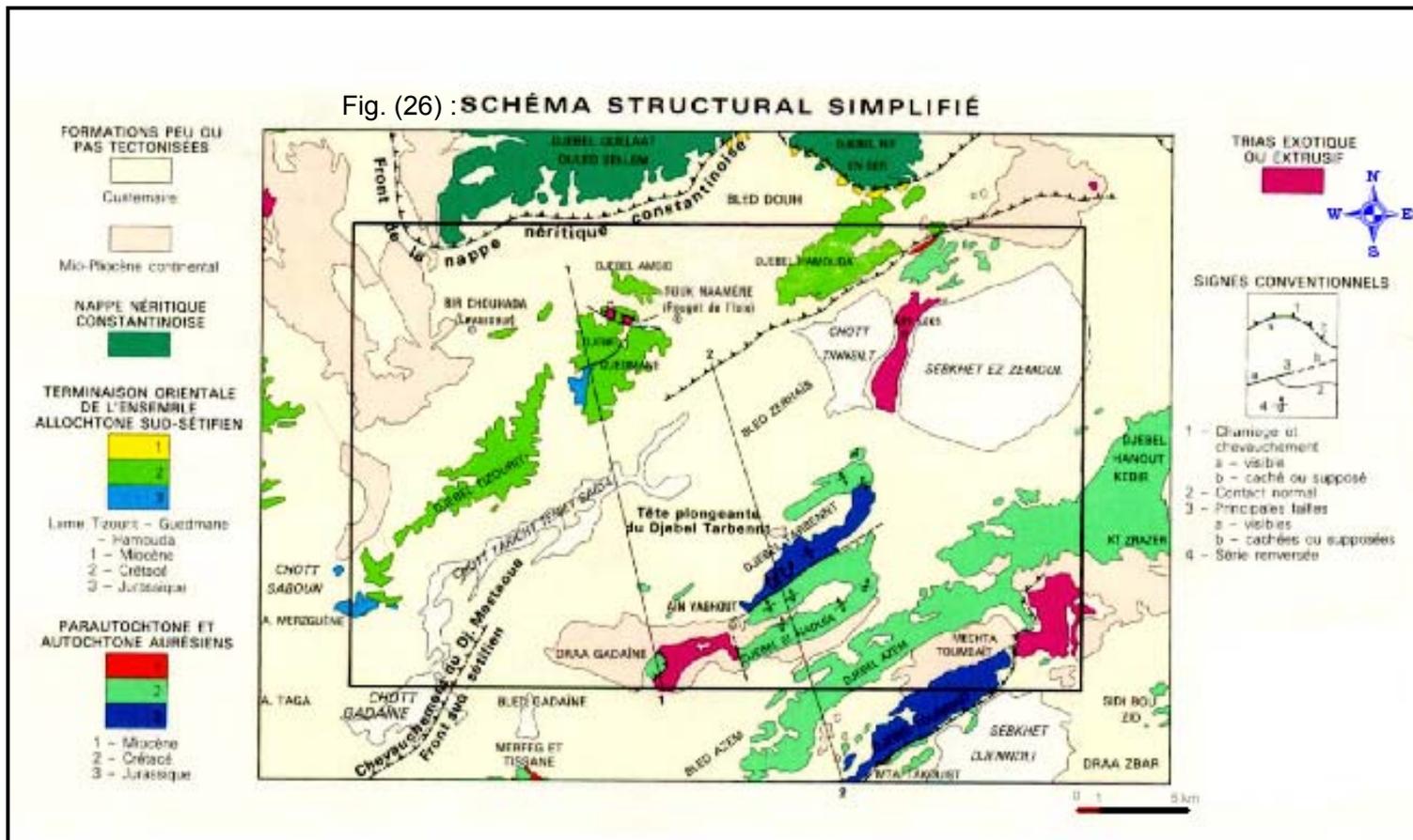
Elle se distingue par la présence de plusieurs failles qui sont de direction NE-SE, NW-SE et NS.

La présence d'un important décrochement au niveau du Djebel Bou EL-Madher et la plaine d'El-Madher.

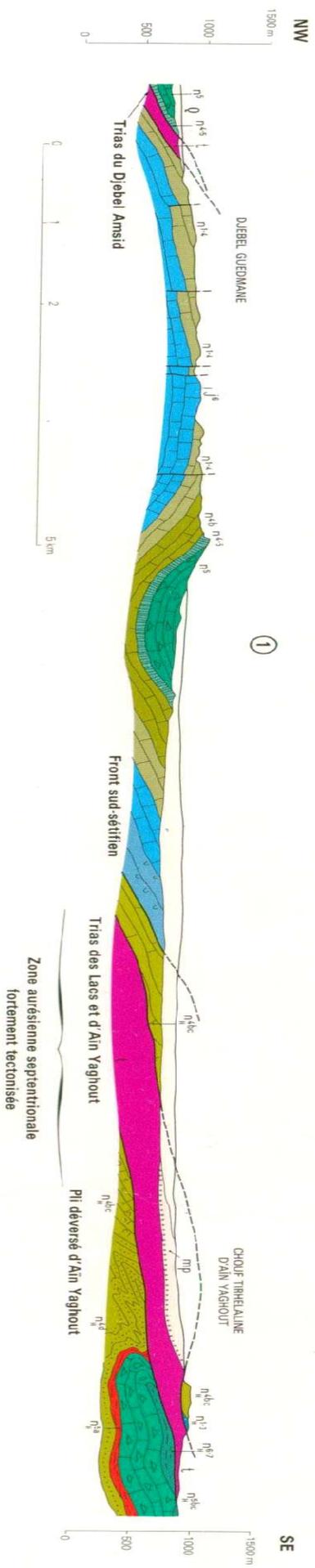
##### \*La tectonique souple

Qui se définit par des plissements atlasiques.

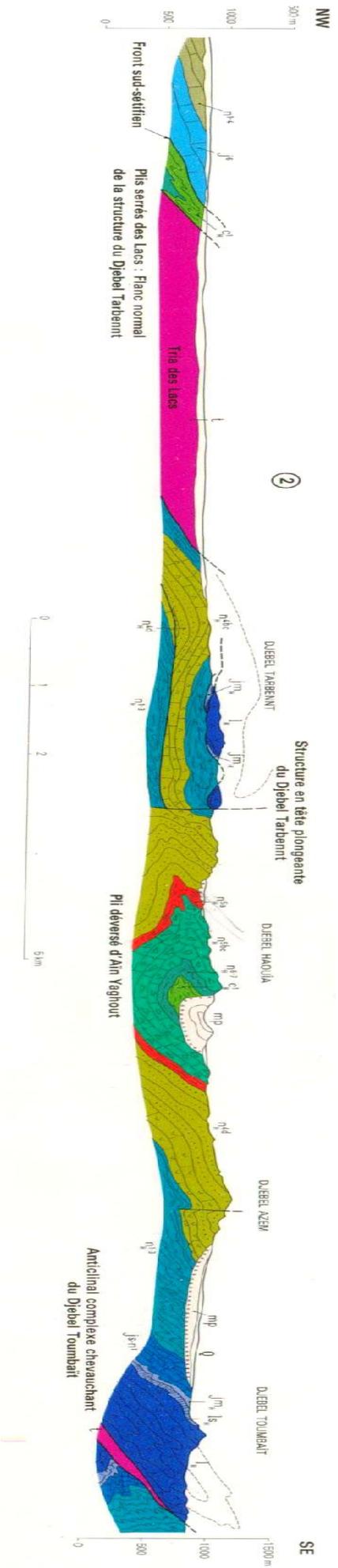
L'anticlinal de Madher



# LA COUPE 1-1



# LA COUPE 2-2



- Le synclinal Cénomaniens d'El-Madher.
- Les anticlinaux des monts d'Ain Yagout.
- L'anticlinal simple du Djebel Guedmane.

## **5 - l'hydrologie et le réseau hydrographique**

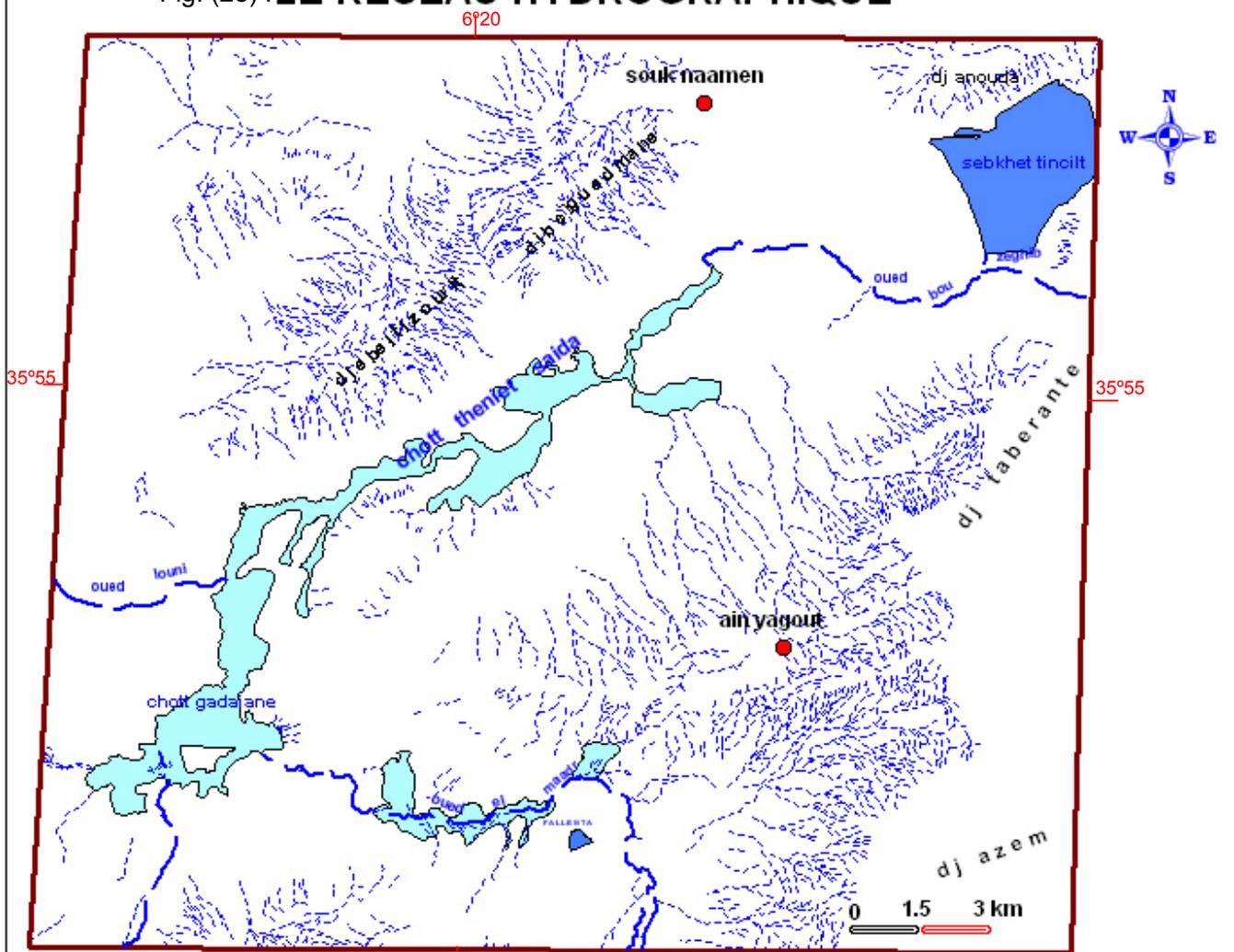
Selon l'étude stratigraphique et l'étude géophysique de cette zone, il est constaté la présence de deux niveaux aquifères, l'un superficiel à pour siège les formations perméables d'âge Plio-Quaternaire, cette nappe peut exister soit en charge et former les chotts, soit libre et affectée par l'évaporation ou de concentrent les sels.

Les seconds aquifères concernent les formations profondes des calcaires fissurés du jurassique supérieur et du Crétacé inférieur.

Le réseau hydrographique est lié à l'organisation et à la distribution des reliefs sur le terrain. La région d'étude est caractérisée par une certaine platitude qui influe sur la densité de réseau hydrographique, la plupart des parties de la zone d'étude est marquée par un ensemble de chotts (Tarchit, Teniet Saida, Gadaine,...etc. sebkha Tinsilt,...etc.), c'est-à-dire que l'hydrographie superficielle converge vers les zones basses occupées par les chotts, les écoulements de surface provenant simultanément de nombreux cours d'eau temporaires (plusieurs bassins) sont drainés vers le centre de la plaine, donc, c'est le système endoréique qui règne dans cette région.

On a remarqué qu'il existe des liens ou des cours d'eau temporaires qui relient entre les sous bassins du grand bassin des hautes plaines lors des crues importantes tel que Oued Louni, qui relie notre zone avec Merdja Saboun et Merdja Taga, et Oued Bou Zeghib qui relie entre la zone d'étude (Sebkha Tinsilt) et Sebkha Ezzamoul. Ce phénomène complique l'étude des écoulements de surface dans la zone endoréique (les hautes plaines).

Fig. (28) : **LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**



**LEGEND**

- |  |   |
|--|---|
|  ravine         |  sebkha                |
|  ravin          |  chott                 |
|  oued principal |  agglomeration urabiré |

### **Chapitre 3: étude climatique**

Pour l'étude des caractéristiques climatiques, nous avons pris en considération les données météorologiques de l'aéroport de Batna (Ain Skhouna), qui est situé à l'intérieur de la zone d'étude. La station enregistre pour la période s'étalant de 1971 à 2006, donc, une série de 36 ans.

#### Les coordonnées de la station de Ain Skhouna

- X= 832,5 km
- Y= 274,98 km
- Longitude : 6° 22' 30" Est
- Latitude : 35° 43' Nord
- Altitude : 827 m.

#### **1- Les précipitations**

Nous englobons sous le terme de « précipitations » toutes les eaux qui tombent à la surface de la terre, tant sous forme liquide que sous forme solide « neige et grêle ». Les mesures se font le plus souvent à l'aide du pluviomètre ou du pluviographe.

Dans les hautes plaines, les pluies sont relativement abondantes, totalisant 300 à plus de 500 mm annuellement. Ces totaux varient cependant d'une station à l'autre, ces valeurs sont inhabituelles sur les hautes plaines, mais elles caractérisent le versant nord du massif des Aurès, qui semble directement soumis à l'influence de l'exposition, c'est la différence dans la répartition spatiale entre les zones de montagnes et celles des plaines, donc, l'influence d'altitude.

##### **1-1 / Les variations annuelles :**

D'après la série pluviométrique d'Ain Skhouna (1971- 2006), on a remarqué une variation de précipitation d'une année à une autre.

Le tableau ci-dessous montre la lame d'eau annuelle enregistrée dans la station d'Ain Skhouna (1971-2006).

Tableau(4) : La répartition annuelle des précipitations dans la station d'Ain Skhouna (1971-2006)

<b>Années</b>	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
<b>P (mm)</b>	302,5	521,6	330,3	229,1	296,3	480,6	298,7	193,1	242,9	411,4	199,2	467,5
<b>Années</b>	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
<b>P (mm)</b>	155,3	359,7	462,9	355,3	327,8	169,9	234	437,3	300,3	445,1	188	215,5
<b>Années</b>	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>P (mm)</b>	283,4	393,2	379	269,4	308,5	292,8	224,1	287	503	596,8	252	351,4

-La moyenne annuelle de la série est de 330 mm

-La précipitation maximale est observée durant l'année 2004, pour une valeur de 596,8, et minimale durant l'année 1983 pour une valeur de 155,3 mm

-il apparaît clairement qu'il existe une irrégularité dans la répartition annuelle des précipitations.

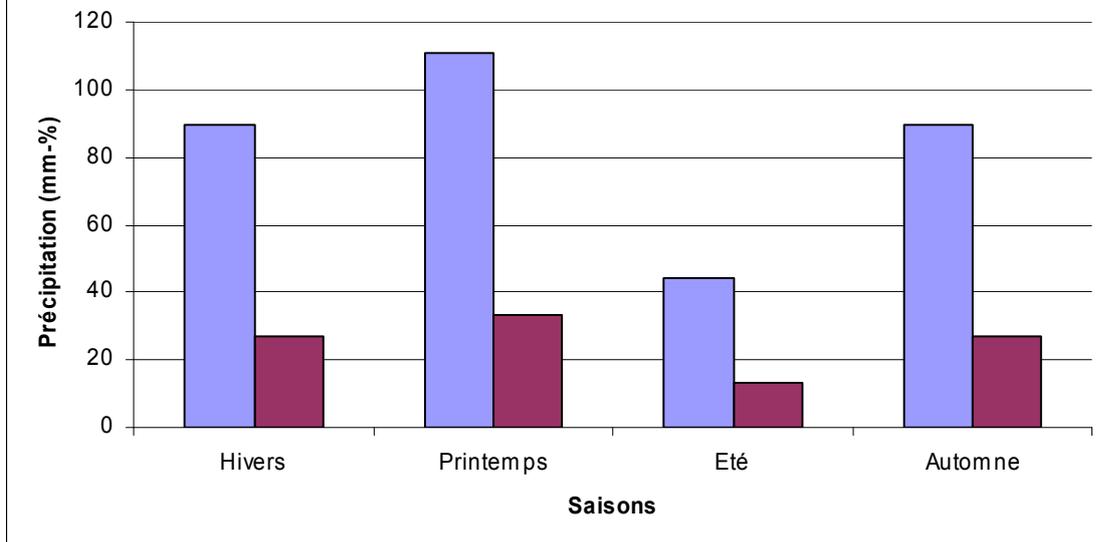
-En 1983, la précipitation est de l'ordre de 155,3 mm par contre, en 2004, elle est de l'ordre de 596,8 mm, donc, trois fois plus.

#### 1-2 / Les variations saisonnières :

Tableau (5) : La répartition saisonnière des précipitations. Station d'Ain Skhouna (1988-2006)

Saison	Hivers	Printemps	Eté	Automne
<b>P (mm)</b>	89,4	110,7	44,2	89,7
<b>P %</b>	26,7	33,1	13,23	26,8
<b>Nombre de jour (moyenne)</b>	28	24	10	20

Fig. (29) :La répartition saisonnière des précipitations. Station de Ain Skhoun (1988-2006)



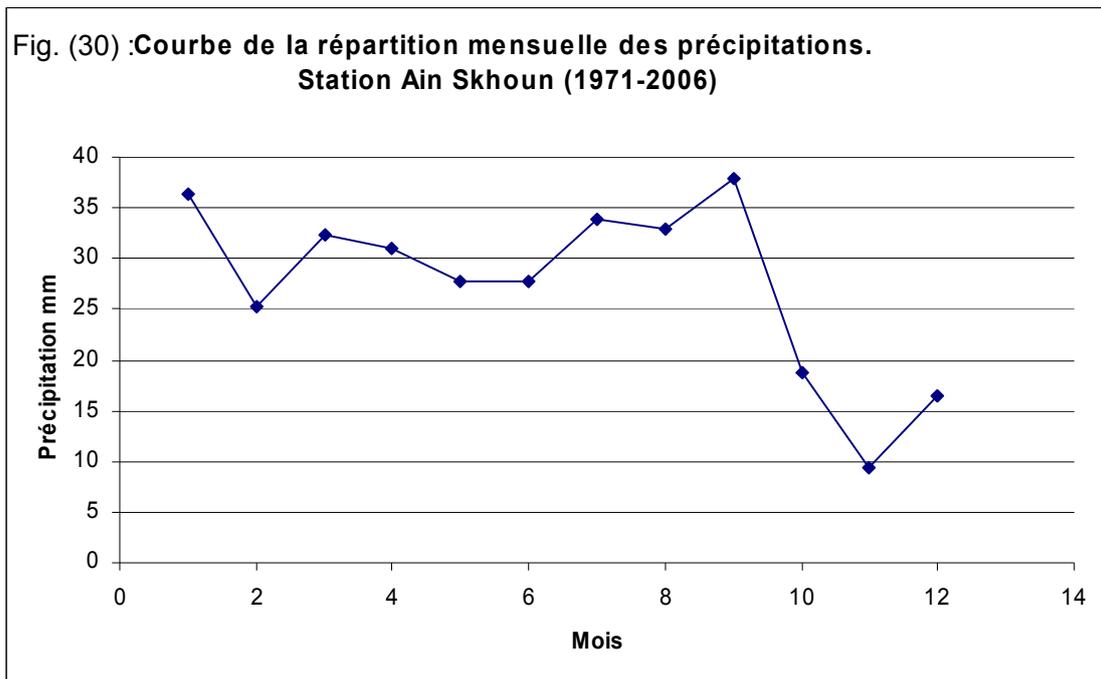
D'après le diagramme de la répartition pluviométrique saisonnière, on remarque que :

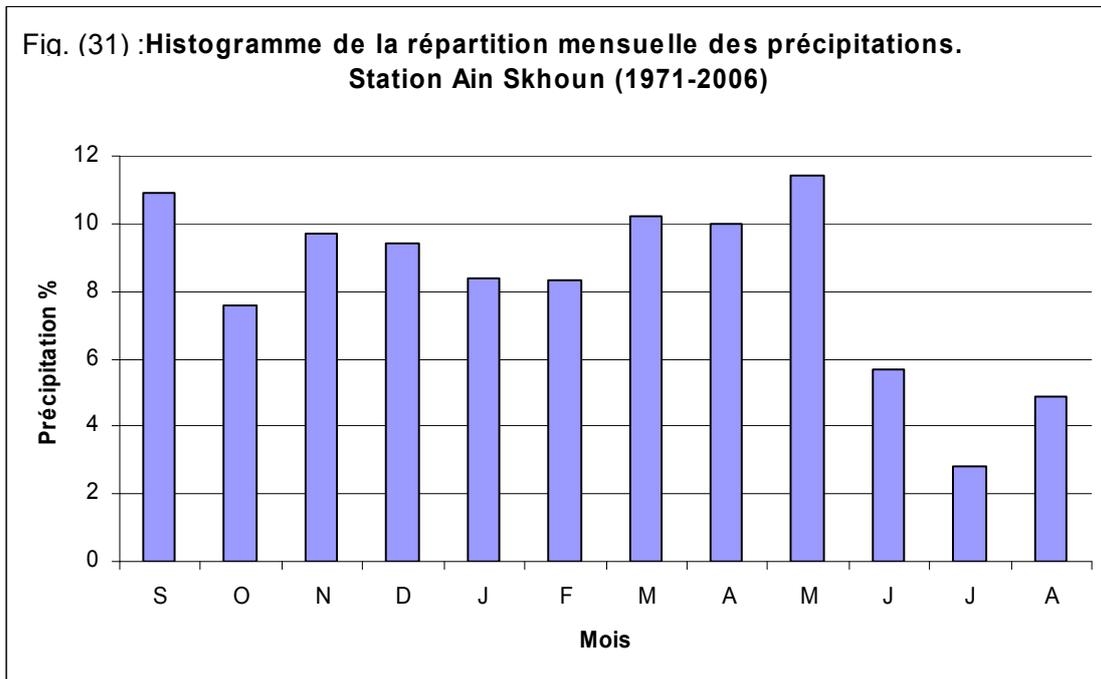
- La saison la plus pluvieuse est le printemps avec 110,7 mm soit 33,1%. Le nombre de jours moyen est de 24 jours, 49,9 mm sont tombée durant 7 jours.
- Par contre, la saison sèche est l'été avec 44,2 mm soit 13,2%, avec un nombre de jour moyen de 10 jours.
- Les précipitations d'hiver et d'automne sont égales, 89 mm pour chaque saison, mais le nombre de jour moyen des précipitations est différent, 28 jour pour l'hiver et 20 jour pour l'automne.
- Donc, la répartition des précipitations n'est pas régulière pendant toutes les saisons et même le nombre de jours moyen varie de chaque saison à l'autre. Généralement très court, le caractère qui caractérise les régions semi-arides, les précipitations tombent sous forme d'averses ; une dizaine de mm dans quelques heures, ce qui indique des inondations.

**1-3 / Les variations mensuelles :**

Tableau (6) : La répartition mensuelle des précipitations. Station Ain Skhouna (1971-2006)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>P (mm) mensuelles</b>	36,3	25,2	32,3	31,1	27,8	27,7	33,9	33,0	37,9	18,8	9,3	16,5
<b>P (%)</b>	10,9	7,6	9,7	9,4	8,4	8,3	10,2	10,0	11,4	5,7	2,8	4,9





D'après l'allure de la courbe et de l'histogramme de la répartition pluviométrique mensuelle (Station Ain Skhouna 1971-2006) :

- Le maximum des précipitations mensuelles est observé au mois de mai, avec une moyenne de 37 mm, soit 11,4%, et le minimum au mois de juillet avec une moyenne de 9,3 mm, soit 2,8%.

Tableau (7) : Nombre des mois où la pluviosité est inférieure à la moyenne mensuelle (Station Ain skhouna 1971-2006)

Moy. mensuelles de l'année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
27,5 mm		+								+	+	+	4

Le tableau montre que le nombre des mois où la pluviosité est inférieure à la moyenne mensuelle de l'année est de 4 mois, et se concentre dans la période estivale entre juin et octobre.

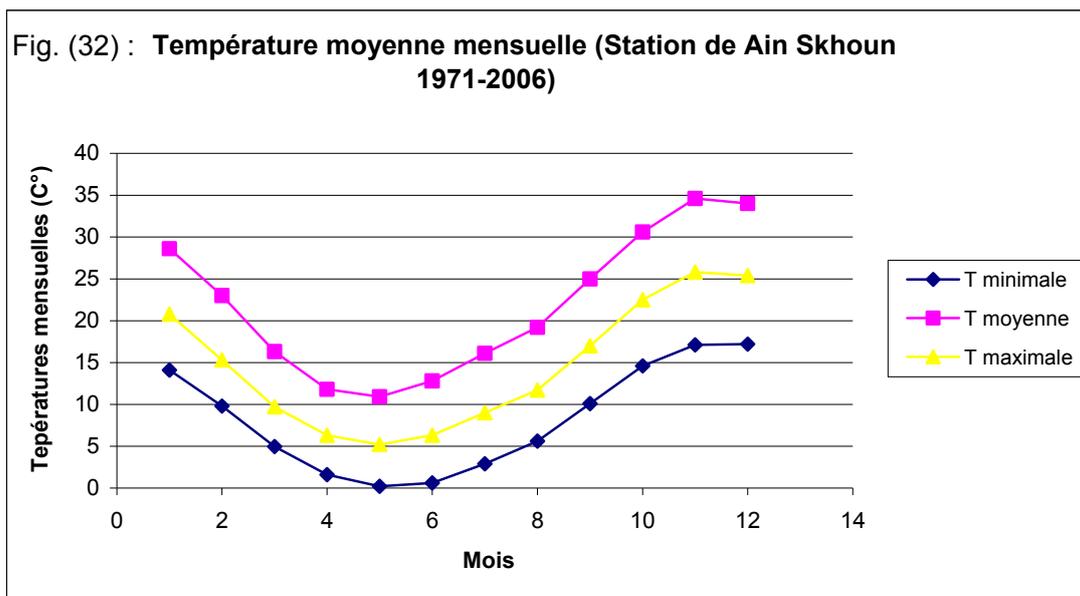
## 2 - Le régime thermique

La température joue un rôle essentiel dans la dynamique des sebkhas et en particulier c'est le facteur le plus important qui conditionne les phénomènes du bilan hydrologique.

On dispose des données thermiques de la station d'Ain Skhouna, qui est située à l'intérieur de la région d'étude.

Tableau (8) : Températures moyenne mensuelle (Station d'Ain Skhouna 1971-2006)

température	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy .annuelle
Minimale	14,1	9,8	4,95	1,6	0,21	0,62	2,9	5,6	10,1	14,6	17,1	17,2	8,2
Maximale	28,6	23,0	16,3	11,8	10,9	12,8	16,1	19,2	25,0	30,6	34,6	34,0	21,9
moyenne	20,8	15,3	9,7	6,3	5,2	6,3	9,0	11,7	17,0	22,5	25,8	25,4	14,6



- D'après l'allure des courbes, on remarque que les températures décroissent d'octobre jusqu'à février puis elles augmentent pour atteindre leurs maximums en juillet, avec une valeur moyenne de 25,8 °C ; le minimum des températures moyennes est observé en janvier avec une valeur de 5,2°C.
- La saison la plus chaude comporte trois mois juin, juillet et août, avec une moyenne des températures de l'ordre de 24,5°C, cependant, la saison froide s'étale de décembre à février avec une moyenne des températures de 5,9°C.

## 2-1 Les températures minimales et maximales :

La représentation graphique des courbes de la température maximale et minimale (1971-2006), montre que le plus grand écart en valeur des deux courbes s'observe au mois de juillet avec un maximum de 34.6 et un minimum de 17.1, ce qui indique un écart de 17.5, par contre, le plus faible écart s'observe en décembre avec un maximum de 11.8 et un minimum de 1.6, ce qui indique un écart de 10.2.

Ces conditions thermiques influent profondément sur le cycle végétatif des différentes espèces et réduisent le développement végétal à sa plus simple expression d'une part et sur la dynamique et l'extension des sebkhas et chotts d'autre part.

### 3 - La gelée blanche et la neige

La gelée blanche constitue un indice de la rigueur thermique nocturne caractéristique d'un milieu continental. Le nombre des jours de gelée blanche est de l'ordre de 37 jours dans l'année, ses effets sont néfastes sur la végétation et les cultures. Les gelées sont concentrées dans les mois les plus froids de janvier à mars.

Tableau (9) : La gelée blanche. Moyenne mensuelle. Station d'Ain Skhouna (1988-2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
<b>Gelée (nombre de jours)</b>	0	0	1	1	15	12	6	1	1	0	0	0	<b>37</b>

Tableau (10) : La neige. Moyenne mensuelle. Station d'Ain Skhouna (1988-2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
<b>Neige (moyennes)</b>	0	0	1	1	3	3	1	0	0	0	0	0	<b>9</b>

Pour la neige, le nombre des jours est de 9 jours par année, concentrés dans les mois de l'hiver.

### 4 - Humidité relative:

L'humidité atmosphérique est l'un des éléments essentiels du cycle hydrologique, elle est la source de toutes les précipitations.

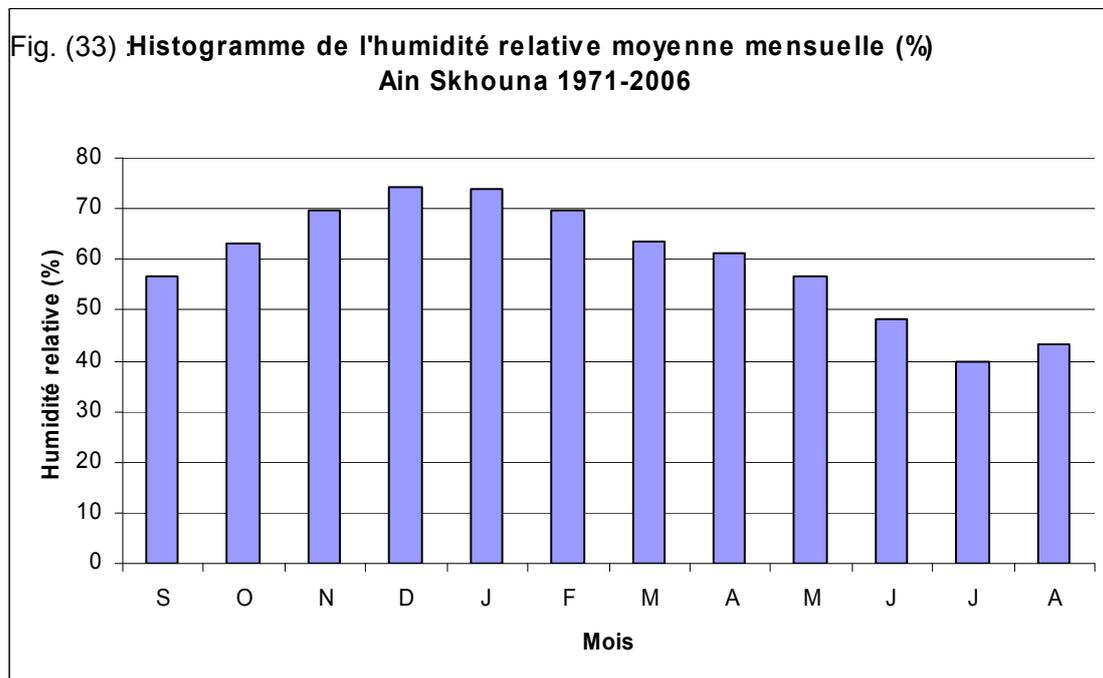
L'humidité relative ( $\epsilon$ ) est le rapport de la tension de vapeur réelle ( $e$ ) à la tension de vapeur saturée ( $e_s$ ), à la même température. Elle est exprimée en % :

$$\epsilon = 100 \times \frac{e}{e_s}$$

D'après les relevés de la station de Ain Skhouna (1971-2006), il apparaît que la moyenne mensuelle d'humidité la plus élevée est observée en hiver (74,4%) en décembre, ceci correspond aux mois où les températures sont plus fraîches.

En revanche, nous observons une moyenne relativement faible en été (39,7%) en juillet. La répartition moyenne mensuelle est portée sur le Tableau (11) :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
<b>Humidité relative (%)</b>	56,6	63,3	69,6	74,4	74,0	69,6	63,7	61,2	56,7	48,4	39,7	43,1	60,0



## 5 - Le vent

Le vent c'est le mouvement de l'air, il se déplace d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression. Il participe beaucoup à l'augmentation de l'évapotranspiration.

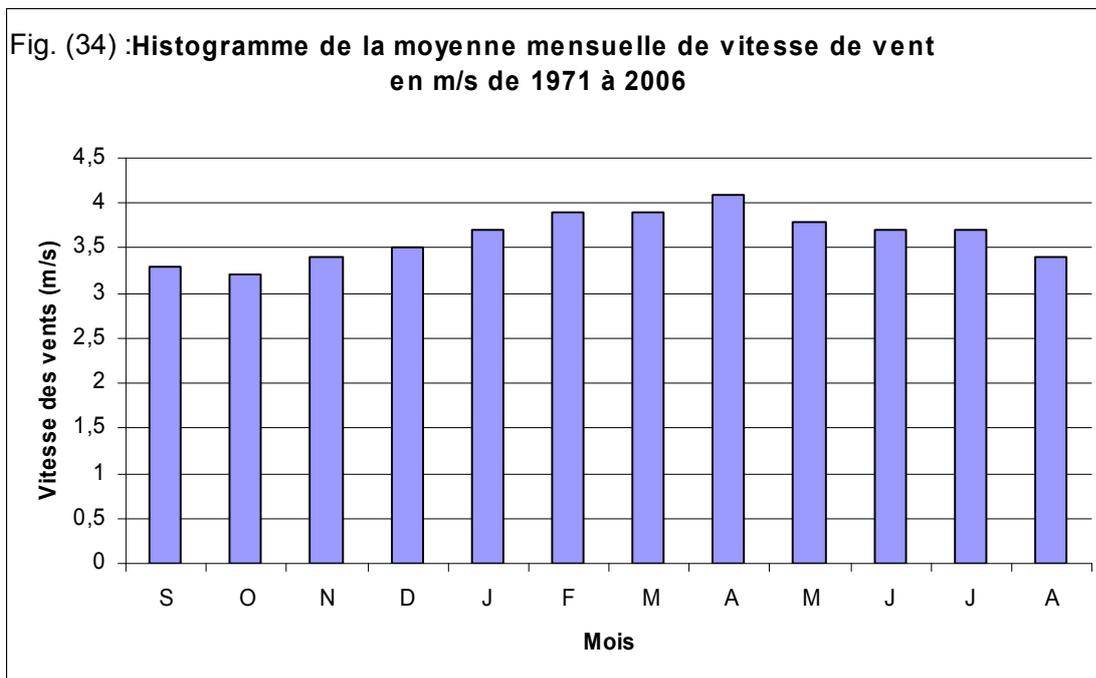
L'analyse des vents à Ain Skhouna confirme la dépendance de cette région de la circulation des masses d'air de la Méditerranée occidentale, avec une prédominance des vents de l'ouest et du nord-ouest. Cependant, la répartition annuelle montre que d'autres directions sont assez bien représentées, en particulier, celles du nord et du nord-est.

Le sirocco reste le vent qui mérite le plus d'attention en raison de l'action nuisible qu'il peut exercer sur les cultures et qui augmente et accélère l'évaporation. Il souffle du sud pendant la saison sèche, amenant avec lui sable et poussière.

Tableau (12) : Moyenne mensuelle de vitesse de vent en m/s de 1971 à 2006.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	MM
Vitesse des vents (m/s)	3,3	3,2	3,4	3,5	3,7	3,9	3,9	4,1	3,8	3,7	3,7	3,4	<b>3,6</b>

Fig. (34) :Histogramme de la moyenne mensuelle de vitesse de vent en m/s de 1971 à 2006



## 6 - La durée de l'insolation

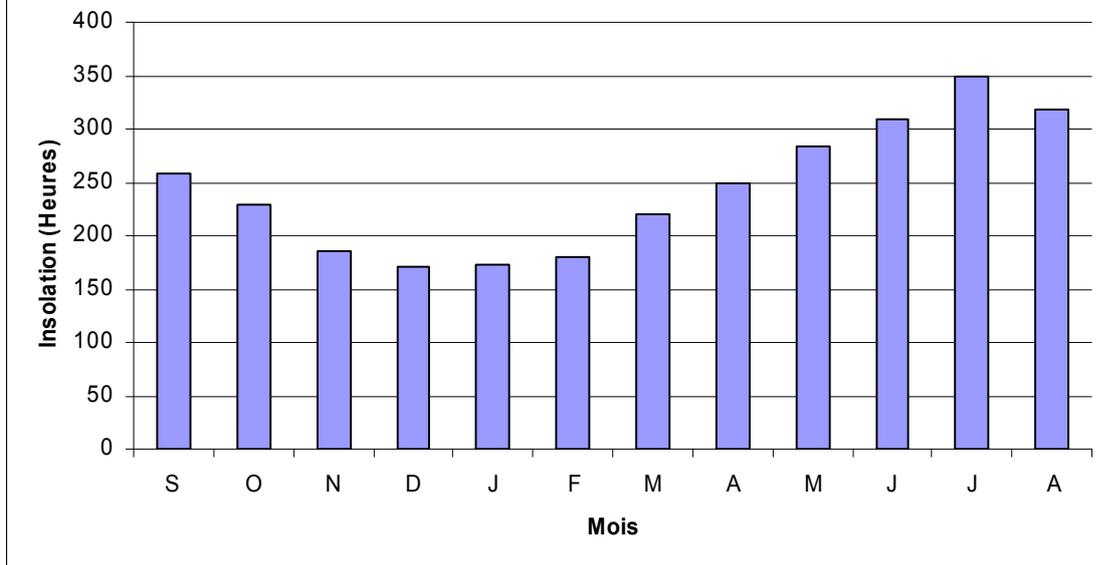
C'est la période durant laquelle le soleil a brillé sur le sud, où les objets naturels opaques donnent lieu à des ombres portées, nettement dessinées sur une surface horizontale.

La région d'étude reçoit une intensité lumineuse importante surtout pendant les périodes les plus chaudes, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année.

Tableau (13) : Moyenne mensuelle d'insolation en heures de 1971-2005

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	MM
Insolation en heures	259	229,3	185,8	170,3	172,5	180,8	219,1	249	283,9	309,9	348,4	318,6	<b>243,8</b>

Fig. (35) : Histogramme de moyenne mensuelle d'insolation en heures de 1971-2005



La valeur minimale d'insolation est de 170,3 heures au mois de décembre, la valeur maximale d'insolation est de 348,4 heures au mois de juillet, donc, plus le jour est long, plus la durée d'insolation est grande, et plus l'évaporation est importante, donc, une influence directe sur la dynamique ou l'extension des sebkhas.

## 7 - L'évaporation

L'évaporation est la perte en eau subie par la surface d'eau libre et représente la transformation de l'eau en vapeur. Elle est très importante surtout quand elle se trouve renforcée par les vents et notamment ceux qui sont chauds comme le sirocco.

Nous disposons de deux types de données concernant ce paramètre climatique dont la connaissance reste essentielle pour la compréhension de fonctionnement du processus dynamique en milieu de sebkhas.

### 7-1- Les données expérimentales :

Au cours d'une campagne de cinq années (1956 à 1960) P. Dutil a pu mesurer l'évaporation réelle en sol nu, et ce à partir de cases lysimétriques à la ferme expérimentale de la plaine d'Ain Yagout.

- L'évaporation réelle en sol nu représenterait 77 à 88% des précipitations, pendant les cinq années de mesure.

- La pluviométrie moyenne annuelle atteinte 449 mm, l'évaporation réelle s'élève donc à 395 mm sur sol à texture lourde et 348 mm sur sol à texture moyenne.
- L'importance de ces expérimentations traduit le rôle efficace de ce facteur climatique largement sollicité dans les mécanismes de fonctionnement des sebkhas.

### 7-2 - Les mesures de l'évaporation annuelle sur Sebkhha Tinsilt :

Il s'agit des valeurs obtenues à partir du bac Colorado (eau douce), au cours de l'année hydrologique 1959-1960.

Sebkhha Tinsilt : 2048 mm annuelle.

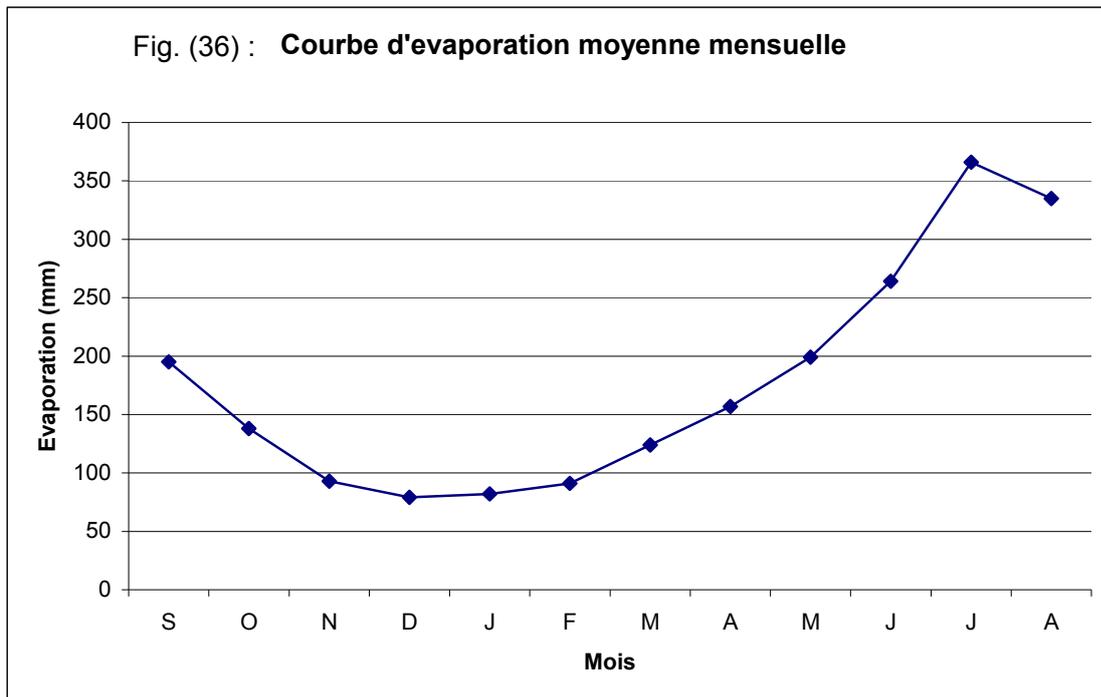
Il apparait que la salure du Sebkhha Tinsilt ne provoque pas de diminution de l'évaporation comme il est admis en général, bien au contraire, elle est estimée à plus de deux mètres annuellement.

### 7-3- Les données récentes de l'évaporation mensuelle :

D'après les relevés de la station de Ain Skhouna, période de 1988-2006, la moyenne annuelle reste toujours élevée (2143 mm), supérieure à 1500 mm.

Tableau (14) : Evaporation moyenne mensuelle (Ain Skhouna 1988-2006)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Evaporation mm	195	138	93	79	82	91	124	157	199	264	366	335	<b>2143</b>
%	9,0	6,4	4,3	3,6	3,8	4,2	5,7	7,3	9,2	12,3	17,0	16,5	<b>100</b>
	19,7			11,6			22,2			45,8			



- La courbe montre que l'évaporation la plus élevée est observée au mois de juillet, avec 366 mm, par contre, l'ETP la plus faible observée au mois de décembre avec 79mm (4 fois plus).
- D'autre part, l'évaporation estivale semble très active car elle dilapide près de 50% du total annuel (46%) pour les seuls trois mois d'été.
- A cette augmentation sensible de l'évaporation, correspond d'un coté aux faibles valeurs de l'humidité relative moyenne, et une nette élévation des températures moyennes mensuelles de l'autre. Par conséquent, l'installation de la sécheresse s'effectue facilement au cours de la saison chaude.
- L'accentuation de l'évaporation s'effectue par une montée régulière dont la pente se redresse nettement le mois de mai pour atteindre son maximum en juillet, et on remarque une véritable chute de l'évaporation au cours du mois de septembre, qui n'enregistre qu'un demi de la valeur du mois précédent ; la chute reste pendant tout les mois d'automne et d'hiver jusqu'à la fin des mois de printemps.

## 8 - Synthèse climatique

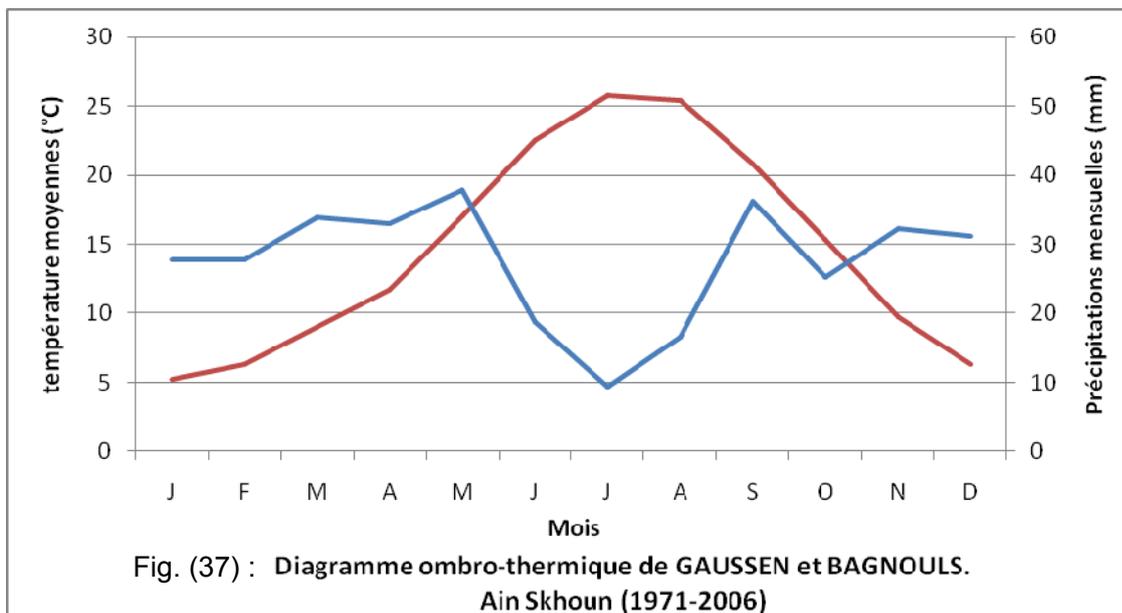
Plusieurs auteurs ont essayé de synthétiser les données climatiques et élaborer une classification des types de climat.

### 8-1- Courbe ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS :

Il s'agit de la représentation de deux courbes relatives à deux paramètres climatiques principaux qui sont la précipitation et la température.

Il désigné par le terme de « période sèche » lorsque le total moyen des précipitations (en mm), d'une période donnée est inférieure ou égale au double de la température moyenne de la même période ( $P \text{ (mm)} \leq 2T^{\circ}\text{C}$ ).

Cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique sur lequel les précipitations sont portées à une échelle double des températures.



Le graphe montre une période sèche du mois qui s'étal de mai jusqu'à la fin de octobre et une période humide de novembre jusqu'à la fin d'avril.

### 8-2- L'indice de Martonne (indice d'aridité) :

En 1925, Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique qui permet de calculer un indice appelé « indice d'aridité », en fonction de la température et de la précipitation ; l'indice est illustré par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T+10}$$

Avec :

*I* : L'indice d'aridité de Martonne ;

$P$  : Pluviométrie annuelle en (mm) ;

$T$  : Température annuelle moyenne en (° C).

On obtient :

$$I = 13,2$$

Cette valeur place normalement la zone d'étude parmi les zones à climat semi-aride, entre 10 et 15, c'est un régime de type semi-aride à aride.

### 8-3- Climagramme de L. EMBERGER :

En 1932, L. Emberger proposa une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuel, en tenant compte des précipitations et de la température.

Cette formule s'écrit :

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

Avec :

$Q$  : Quotient pluvio-thermique d'Emberger ;

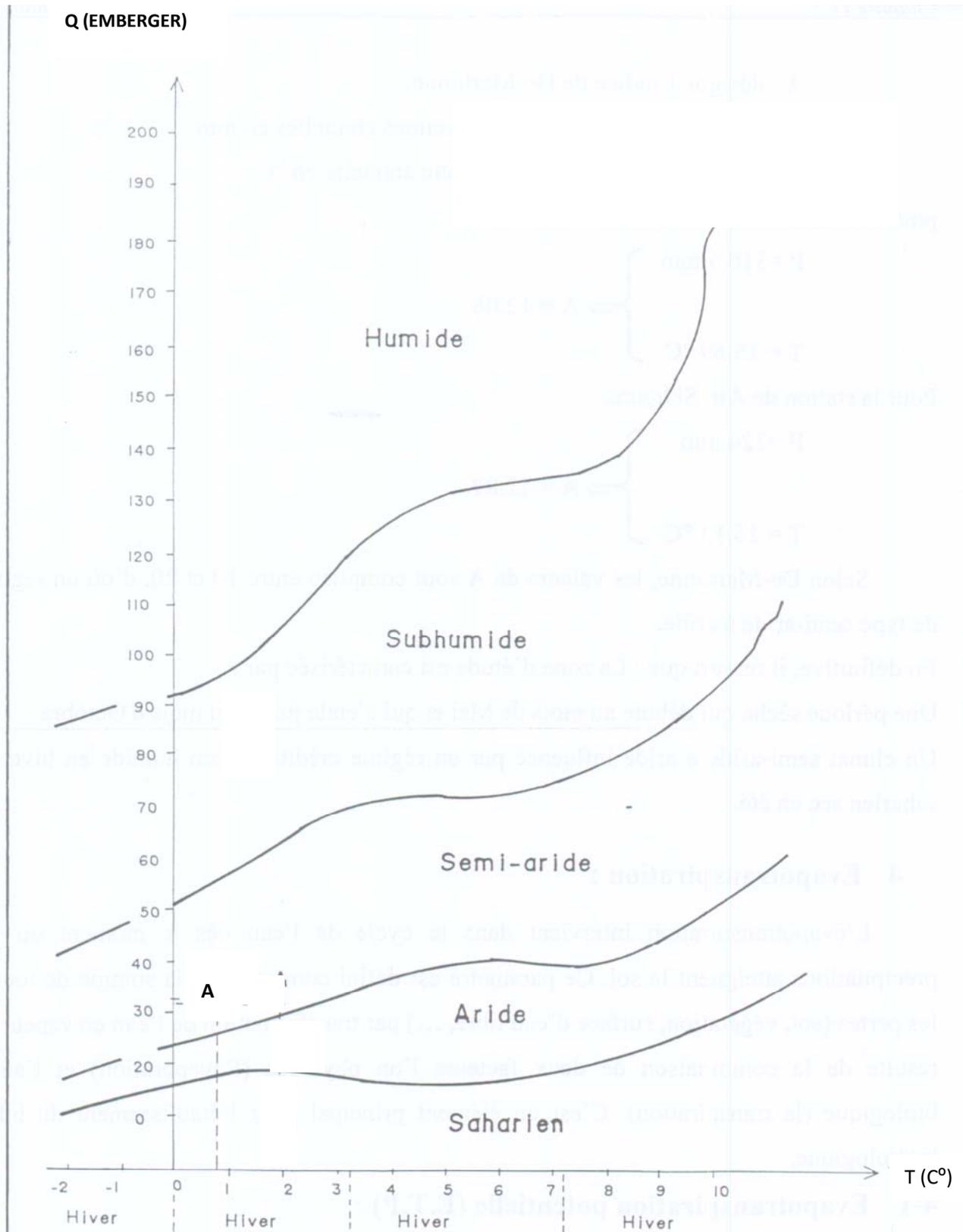
$P$  : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

$M$  : La moyenne des maxima du mois le plus chaud en °K  $34,6+273,2= 307,8$  ;

$m$  : La moyenne des minimal du mois le plus froids en °K  $0,2+273= 273,4$ .

$Q = 32,6$  et  $T =$  la moyenne des minima de la saison froide (hiver) = 0,8.

Fig. (38) : **CLI MAGRAMME D'EMBARGER**



**A = Ain Skhouna (0.8 – 36.6)**

Le Climagramme d'Emberger nous permet de situer la zone d'étude dans un étage bioclimatique de type semi-aride.

En définitif, il ressort que la zone d'étude est caractérisé par :

- Un climat semi-aride influencé par un régime méditerranéen humide en hiver et sec en été.

### **9 - Le bilan hydrique**

Le calcul du bilan d'eau d'une région consiste à quantifier les paramètres suivants

\*L'évaporation ;

\*L'écoulement ;

\*L'infiltration.

#### **9-1 / L'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration intervient dans le cycle de l'eau dès le moment où les précipitations atteignent le sol. Ce paramètre est défini comme étant la somme de toutes les pertes (sol, végétation, surface d'eau libre, ...tec.), par transformation de l'eau en vapeur. Il résulte de la combinaison de deux facteurs l'un physique (l'évaporation) et l'autre biologique (la transpiration). C'est un élément principal pour l'établissement du bilan hydrologique.

#### **9-2 / Evapotranspiration potentielle (E.T.P.) :**

THORNTWHAITE a défini l'évapotranspiration potentielle par la perte en eau qui se produit dans le sol, un déficit dans les besoins de la végétation qui est conditionné par :

- La température de l'air et de l'eau ;
- L'insolation et l'humidité de l'air ;
- La vitesse et la turbulence du vent ;
- La pression barométrique et l'altitude.

Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon la formule de THORNTWHAITE :

Cette formule, utilisée pour les climats subhumides, semi-arides et arides, est la suivante :

$$ETP = 16 \left( \frac{10 T}{I} \right)^a$$

Avec :

**ETP**: Évapotranspiration potentielle mensuelle en mm, pour un mois ;

**T** : La température moyenne mensuelle en °C ;

$I$  : Indice thermique annuel égale à la somme des 12 indices mensuels ;

$i$  : Indice thermique mensuel tiré d'abaque et égal à :  $i = \left(\frac{T}{T_p}\right)^{1,814}$

$\alpha$  : Indice calculé à partir de la formule :  $\alpha = \frac{1,6}{100}I + 0,5$

Les valeurs de ETP trouvées par cette formule devraient être corrigées à l'aide d'un facteur correctif noté K, celui-ci dépend du temps, du lieu de la station ; on a utilisé les valeurs de ce coefficient par la latitude 35° Nord :

$$ETP_{\text{corrigée}} = ETP \cdot K$$

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
$T_m$	20,8	15,3	9,7	6,3	5,2	6,3	9,0	11,7	17,0	22,5	25,8	25,4	
$i$	8,6	5,4	2,7	1,4	1,0	1,4	2,4	3,6	6,3	9,7	11,9	11,7	<b>66,1</b>

Tableau (15) : Calcul l'indice thermique mensuel (Ain Skhouana)

Après les calculs, les valeurs obtenues sont :

$$I = 66,1$$

$$\alpha = 1,55.$$

Tableau (16) : Calcul de l'ETP selon THORNTHWAITTE à la station d'Ain Skhouana

(1971-2006)

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année s
<b>P (mm)</b>	36, 3	25, 2	32, 3	31,1	27, 8	27,7	33, 9	33, 0	37, 9	18,8	9,3	16,5	330,0
<b>T. M. mensuelle (°C)</b>	20, 8	15, 3	9,7	6,3	5,2	6,3	9,0	11, 7	17, 0	22,5	25,8	25,4	14,6
<b><math>I</math></b>	66, 1	66, 1	66, 1	66,1	66, 1	66,1	66, 1	66, 1	66, 1	66,1	66,1	66,1	66,1
<b>ETP (mm)</b>	94, 5	58, 7	28, 9	14,8	11, 0	14,8	25, 8	38, 7	69, 1	106, 8	132, 0	128, 9	724,0
<b>K</b>	1,0 3	0,9 7	0,8 6	0,85	0,8 7	0,85	1,0 3	1,0 4	1,2 1	1,21	1,23	1,16	
<b>ETP<sub>corrigée</sub> (mm)</b>	97, 3	65, 9	24, 8	12,5 8	9,5 7	12,5 8	26, 5	40, 2	83, 6	129, 2	162, 3	149, 5	804,8

### 9-3 / Evapotranspiration réelle (E.T.R) :

C'est la quantité d'eau évaporée ou transpirée réellement par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libres, elle a été définie par plusieurs auteurs : TURC, WUNDT, VERDEIL, COUTAGNE et THORNTHWAITE.

#### \* Formule de TURC :

L. TURC est arrivé à établir une formule après des études faites sur 254 bassins versants, elle est applicable à tous les climats. L'évapotranspiration réelle se détermine d'après l'expression suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{\frac{0,9 + P^2}{L^2}}}$$

Où :

$$L = 300 + 25 T + 0,005 T^3$$

**ETR** : L'évapotranspiration réelle en mm ;

**P** : la précipitation moyenne annuelle en mm = 325,6 ;

**L** : un paramètre dépendant de la température = 820,6 ;

**T** : la température moyenne annuelle en °C = 14,6°C.

$$ETR = 319,2$$

#### \*Formule de COUTAGNE :

Cette formule fait intervenir les précipitations moyennes annuelles P (mm) et la température moyenne annuelle (T °C).

$$ETR = P - \lambda p^2$$

Avec : 
$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$$

Où :

**ETR** : L'évapotranspiration réelle en mm ;

**P** : La précipitation moyenne annuelle en mm = 325,6 ;

**λ** : Un paramètre dépendant de la température = 0,35 ;

T : la température moyenne annuelle en °C = 14,6 °C

La formule COUTAGNE est appliquée pour les précipitations comprises entre :

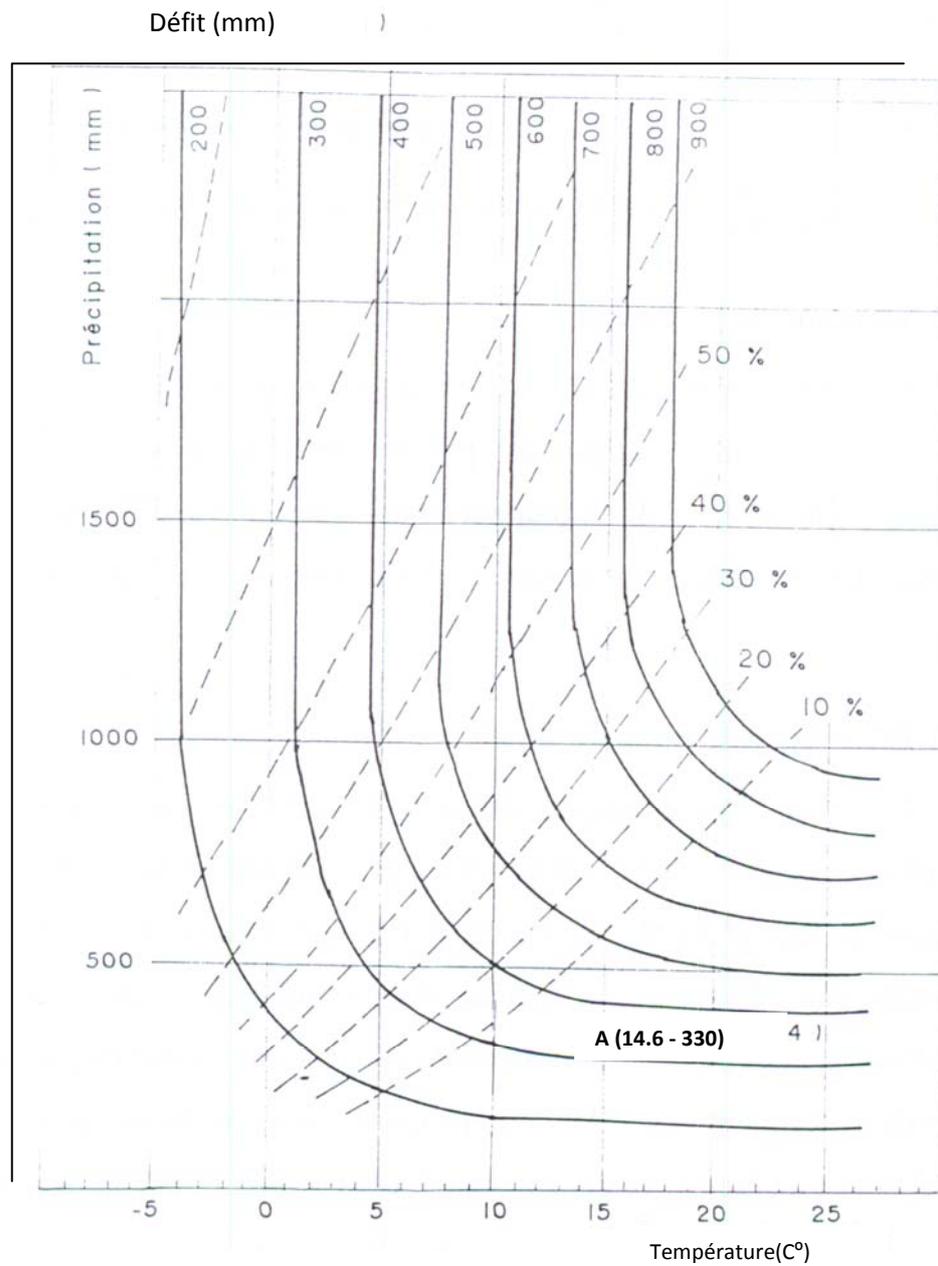
$$\frac{1}{87} < P < \frac{1}{27}$$

D'après les calculs effectués, les valeurs annuelles des précipitations à Ain Skhouna n'est pas comprise entre l'intervalle  $\frac{1}{87} < P < \frac{1}{27}$ , alors, cette formule n'est pas applicable.

#### **\*Méthode de WINDT**

L'abaque de WINDT modifié par COUTAGNE ( ), permet de déduire directement la valeur de l'ETR en prenant en considération la température moyenne annuelle (T= 14,6 °C), et les précipitations moyennes annuelles (P= 325,6 mm).

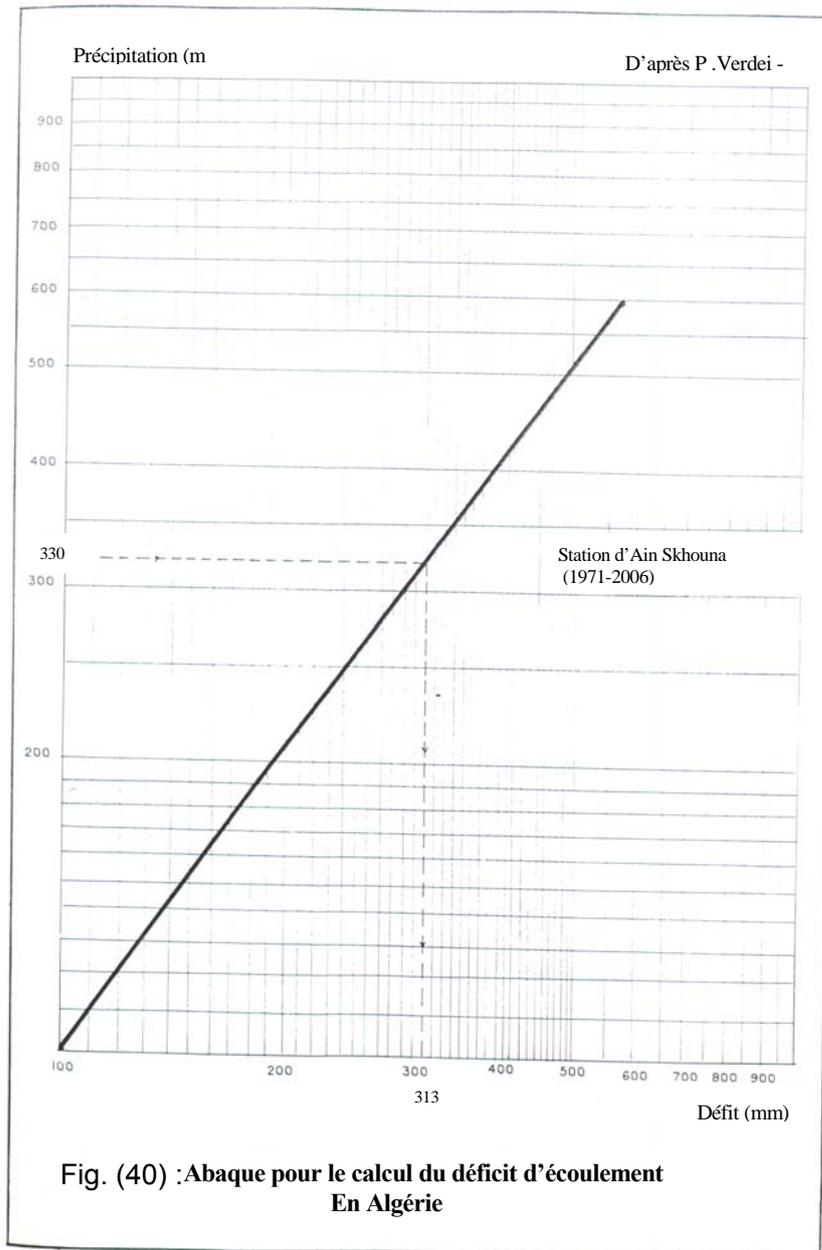
Après la projection graphique, l'ETR est estimée à 315 mm.



**Abaque de Wundt modifié par Coutagne**

- A – station d'Ain Skhouna

**Fig. (39) : EVALUATION DE L'ÉCOULEMENT ET DU DÉFIT EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE ET DE LA PRÉCIPITATION**



### \*Méthode de P.VERDEIL

En 1988, VERDEIL a établi un abaque bi logarithmique pour les régimes semi-arides où les précipitations ne dépassant pas les 600mm (Fig. ). L'abaque de VERDEIL Permet de calculer

La projection des précipitations a donné un ETR =313 mm.

### **\*Méthode de THORNTHWAITE : bilan hydrique selon THORNTHWAITE**

La méthode de THORNTHWAITE donne une estimation de l'évapotranspiration réelle équivalente au déficit d'écoulement. Le bilan peut donner les caractéristiques du sol du point de vue sécheresse ou humidité.

Le bilan prend en considération :

- La précipitation P et l'ETP ;
- La réserve facilement utilisable RFU ;
- Le déficit agricole et l'excès d'eau (water surplus).

Le principe de détermination de ce bilan est le suivant :

-si  $P \geq ETP$  pour un mois donné,  $ETP=ETR$ , il reste alors une quantité d'eau égale à  $P-ETP$ , qui va alimenter la RFU jusqu'à son maximum, si la RFU est saturée 100 mm, il y aurait un excès, c'est-à-dire, un apport de l'écoulement.

-Si  $P < ETP$ , donc, ETR est égale à la Précipitation.

-Si malgré l'apport de la RFU.  $ETR < ETP$ , il existe un déficit agricole.

Les résultats sont portés sur le tableau suivant :

Tableau (17) : Tableau du calcul des paramètres du bilan hydrique selon THORNTHWAITE (Ain Skhouna)

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Années
<b>P (mm)</b>	36.3	25.2	32.3	31.1	27.8	27.7	33.9	33	37.9	18.8	9.3	16.5	330,0
<b>T. M. mensuelle (°C)</b>	20,8	15,3	9,7	6,3	5,2	6,3	9,0	11,7	17,0	22,5	25,8	25,4	14,6
<b>Indice thermique mensuel</b>	8,6	5,4	2,7	1,4	1,0	1,4	2,4	3,6	6,3	9,7	11,9	11,7	66,1
<b>K coefficient de durée d'insolation</b>	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,04	1,21	1,21	1,23	1,16	
<b>ETP (mm)</b>	94,5	58,7	28,9	14,8	11,0	14,8	25,8	38,7	69,1	106,8	132,0	128,9	724,0
<b>ETP<sub>corrigée</sub> (mm)</b>	97,3	65,9	24,8	12,58	9,57	12,58	26,5	40,2	83,6	129,2	162,3	149,5	804,8
<b>P-ETR</b>	-61	-31,7	7,5	18,6	18,3	15,2	7,4	-7,2	-45,7	-110,4	-153	-133	-
<b>RFU</b>	0	0	7,5	26,1	44,4	59,6	67	59,8	14,1	0	0	0	-
<b>ETR</b>	36,3	25,2	24,8	12,5	9,5	12,5	26,5	33	37,9	18,8	9,3	16,5	262,8
<b>EXD</b>	0	0	7,5	18,6	18,6	15,2	7,4	0	0	0	0	0	67
<b>DE</b>	61	31,7	0	0	0	0	0	7,2	45,7	110,4	153	133	542

**- Formule de vérification**

$$P = \sum ETR + \sum EXD = 329,8 \text{ mm} \approx P = 330 \text{ mm}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DE = 804,8 \text{ mm} = ETP_e$$

9-4 /Calcule du ruissellement et de l'infiltration

**1- Le ruissellement**

Le ruissellement est calculé d'après la formule de TIXRONT BARKLOFF :

$$R \text{ (mm)} = \frac{P^2}{3(ETP)^2}$$

P= 330 mm : ETP= 804,8

R = 18,49 mm donc, 56% des précipitations.

**2- L'infiltration**

Ce paramètre est très important du point de vue hydrologique pour l'estimer, on applique la formule initiale du bilan hydrique.

$$P = ETR + R + I \quad I = [P - (ETR + R)]$$

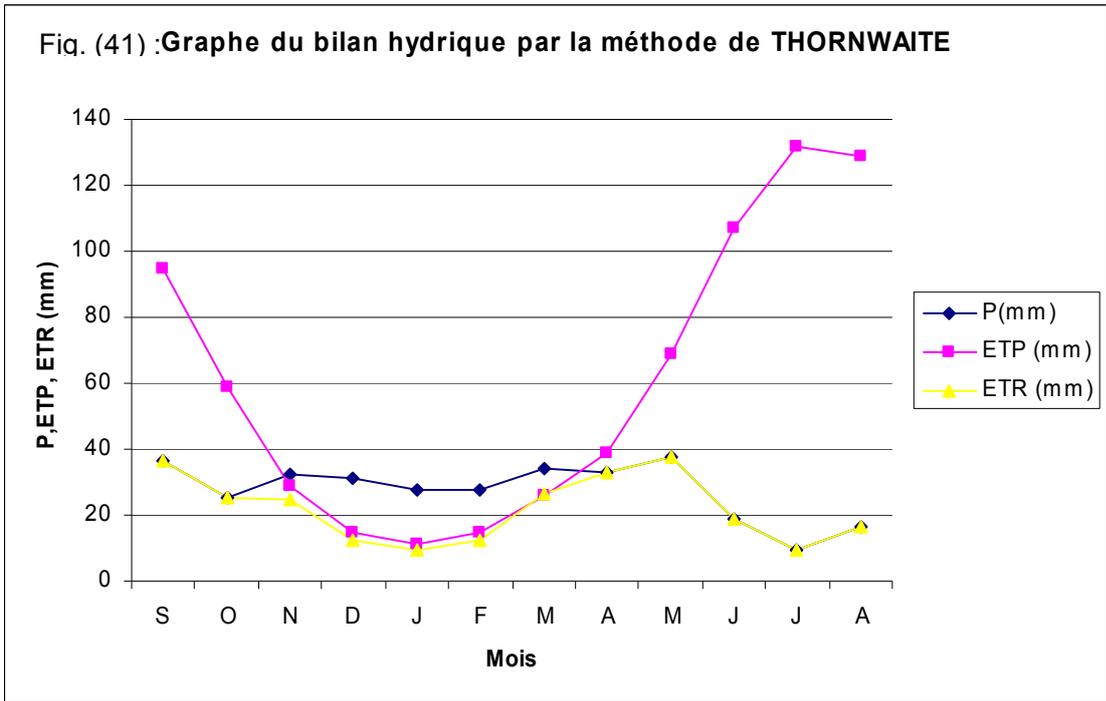
I= 48,75 donc, 14,7% des précipitations

Tableau (18) : Tableau récapitulatif du calcul des valeurs de l'évapotranspiration réelle d'après les différentes méthodes :

Station d'Ain Skhoun	THORNTHWAITE		TURC		VERDEIL		WUNDT		CONTAGNE	
	ETR	%	ETR	%	ETR	%	ETR	%	ETR	%
	262,8	79,6	319,2	96,7	313	94,8	315	95	-	-

Tableau (19) : Tableau récapitulatif du calcul des valeurs des paramètres du bilan hydrique THORNTHWAITE pour la station d'Ain Skhouana.

Station Ain Skhouana	P.M. annuelle (mm)	T.M. annuelle (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU	DE	EXD	ETR %	R %	I %
	330	14,6	804,8	262,8	159,8	542	67	79,6	1,6	14,7



D'après le bilan de THORNTHWAITE, il en ressort que la précipitation (P) devient supérieure à l'évapotranspiration (ETP), à partir de novembre jusqu'au mois de mars et son maximum en décembre 18,6.

\*L'ETP>P, donc il aurait un déficit qui à son maximum en juillet avec 153 mm.

En conclusion, l'évapotranspiration réelle (ETR) calculée est de l'ordre de 268,8 mm, ce qui correspond à 80% des précipitations.

Le ruissellement représente 5,8% des précipitations et l'infiltration représente 14,7% des précipitations, cette valeur représente la quantité d'eau qui alimente les nappes sous terraines.

**Remarque**

Quand on évalue le déficit en écoulement au pas annuel ou mensuel dans les zones endoréiques (semi-arides)

Pour un bilan plus précis qui dégage un excédent réel, il est conseillé de travailler au pas journalier et prendre en considération la totalité des bassins versants qui sont diverse dans ces dépressions (le grand bassin des hautes plaines sud constantinoises).

## 10 - Etude statistique des précipitations

### 10 -1 / Etude statistique des précipitations annuelles:

Une étude fréquentielle à pour but de trouver une loi d'ajustement pour la distributions des précipitation interannuelles qui nous permettra par la suite de définir les valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période donnée.

On calcul les paramètres empiriques des échantillons (moyenne, écart, type, variance, coefficient de variation) on classe les données pluviométriques par ordre croissant, on donne à chaque valeur son rang de série compté à partir de 1, ensuite on calcul des fréquences expérimentales ou non dépassement pour chaque valeur suivant la formule suivante:

$$F_{(x)} = \frac{n-0,5}{N}$$

n: rang de la variable.

N: taille de l'échantillon.

On portera sur papier Goussique les valeurs observées en ordonnée et les fréquences en abscisse, d'où en prévoit si notre série peut être ajustée ou non à la loi de gauss ensuite on trace la droite d'ajustement qui nous permettra d'envisager la loi de probabilité dite loi normale:

$$F(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{1}{2}u^2} du$$

La loi de gauss admet comme fonction de répartition:

U: variable de gauss égale :  $\frac{x - \bar{x}}{s}$

$$\frac{X}{\bar{x}} = Su + \bar{x}$$

$\bar{x}$  : La moyenne.

S : Ecart type.

**Tableau (20) : Ajustement à une loi de Gauss**

Taille n= 36

Moyenne= 326,802778

Ecart-type= 109,456025

I.C. à (en%)= 95

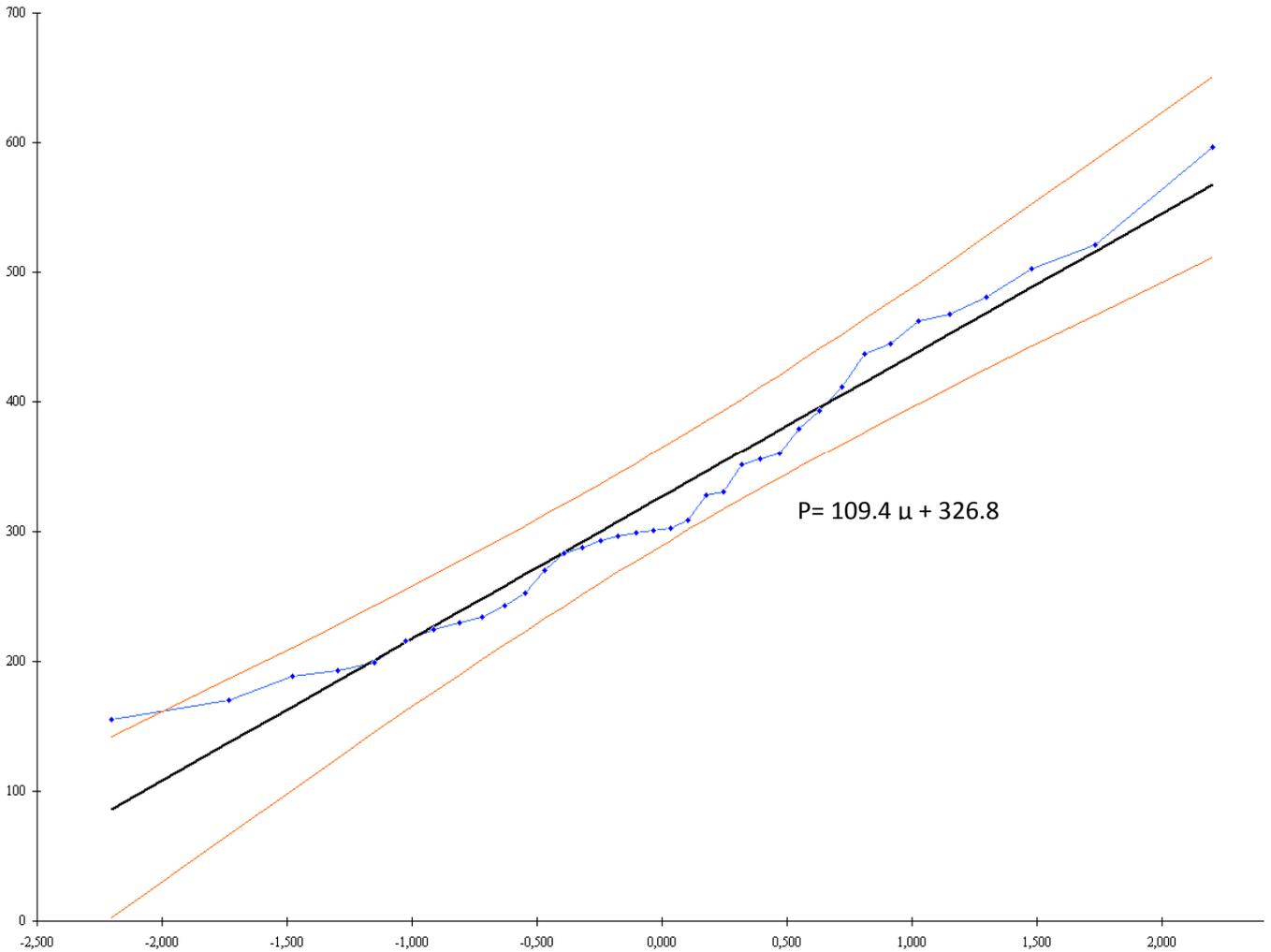
U Gauss=

1,9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
302,5	155,3	1	0,0139	-2,201	155,3	85,9060738	2,43714399	142,208205
521,6	169,9	2	0,0417	-1,732	169,9	137,219511	66,7950742	186,263952
330,3	188	3	0,0694	-1,480	188	164,782621	100,957429	210,336209
229,1	193,1	4	0,0972	-1,298	193,1	184,758375	125,473915	228,023971
296,3	199,2	5	0,1250	-1,150	199,2	200,880667	145,079312	242,481327
480,6	215,5	6	0,1528	-1,025	215,5	214,656222	161,680316	254,984953
298,7	224,1	7	0,1806	-0,913	224,1	226,85344	176,247158	266,188072
193,1	229,1	8	0,2083	-0,812	229,1	237,921368	189,345301	276,473954
242,9	234	9	0,2361	-0,719	234	248,147462	201,335473	286,089205
411,4	242,9	10	0,2639	-0,631	242,9	257,7284	212,463366	295,203666
199,2	252	11	0,2917	-0,548	252	266,805908	222,904993	303,940757
467,5	269,4	12	0,3194	-0,469	269,4	275,486563	232,791729	312,394281
155,3	283,4	13	0,3472	-0,392	283,4	283,853526	242,225112	320,638395
359,7	287	14	0,3750	-0,318	287	291,973886	251,286108	328,733883
462,9	292,8	15	0,4028	-0,246	292,8	299,903503	260,041166	336,73231
355,3	296,3	16	0,4306	-0,175	296,3	307,690338	268,546375	344,678921
327,8	298,7	17	0,4583	-0,104	298,7	315,376859	276,850416	352,61476
169,9	300,3	18	0,4861	-0,035	300,3	323,001866	284,996765	360,578324
234	302,5	19	0,5139	0,035	302,5	330,60369	293,027232	368,608791
437,3	308,5	20	0,5417	0,104	308,5	338,228696	300,990796	376,755139
300,3	327,8	21	0,5694	0,175	327,8	345,915218	308,926634	385,059181
445,1	330,3	22	0,5972	0,246	330,3	353,702053	316,873245	393,56439
188	351,4	23	0,6250	0,318	351,4	361,63167	324,871673	402,319448
215,5	355,3	24	0,6528	0,392	355,3	369,75203	332,96716	411,380443
283,4	359,7	25	0,6806	0,469	359,7	378,118992	341,211274	420,813827
393,2	379	26	0,7083	0,548	379	386,799647	349,664798	430,700562
379	393,2	27	0,7361	0,631	393,2	395,877155	358,40189	441,14219
269,4	411,4	28	0,7639	0,719	411,4	405,458093	367,51635	452,270083
308,5	437,3	29	0,7917	0,812	437,3	415,684188	377,131601	464,260254
292,8	445,1	30	0,8194	0,913	445,1	426,752115	387,417483	477,358398
224,1	462,9	31	0,8472	1,025	462,9	438,949333	398,620603	491,92524
287	467,5	32	0,8750	1,150	467,5	452,724889	411,124228	508,526244
503	480,6	33	0,9028	1,298	480,6	468,847181	425,581585	528,131641
596,8	503	34	0,9306	1,480	503	488,822935	443,269347	552,648126
252	521,6	35	0,9583	1,732	521,6	516,386044	467,341603	586,810481
351,4	596,8	36	0,9861	2,201	596,8	567,699482	511,397351	651,168412

P (mm)

**Fig. (42) : Ajustement a une loi normale**



### 10 -2 / Test de $X^2$ (Khi- deux):

Ce test permet de vérifier l'ajustement de la variable à loi de gausse.

On divise cette échantillon en classes, en prend le nombre des classes égal a 5 est en cherche l'intervalle de chaque classe d'après la formule

$$X = \bar{X} - u \Rightarrow X = 326.8 - 109.4 u$$

Les résultats sont portés dans le tableau suivant : Tableau (21) :

Les classes	Fréquence	Réduite de gauss	Intervalle de chaque classe	$n_i$	$n P_i$	$x^2 = \frac{(n_i - nP_i)^2}{nP_i}$
1	0,2	0,84	$X < 234,9$	9	7,2	0,45
2	0,4	0,25	$234,9 \leq X \leq 299,4$	8	7,2	0,08
3	0,6	- 0,26	$299,4 \leq X \leq 355,2$	6	7,2	0,2
4	0,8	- 0,85	$355,2 \leq X \leq 419,7$	5	7,2	0,67
5	0,99	- 3,99	$\geq 419,7$	8	7,2	0,08
						$\sum x^2 = 1,48$

On cherche sur la table de  $x^2$  le  $x_{\nu\alpha}^2$  théorie.

$x^2$  Théorie = 5,9.

Comme  $x^2$  calculé = 1,48 <  $x^2$  théorie = 5,9.

On conclut que le  $x^2$  calculé est situé dans la zone favorable et qu'il y a 95 % de chance que la loi de gauss soit représentative de notre échantillon.

### 10 -3 / Calcul les précipitations et le temps de retour pour les différentes fréquences:

Calcul (la période de récurrence)

$T = 1/F$  pour  $F < 1/ 1-F$  pour  $F > 0,5$ .

Où: T: le temps de retour.

F: la fréquence.

Tableau (22) : Tableau des précipitations fréquentielles:

Fréquence	Période de retour	Variation de gauss	Précipitation (mm)
0,999	1000	3,09	665
0,99	100	2,32	581,4
0,98	50	2,0	551,6
0,95	20	1,64	506,8
0,90	10	1,28	467
0,80	5	0,84	418,9
0,50	2	0,00	326,8

#### 10 – 4 /Analyse statistique des pluies journalière maximale:

La formule ou la loi la plus répondu (applicable) qui s'ajuste mieux aux valeurs extrêmes des nos région semi-aride est celle de GUMBEL ou doublement exponentielle sa mise en œuvre par la méthode graphique nécessite les opérations suivantes:

\*Classer par ordre croissant les pluies journalières maximales observées.

\*Calculer les probabilités expérimentales selon la formule suivante:

$$F(x) = \frac{n-0,5}{N}$$

La loi générale est représentée par la formule suivante:

$$F(p) = e^{-e^{-u}} \quad U = \frac{P - x_0}{s}$$

U: la variable réduite de GUMBEL.

S: le paramètre d'échantillon.

$X_0$ : le paramètre de position.

Avec:  $P_0 = S.U + X_0$ .

$P_{j_{max}} = 11,01 u + 30,82$ .

Tableau (23) : Tableau des pluies journalières et leurs fréquences (station Ain Skhouna)

<b>Ajustement à une loi de Gumbel</b>								
Taille n= 31		$X_0 = 30,82$		I.C. à (en%)= 95			J Gauss= 1,9604	
		$g = 11,01$						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
18,2	17,2	1	0,016	-1,418	17,2	15,20957	4,94139	20,84339
31,4	18,2	2	0,048	-1,108	18,2	18,61692	9,98583	23,69096
69,3	22,1	3	0,081	-0,923	22,1	20,6506	12,9261	25,46102
29,7	22,8	4	0,113	-0,780	22,8	22,22992	15,1604	26,88475
39,3	23,5	5	0,145	-0,657	23,5	23,57755	17,025	28,14146
25,8	25,3	6	0,177	-0,548	25,3	24,78624	18,6588	29,30716
61,3	25,4	7	0,210	-0,446	25,4	25,9047	20,1337	30,42287
25,7	25,7	8	0,242	-0,350	25,7	26,96236	21,492	31,51425
22,8	25,8	9	0,274	-0,258	25,8	27,97886	22,7615	32,59916
30,5	26,8	10	0,306	-0,168	26,8	28,96836	23,9614	33,69108
25,3	27,3	11	0,339	-0,079	27,3	29,94176	25,1062	34,80093
25,4	29,7	12	0,371	0,008	29,7	30,90803	26,2071	35,93802
59,6	30,5	13	0,403	0,096	30,5	31,87495	27,2739	37,11077
48,4	31,3	14	0,435	0,185	31,3	32,84969	28,3152	38,3272
48,3	31,4	15	0,468	0,275	31,4	33,83919	29,3388	39,59537
31,3	31,4	16	0,500	0,367	31,4	34,85051	30,3528	40,92377
41,1	34,3	17	0,532	0,461	34,3	35,89116	31,3651	42,3218
23,5	39,3	18	0,565	0,559	39,3	36,96947	32,3842	43,80032
57	39,7	19	0,597	0,661	39,7	38,09501	33,4191	45,3723
60	39,8	20	0,629	0,769	39,8	39,27916	34,4804	47,05368
39,7	40,8	21	0,661	0,883	40,8	40,53588	35,5803	48,86467
22,1	41,1	22	0,694	1,005	41,1	41,88287	36,7333	50,83146
40,8	47	23	0,726	1,138	47	43,3433	37,9583	52,98906
31,4	48,3	24	0,758	1,284	48,3	44,94867	39,28	55,38569
47	48,4	25	0,790	1,447	48,4	46,74366	40,7327	58,09048
34,3	51,9	26	0,823	1,633	51,9	48,79505	42,3671	61,20751
27,3	57	27	0,855	1,853	57	51,20974	44,2633	64,90413
51,9	59,6	28	0,887	2,122	59,6	54,17563	46,5614	69,47549
17,2	60	29	0,919	2,476	60	58,07309	49,5438	75,5203
26,8	61,3	30	0,952	3,004	61,3	63,88443	53,9373	84,58687
39,8	69,3	31	0,984	4,119	69,3	76,16143	63,1007	103,8592

Fig. (43) : Ajustement a une loi de Gumbel

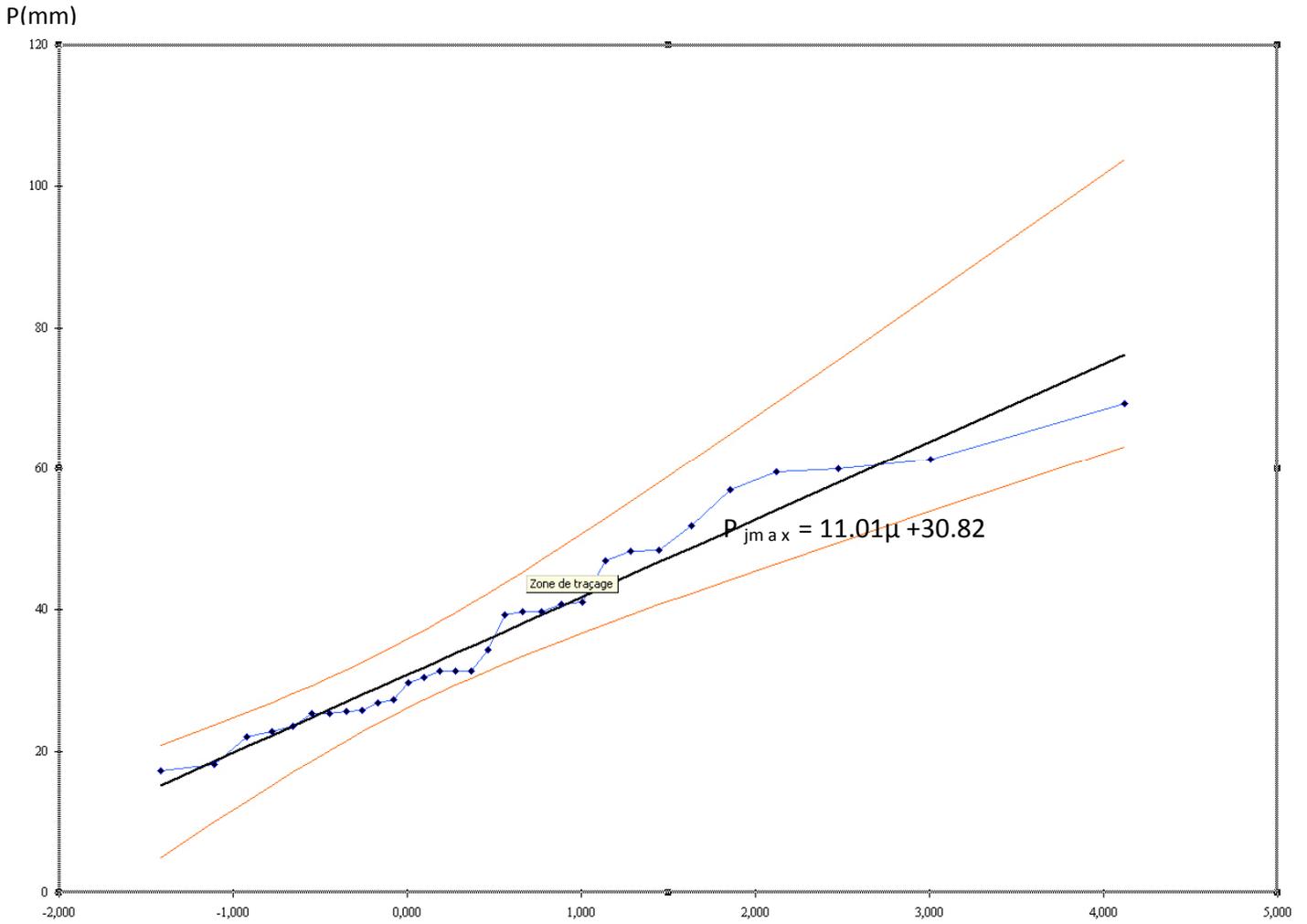


Tableau (24) : Tableau des pluies journalières ( $P_{j \max}$ ) fréquentielle:

Fréquence	0,999	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,50
Période de retour	1000	100	50	20	10	5	2
Variable réduite de GUMBEL	6,9	4,6	3,9	2,9	2,5	1,5	0,37
$P_{j \max}$	106,8	81,4	73,7	63,5	55,5	47,3	34,8

### 10-5 / Les débits maximums:

À l'absence des données hydrométriques (débit max) et pour la détermination les crues qui alimentent les Sebkhas, en utilisant la formule de Turazza pour calculer le débit max.

\*Formule de TURAZZA :  $Q_{\max F\%}(\text{m}^3/\text{s}) = \frac{C \times F \times tc \times B^2}{1 + 0,7C}$

$Q_{\max F\%}$  : débit max de fréquence et de durée donnée.

C : coefficient de ruissellement.

Tableau (25) : Les valeurs de coefficient de ruissellement en fonction de la fréquence (SOGREAH 1986)

Période de retour	F % Fréquence	Valeur de C
2	0,5	0,3
10	0,9	0,6
100	0,99	0,7
1000	0,999	0,8

PTC : la hauteur de la pluie de fréquence et durée considérée

$$PTC_f = P_{j \max} \times (tc / 24)^2$$

$P_{j \max}$  : pluie journalière maximale de fréquence donnée.

TC : temps de concentration, TC= 18,4 H.

B : l'exposant climatique, b =0,27 d'après BODY.

S : surface du bassin considéré = 1530 Km<sup>2</sup>.

Tableau (26) : Tableau des débits max fréquentiels :

Période de retour (année)	Débit max fréquentiel de différentes périodes			
	2	10	100	1000
$P_{jmax} \%$	34,8	55,5	81,4	106,8
$PTC_{F\%}$	32,3	51,6	35,7	99,32
$Q_{max F\%}$	223,8	715,1	1223,9	1835,2

### 10- 6 / L' hydro gramme des crues :

L'hydro gramme des crues représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps. Il permet d'estimer toutes les caractéristiques de la crue : forme, volume, temps de montée et de base.

La forme de l'hydro gramme de crue est déterminée selon la méthode de SOKOLOVSKI qui assimile l'hydro gramme à deux équations paraboliques l'une traduisant la montée de la crue qui s'écrit :  $Q_{(t)} = Q_{max} (T/T_m)^m$

Et l'équation de décrue :

$$Q_{(t)} = Q_{max} [T_h - T / T_d]^n$$

Ou :  $Q_{(t)}$  : débit partiel à l'instant t.

$Q_{max}$  : débit maximum d'une fréquence % selon l'importance d'étude.

$T_m$  : temps de montée de la crue  $T_m = T_c = 18,4$  H.

$T_d$  : temps de décrue  $T_d = \gamma \cdot T_m = 55,2H$

$T_b$  :  $T_m + T_d = 73,6$ .

$m = 2$  et  $n = 3$ .

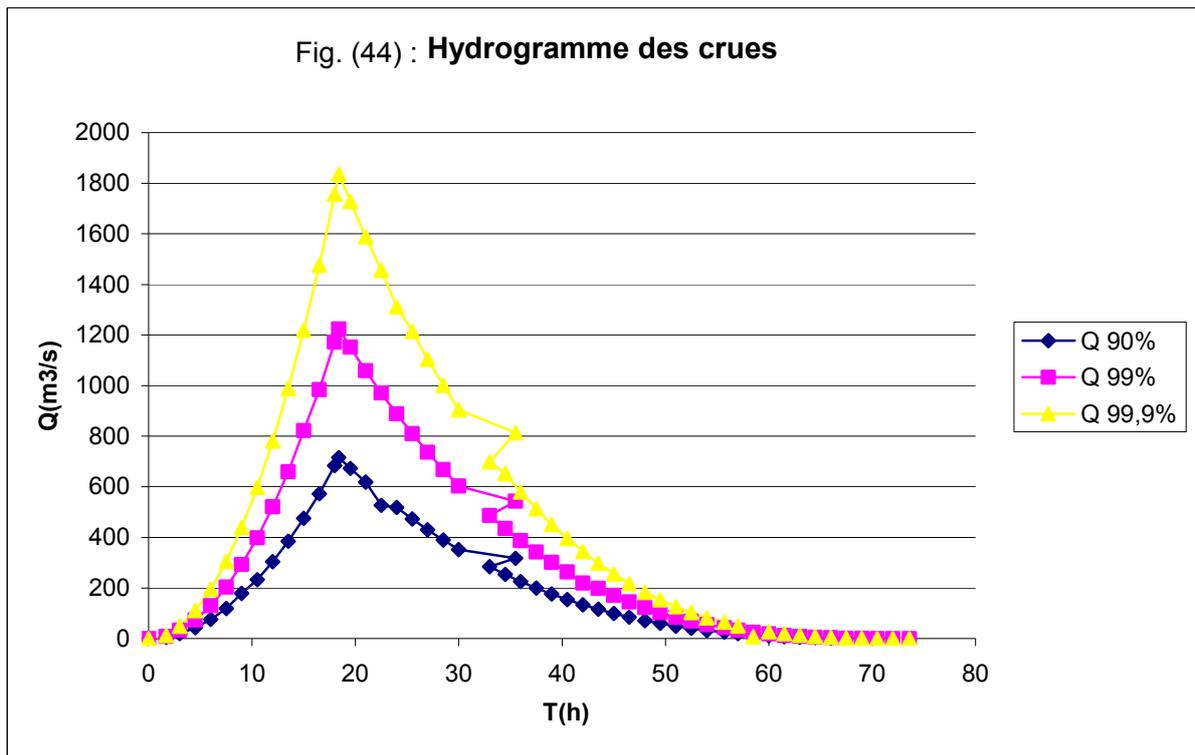
$\gamma$  : est évalué en fonction de la taille du cours d'eau, de la perméabilité et du taux de boisement du bassin versant  $\gamma = 3$

Les résultats sont portés sur le tableau suivant : Tableau (27) :

Temps (h)	Q 90%	Q 99%	Q 99,9%
0	0	0	0
1,7	4,7	8,13	12,1
3	19,0	32,5	48,7
4,5	42,7	73,2	109,7
6	76,0	130,1	195,1
7,5	118,8	203,3	304,9
9	178,7	292,8	439,0
10,5	232,8	398,5	597,6
12	304,1	520,5	780,5
13,5	384,9	658,8	987,9
15	475,2	822,2	1219,6
16,5	572,0	984,1	1475,7
18	684,3	1171,2	1756,2
18,4	715,1	1223,9	1835,2
19,5	673,1	1152,1	1727,6
21	618,7	1058,9	1587,9
22,5	527,2	970,9	1455,8
24	518,7	887,9	1311,4
25,5	473,1	809,7	1214,2
27	430,2	736,3	1104,1
28,5	390	667,5	1000,9
30	352,3	603,0	904,3

35,5	317,2	542,9	814,1
33	284,5	486,9	698,3
34,5	254,1	434,9	652,2
36	226,0	386,8	580,0
37,5	200,0	342,3	513,3
39	176,1	301,4	451,1
40,5	154,1	263,8	395,6
42	134,1	218,8	344,2
43,5	115,9	198,4	297,5
45	99,4	170,2	255,2
46,5	84,6	144,8	217,1
48	71,3	122,0	183,0
49,5	59,5	101,8	152,7
51	49,0	83,9	125,9
52,5	39,9	68,3	102,4
54	32,0	54,7	82,1
55,7	25,2	43,1	64,6
57	19,4	33,2	49,9
58,5	14,6	25	7,5
60	10,6	18,3	27,4
61,5	7,5	12,8	19,3
63	5,06	8,66	12,9
64,5	3,2	5,4	8,22
66	1,8	3,1	4,7

67,5	0,96	1,6	2,4
69	0,4	0,70	1,06
70,5	0,12	0,21	0,32
72	0,01	0,02	0,04
73,6	00	00	00



Troisième partie

application de la télédétection

## **1- Etude diachronique de la dynamique et l'évolution des sebkhas et chotts et les risques naturels qui en découlent :**

Cette étude a pour but de suivre la dynamique et l'évolution des sebkhas et chotts à travers la comparaison de leur occupation des terres en 1973, en 1987 à celle en 2001 ; durée de 14ans entre chaque image et image, et faire ressortir la direction et l'extension de cette évolution, l'ampleur d'évolution (superficies) grâce à des images satellitaires de ces années. Le principe de l'étude est basé sur le traitement des images (scènes), d'après un logiciel spécifique pour le traitement des images satellitaires.

Notre étude diachronique sera faite comme suit:

- préparation de la base de données (documents cartographiques et images);
- la correction et géo référencement des documents;
- prétraitement et traitement;
- synthèse et réalisation cartographique;
- superposition et comparaison des cartes de synthèse;
- extraction et analyse des résultats.

Pour répondre aux objectifs de notre étude, nous avons utilisé plusieurs sources d'information à savoir les cartes topo de la région et les données satellitaires (MSS, TM, ETM+ de Land SAT).

L'utilisation des images satellitaires pour l'étude de la dynamique de sebkhas est facilitée par les avantages qu'elle présente.

\* La répétitivité d'acquisition des informations qui permet de voir l'évolution, le changement de différents phénomènes dans le temps.

\* La forme numérique des données qui offre un grand avantage de traitement numérique et d'extraction de l'information d'après les différents programmes de traitement d'images.

Ce chapitre détaille les procédures suivies pour l'établissement des différentes cartes qui représentent l'évolution et la dynamique des sebkhas et chotts dans le temps.

### **2- La constitution et la préparation de base de données :**

#### **2-1 / les données supports (les cartes topographiques) :**

##### 2-1-1 Types de cartes topographiques

Nous avons utilisé un ensemble de 04 cartes topo couvrant la zone d'étude complètement:

- Batna Est 1/50000;

- Batna Ouest 1/50000;
- Souk Naamane Est 1/50000;
- Souk Naamane Ouest 1/50000.

#### 2-1-2 Scannage des cartes topographiques

Généralement, les logiciels de la cartographie n'acceptent que les fonds vectoriels où une zone est reconnaissable par son contour. Les cartes topographiques précédentes ont été scannées en un format (AO) avec une résolution de 300 DPI (nombre de pixels par inch), le nombre de cellules en lignes et en colonnes est dépendant de la résolution choisie, nous avons choisie une haute résolution, elles deviennent alors de simples images en extension (TIFF ou JPEG), sans attribut géographique, puis elles sont mises dans une projection. Chaque pixel contient une information qui correspond à un codage qui, généralement, se situe entre 0 et 255.

#### 2-1-3 Choix de la projection

Les cartes thématiques mises en œuvre dans le système d'information géographique proviennent de sources diverses, ce qui a rendu nécessaire l'adoption d'un référentiel unique sur lequel représenter ces données.

D'après les informations enregistrées sur les cartes précédentes, nous avons choisi la projection UTM (Universel Transverse Mercator), fuseau 31, système géodésique Nord Sahara, ellipsoïde de CLARKE 1880.

#### 2-1-4 Géo référencement des cartes topographiques

Les données issues des cartes topographiques sont introduites dans une base de données par le biais de procédures de géo référencement. Nous avons fait correspondre un ensemble de points amers sur la carte topographique à des coordonnées géographiques trouvées sur la carte (le cadriage kilométrique, les coordonnées en degrés, ...etc.)

Les projections mathématiques sont des méthodes mathématiques rattachées à la géométrie et qui, à tout point de la terre, donnent une correspondance sur la carte.

#### 2-1-5 Découpage et mosaïcage des cartes topographiques

D'après le logiciel ARDASS IMAGING 8.4, on a fait un découpage des bords du contour des cartes topographiques et assembler ces cartes en une carte de synthèse, qui représente la mosaïque des différentes cartes topographiques de base.

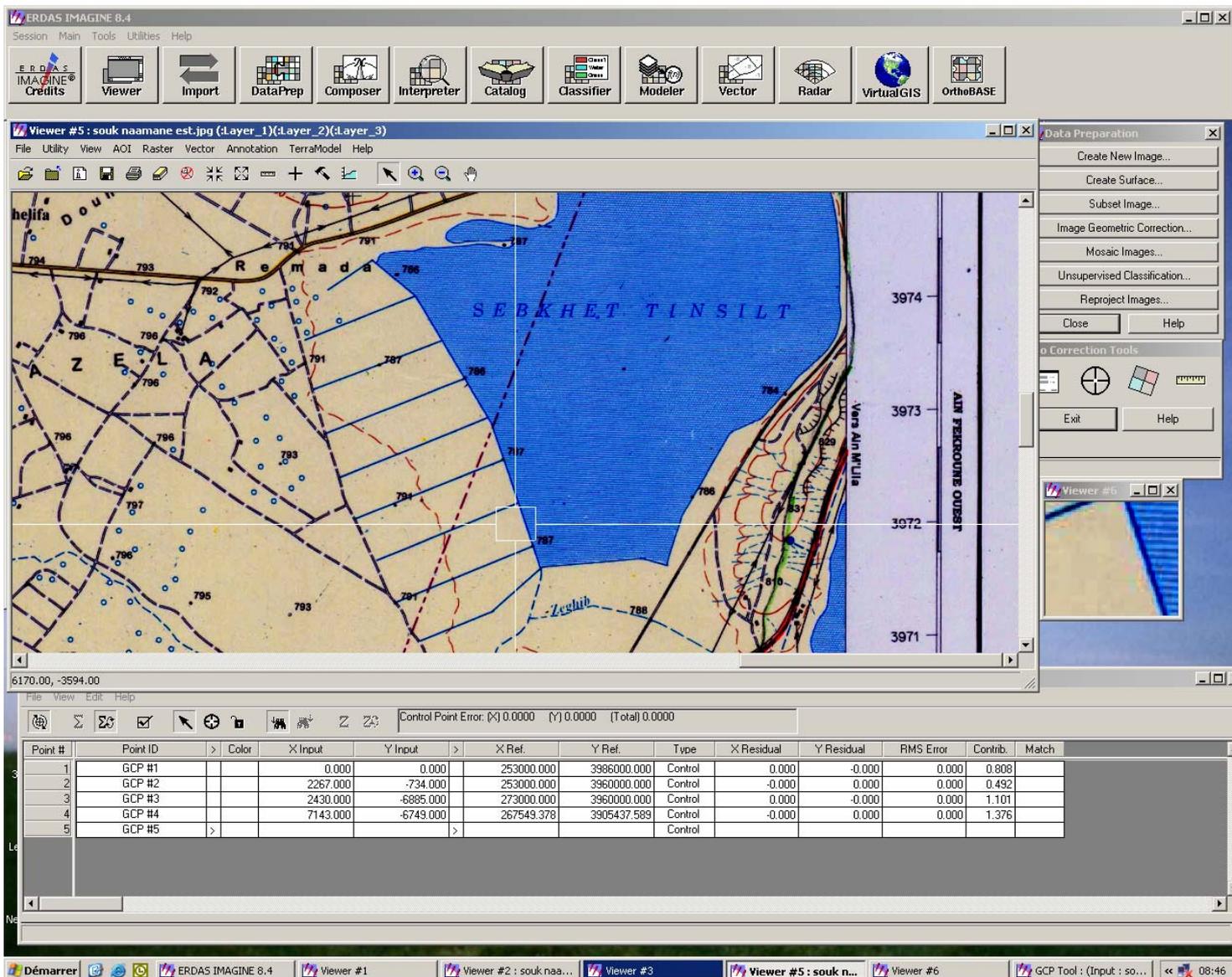


Fig. (45) : Mosaïcage des cartes topographiques

## 2-2- Les données de télédétection :

### 2-2-1 le choix des images

Les données images utilisées dans ce travail sont celles des capteurs (MSS, TM et ETM). Le choix des images est basé généralement sur leur disponibilité, ainsi que sur la bonne résolution spectrale qu'elles offrent. Les images que nous utilisons dans la présente étude sont des images à moyenne résolution (30x30 m pou TM et ETM; 60x60 m pour MSS).

Pour les dates de prise de vue des images, on a utilisé plusieurs dates, donc, plusieurs images selon la disponibilité des images. Généralement, les images sont de bonne qualité et

sont caractérisées par l'absence des nuages et des vents de sable et de tout autre obstacle atmosphérique sauf l'image de 1972 où on a remarqué la présence des nuages qui restent comme un obstacle pour le traitement.

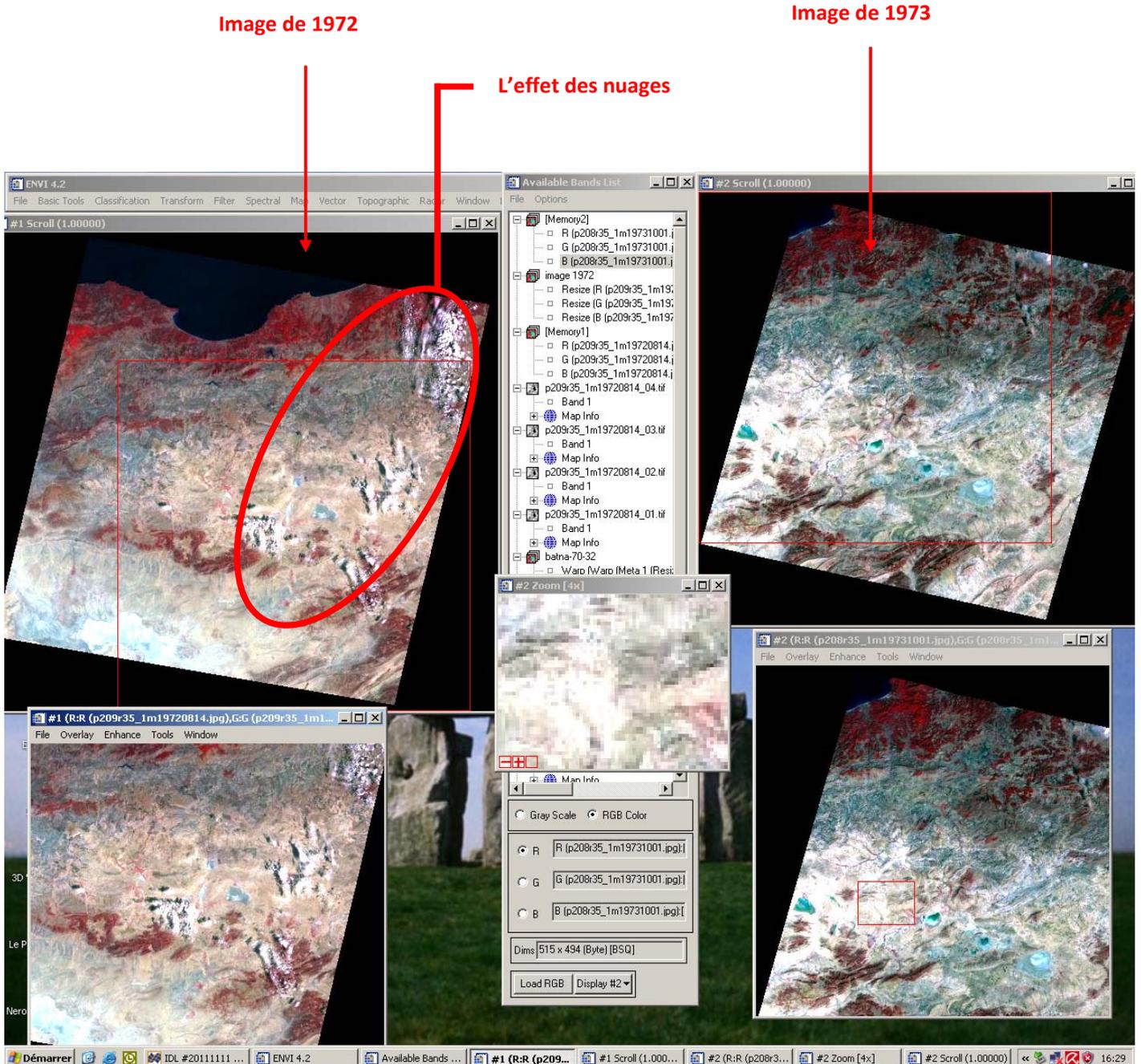


Fig. (46) : Le choix des images

Les caractéristiques des images satellitaires utilisées :

MSS -1970 - P208r35 \_ 1m 1973/10/01

Dims: 4116x3954x1 [BSQ]

File type: TIFF

Proj : UTM : zone 32N

Pixel : 57 m

Datum : WGS :84

TM 1987- P193r35\_ 5t 87/06/16

4001x3220x1 [BSQ]

File type : TIFF

Proj : UTM : zone 31N

Pixel : 28.5 Mètres

Datum : WGS : 84

ETM+ 2000- P193 r035 \_ 7t 2001/04/24

Dims: 8854x7928x1 [BSQ]

File type: TIFF

Proj : UTM : zone 32N

Pixel : 28.5 Mètres

Datum : WGS : 84

ETM+ 2001 – P194r035\_ 7t2001/04/02

Dims : 8557x7665x1 [BSQ]

File type : TIFF

Proj : UTM : zone 31N

Pixel : 28.5 Mètres

Datum : WGS : 84

Tableau (28) : **Les caractéristiques des images satellitaires utilisées :**

Sat/ Capteur	Path	Row	Date	Qualité
Landsat1 (MSS)	208	35	01/10/1973	Bonne
Landsat 5 (TM)	193	35	16/06/1987	Bonne
Landsat7 (ETM)	194	35	02/04/2001	Bonne

### 2-2-3- le choix des canaux

GIRARD (1999) sépare l'utilisation des bandes spectrales proposant pour la détection des phénomènes terrestres. Les bandes du visible et de l'infrarouge pour les phénomènes affectant les profondeurs, les bandes ayant une certaine pénétration (hyperfréquence ou les infrarouges thermiques) ou intégrant un certain volume, par exemple, la scène TM est composée de plusieurs bandes ou canaux répartis ainsi :

Tableau (29) :

Canal	Longueur d'ondes (µm)	Applications
1	0,45 – 0,52 visible (bleu)	couverture végétale
2	0,52 – 0,60 visible (vert)	couverture végétale
3	0,63 – 0,69 visible (rouge)	Absorption chlorophyllienne
4	0,76 – 0,90 proche IR	couverture végétale, interface terre-eau
5	1,55 – 1,75 moyen IR	Humidité des couverts végétaux et des sols, étude des roches et de minéraux
6	10,4 – 12,5 Ir thermique	Humidité du sol, végétation
7	2,08 – 2,35 moyens IR	Humidité des couverts végétaux et des sols, étude des roches et de minéraux

Résolution 30m pour les bandes 1, 2, 3, 4, 5,7/ 120m pour la bande 6.

### 2-2-4- Extraction d'une fenêtre de la zone d'étude ; (par l'utilisation du logiciel ENVI « the ENvironment for Visualising Images », Version 4.2)

A partir de l'image prise par le capteur, on extrait une fenêtre d'intérêt. Cette extraction est spatiale, elle correspond à une fenêtre dont les limites représentent celles de la zone d'étude. Dans une première étape, à découper une portion (image pré corrigée) de la scène multi spectrale couvrant la zone d'étude, sous la projection originale « WGS84 ».

Les images acquises par les différents capteurs et fournies par les organismes de diffusion des données de télédétection, ne sont pas directement utilisables. Toutes les interprétations et analyses d'images satellitaires exigent des traitements numériques qui

nécessitent un matériel informatique adéquat et les logiciels nécessaires pour traiter les données.

Nous avons utilisé le logiciel ENVI pour notre travail qui offre la possibilité de visualisation et d'analyse complète des images.

### **3- Les prétraitements**

Les prétraitements ont pour but d'améliorer les données pour faire ressortir l'information souhaité par le photo interprète. Le chercheur doit disposer d'une image de bonne qualité, prendre en compte tous les paramètres et leurs appliquer un traitement sélectif, en fonction du but recherché.

Ce sont là, les différentes corrections et transformations que subira l'image avant son utilisation pour les traitements.

#### **3-1-Les corrections des images :**

Sont les corrections géométriques et radio métriques, qui visent une amélioration de la qualité de l'image, c'est-à-dire une image plus vraie de l'objet.

Le prétraitement essentiel dans notre étude c'est la correction géométrique qui vise à corriger les distorsions géométriques de l'image ayant des origines diverses.

##### 3-1-1/Les corrections radio métriques

Les corrections radio métriques consistent en une calibration permettant aux utilisateurs de comparer dans le temps, à différentes saisons, les images et en tirer une information significative de la réalité de terrain.

Ces corrections sont généralement appliquées pour diminuer l'effet des distorsions liées :

- A l'analyse de balayage ;
- A l'ordre de l'irradiance solaire due à la date de prise de vue ;
- Aux perturbations atmosphériques qui se manifeste par la présence d'éléments accentuant les phénomènes de diffusion (les particules et les aérosols) et le phénomène d'absorption (l'eau).

Dans notre étude, la correction radio métrique n'est pas obligatoire, dus à l'absence des différents paramètres spécifiques pour la correction radio métrique donc, les prétraitements et les traitements réalisés dans la présente étude seront réalisés sur des valeurs radio métriques brutes.

### 3-1-2/ Les corrections géométriques

Les images satellitaires présentent des distorsions qui demandent une rectification géométrique, ces corrections géométriques font ressortir un document géo référencé, sur lequel chaque objet repéré sur le document peut être localisé géographiquement. L'image géo référencée est comparable à une spatiocarte. Les données détectées sur la spatiocarte sont superposables à d'autres données, d'une autre source (Exp. cartes topographiques) de la même projection.

En effet, les corrections géométriques sont destinées à rapprocher l'image pré corrigée aux cartes topographiques rectifiées et mosaïquées ou à d'autres documents tel que les points d'amers déterminés par GPS sur le terrain (document de référence).

Pour notre travail, on a utilisé les cartes topographiques donc, c'est une correction de type carte à image.

Il existe deux types des méthodes utilisées pour effectuer les corrections géométriques des images satellitaires, les méthodes paramétriques et les méthodes interpolatrice (TEISSER et STAMON, 1994).

#### **\* La méthode paramétrique**

C'est une méthode très complexe, basée sur la modélisation des phénomènes qui engendrent les déformations géométriques.

#### **\*La méthode interpolatrice (non paramétrique)**

Plus utilisée dans les corrections géométriques des images satellitaires.

Nous avons adopté la modélisation polynomiale (méthode globale) ; en utilisant le logiciel ENVI 4.2 (The Environment for Visualizing Image)

Cette méthode consiste à sélectionner des points repérables homologues entre les images satellitaires à corriger et un document de référence (on a utilisé les cartes topographiques), possédant des coordonnées géographiques (point d'appui).

Ces points d'appui permettent de calculer, selon un modèle de déformation de type polynomial d'ordre1, les coordonnées des points homologues dans l'image.

La méthode polynomiale d'ordre1 donne des résultats plus satisfaisants (HIRCHE, 1995 ; GIRARD, 1999), malgré le fait qu'elle soit moins précise que la polynomiale d'ordre2 et 3.

Cette méthode se base sur une détermination d'une série de points  $A_i$  définis par les coordonnées géographiques  $(X_i, Y_i)$  et les coordonnées  $(P_i, Q_i)$  dans l'image brute.

Chaque point  $(x, y)$  de l'image corrigée ne présente pas exactement la même valeur numérique du point d'origine  $(p^*, q^*)$  dans l'image brute, donc, le ré échantillonnage ou la conversion d'un échantillon du signal en un autre échantillon, permet d'attribuer à chaque point de l'image

corrigée une valeur numérique déterminée par interpolation entre les valeurs des pixels voisins de l'image brute.

L'ENVI possède un module de réglage performant, permettant de choisir interactivement les points d'appui sur l'image et sur le référentiel, en affichant, sur l'écran, l'image à rectifier et la carte de référence en même temps (linkage), et en choisissant le modèle polynomiale d'ordre 1.

### ***A- Rectificatif des cartes topographiques***

Nous avons utilisé 04 cartes topographiques qui couvrent généralement la zone d'étude, les cartes à échelle du 1/50000.

Dans un premier lieu, des points remarquables ont été repérés sur chaque carte topographique et les valeurs correspondantes ont été relevées ; ensuite, ces points sont pointés sur ces cartes et leurs valeurs sont introduites manuellement.

Nous avons identifié et pointé 05 points, l'erreur enregistrée est acceptable.

Il faut noter que 4 à 5 points d'amers sont suffisants pour rectifier une carte topographique te que l'erreur ne doit pas excéder un pixel.

Dans un second lieu, un assemblage des cartes topographiques a été élaboré pour avoir une carte de synthèse (mosaïque) superposables, après calage. La carte mosaïquée a pou but de caler l'image satellitaire pré corrigée.

### ***B- rectification de l'image satellite***

Les images satellitaires présentent des distorsions qui demandent une rectification pour que les images soient superposables aux autres documents ; pour cela, nous avons procéder à une correction géométrique par le biais de l'ENVI 4.2, cette procédure requière, dans un premier temps, le choix des points amers, ce sont des points remarquables, qui ont été repérés sur l'image pré corrigée tels les intersections de pistes, de routes, les formes remarquables de bâtis,...etc. Leurs équivalents sont identifiés sur le Mosaïcage des cartes topographiques permettant ainsi, d'en relever les valeurs correspondantes. Ensuite, ces points sont pointés sur l'image et leurs valeurs sont introduites manuellement (par saisie) et enregistrées dans un « fichier » points en même temps que leurs résidus.

Une fois géo référencée l'image prédécoupée sera redécoupée en fonction de la dimension de la carte de Mosaïcage retenu.

Nous avons identifié et pointé 24 points, l'erreur enregistrée est acceptable.

L'erreur RMS de chaque point ne doit pas dépasser un pixel, nous avons alors éliminé les points induisaient une erreur supérieur à un pixel.

Les résultats obtenus pour chaque point d'appui sont illustrés dans le tableau.

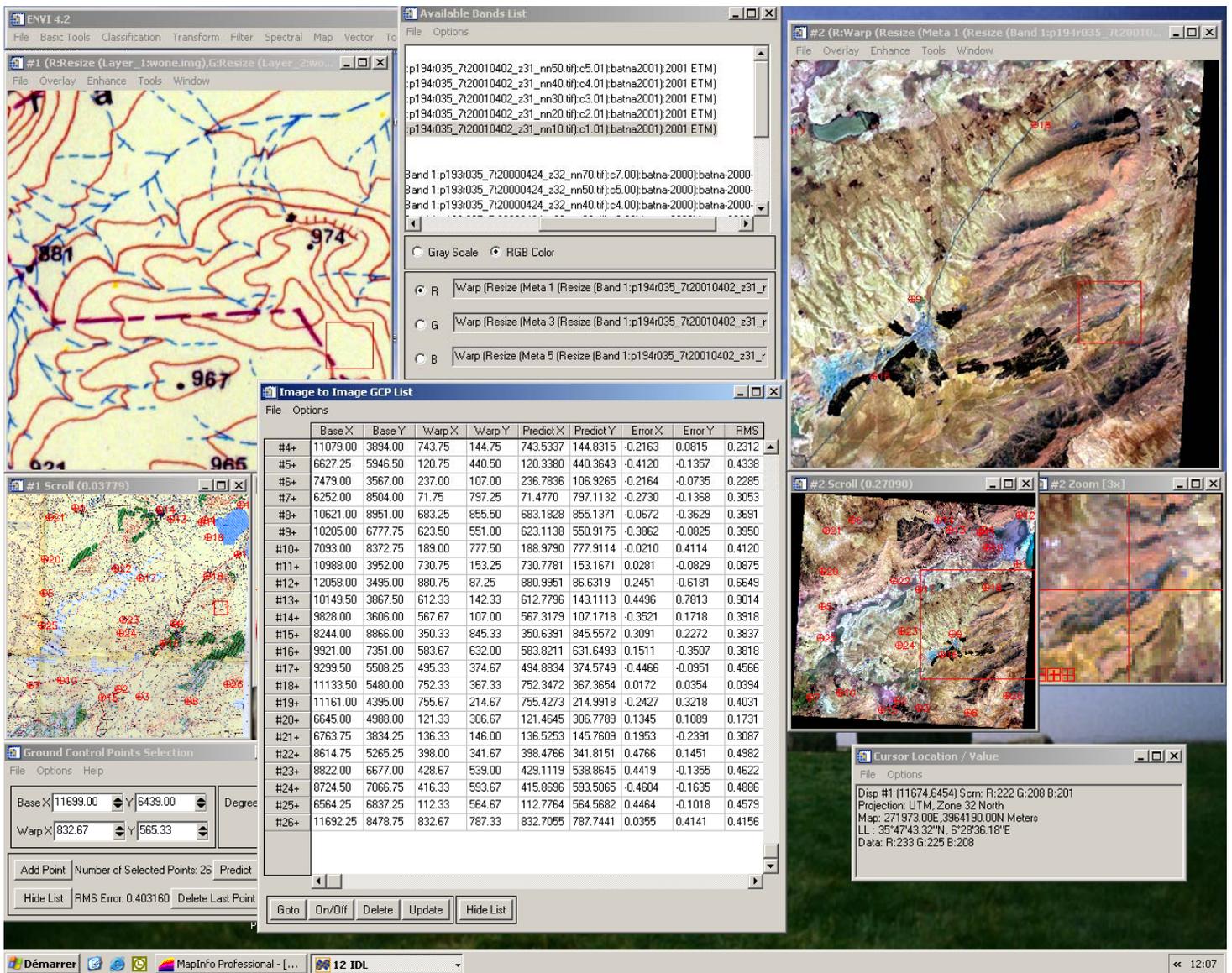


Fig. (47) : La rectification sous ENVI (image to image)

## Image to Image GCP List

File Options

	Base X	Base Y	Warp X	Warp Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	12000.00	4852.00	873.50	277.67	873.6333	277.5385	0.1333	-0.1315	0.1873
#2+	8673.00	8604.00	410.50	808.50	410.3540	808.5038	-0.1460	0.0038	0.1460
#3+	9261.00	8824.00	492.67	838.67	492.8461	838.6771	0.1761	0.0071	0.1763
#4+	11079.00	3894.00	743.75	144.75	743.5337	144.8315	-0.2163	0.0815	0.2312
#5+	6627.25	5946.50	120.75	440.50	120.3380	440.3643	-0.4120	-0.1357	0.4338
#6+	7479.00	3567.00	237.00	107.00	236.7836	106.9265	-0.2164	-0.0735	0.2285
#7+	6252.00	8504.00	71.75	797.25	71.4770	797.1132	-0.2730	-0.1368	0.3053
#8+	10621.00	8951.00	683.25	855.50	683.1828	855.1371	-0.0672	-0.3629	0.3691
#9+	10205.00	6777.75	623.50	551.00	623.1138	550.9175	-0.3862	-0.0825	0.3950
#10+	7093.00	8372.75	189.00	777.50	188.9790	777.9114	-0.0210	0.4114	0.4120
#11+	10988.00	3952.00	730.75	153.25	730.7781	153.1671	0.0281	-0.0829	0.0875
#12+	12058.00	3495.00	880.75	87.25	880.9951	86.6319	0.2451	-0.6181	0.6649
#13+	10149.50	3867.50	612.33	142.33	612.7796	143.1113	0.4496	0.7813	0.9014
#14+	9828.00	3606.00	567.67	107.00	567.3179	107.1718	-0.3521	0.1718	0.3918
#15+	8244.00	8866.00	350.33	845.33	350.6391	845.5572	0.3091	0.2272	0.3837
#16+	9921.00	7351.00	583.67	632.00	583.8211	631.6493	0.1511	-0.3507	0.3818
#17+	9299.50	5508.25	495.33	374.67	494.8834	374.5749	-0.4466	-0.0951	0.4566
#18+	11133.50	5480.00	752.33	367.33	752.3472	367.3654	0.0172	0.0354	0.0394
#19+	11161.00	4395.00	755.67	214.67	755.4273	214.9918	-0.2427	0.3218	0.4031
#20+	6645.00	4988.00	121.33	306.67	121.4645	306.7789	0.1345	0.1089	0.1731
#21+	6763.75	3834.25	136.33	146.00	136.5253	145.7609	0.1953	-0.2391	0.3087
#22+	8614.75	5265.25	398.00	341.67	398.4766	341.8151	0.4766	0.1451	0.4982
#23+	8822.00	6677.00	428.67	539.00	429.1119	538.8645	0.4419	-0.1355	0.4622
#24+	8724.50	7066.75	416.33	593.67	415.8696	593.5065	-0.4604	-0.1635	0.4886
#25+	6564.25	6837.25	112.33	564.67	112.7764	564.5682	0.4464	-0.1018	0.4579
#26+	11692.25	8478.75	832.67	787.33	832.7055	787.7441	0.0355	0.4141	0.4156

Tableau (30) : **Résidus, erreurs RMS et contribution des points d'appui**

### 3-2- Les transformations multi-spectrales : les indices et les filtres :

Les transformations d'image sont des opérations appliquées à plusieurs bandes spectrales. Des opérations arithmétiques (addition, soustraction, multiplication et division) sont faites pour combiner et transformer les bandes originales en nouvelles images appelées 'néo canaux », qui montrent plus clairement certains éléments de l'image.

La réflectance des différents éléments, leur nature physique et chimique, sont en perpétuelles interactions. En effet, il existe une influence réciproque de l'ensemble de ces éléments, dont chacun d'eux peut représenter un thème à part. Le thématicien est alors tenu de rechercher des solutions et des méthodes pouvant l'aider dans la mesure du possible à mettre en évidence le thème considéré.

L'influence de la couleur des objets sur détection des autres objets est l'aspect qui a motivé plusieurs chercheurs dans le domaine de la cartographie par télédétection.

HEUTE et al. (1984) ; HIRCHE (1995), ont souligné que la couleur des sols a une influence sur les peuplements végétaux peu denses, dont il faut tenir compte dans le calcul des indices de végétation, en milieu aride.

Dans ce cadre, des auteurs ont défini et expérimenté plusieurs indices, CALOZ (1994) définit un indice : une variable synthétique, numérique qui caractérise l'intensité ou l'extension d'un phénomène trop complexe pour être décomposé en un nombre maîtrisable de paramètres, ainsi, pour répondre à notre objectif qui est l'élaboration d'une carte d'évolution des contours des sebkhas en fonction du temps, nous avons eu recours à l'utilisation des indices calculés grâce à des options disponibles dans le logiciel de traitement des images satellitaires utilisé (ENVI).

Les indices sont créés à partir de différentes fonctions appliquées aux canaux bruts de l'image satellitaire utilisée afin de pouvoir extraire l'information désirée. Le choix des néo-canaux dépend de l'objectif fixé.

Il existe plusieurs indices, nous avons choisi un certain nombre susceptible de répondre à notre objectif, leur calcul est effectué automatiquement par une fonction disponible dans le logiciel utilisé, le résultat fourni sous forme d'une image ou d'une bande.

Pour notre travail, nous avons considéré l'indice de végétation (NDVI)

3-2-1/L'indice de végétation (NDVI) : Normalized difference Vegetation Index :

Indice de différence normalisé, il permet de visualiser sur une seule bande la dynamique des réponses liées à la densité et le type d'un couvert végétal, en optimisant les contrastes entre le visible et le proche infrarouge. Il est corrélé avec l'activité chlorophyllienne des surfaces végétales. Il est obtenu à partir de la formule de ROUSSE et al. 1973)

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R}) \quad (\text{TM}_4 - \text{TM}_3) / (\text{TM}_4 + \text{TM}_3)$$

Le résultat d'un NDVI prend la forme d'une nouvelle image, Selon BARIOU (1985) in HIRCH (1995), La normalisation par la somme des deux bandes, le proche infrarouge et le rouge, tend à réduire l'effet de l'éclairement. Cet indice est compris entre -1 et +1, plus cet indice est élevé et plus la zone correspondant au sol a une activité chlorophyllienne forte.

L'application de l'indice de végétation (NDVI) à notre zone d'étude à pour objectif de nous renseigner sur l'état de la végétation.

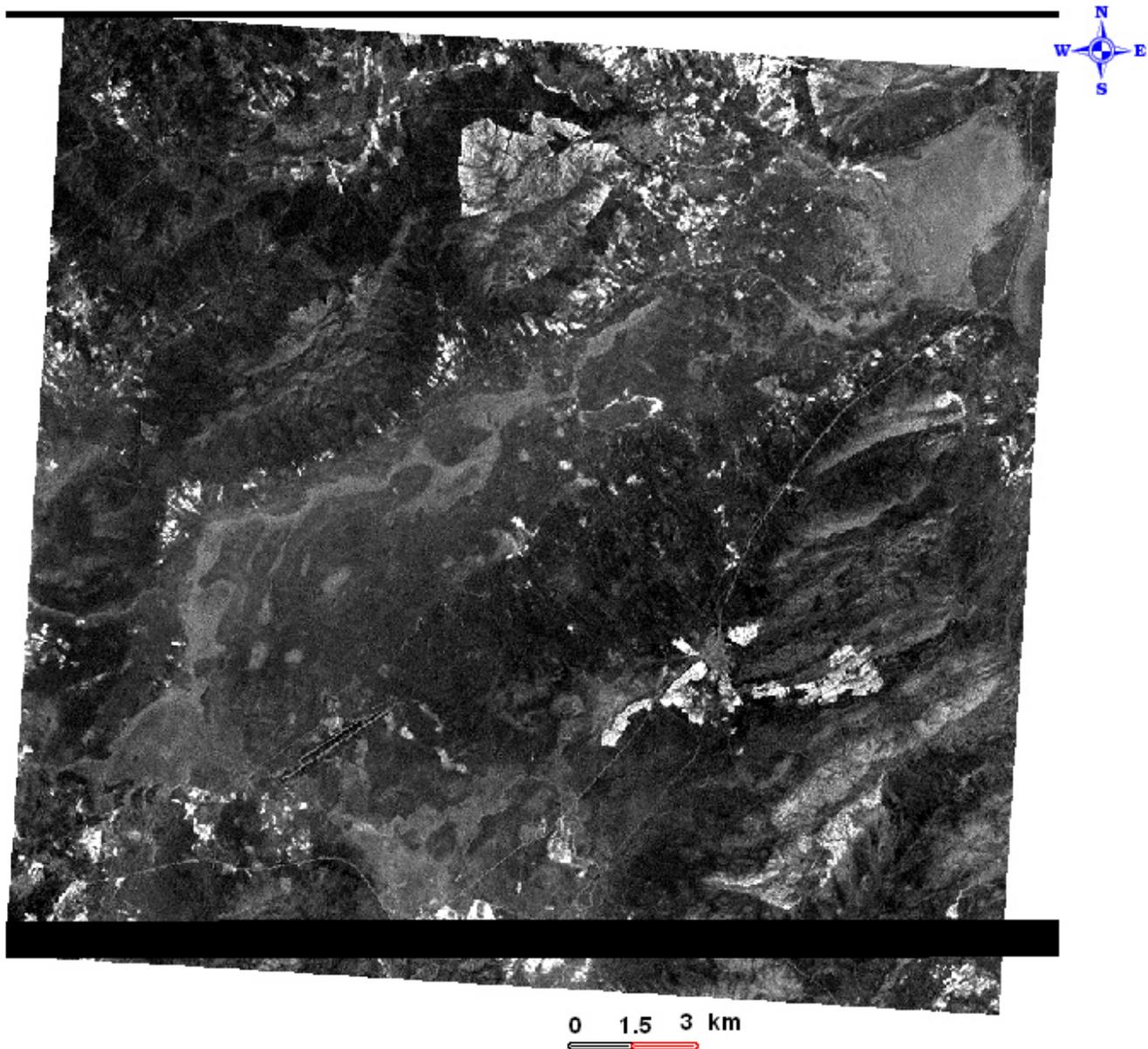
Le passage de la teinte noire vers les teintes claires nous indique respectivement l'absence ou la présence de végétation chlorophyllienne, donc, la majeure partie de notre zone d'étude comporte peu ou très peu de surfaces occupées par la végétation chlorophyllienne (forêts et /ou culture). La seule végétation qui est mise en évidence est la forêt qui apparaît en claire net, signe d'une activité chlorophyllienne.

Le dégradé de la couleur blanche peu correspondre d'abord à un naturel dégradé dans le partie S-E de l'image.

La présence de la teinte peu claire et conforme presque aux contours des chotts et sebkhas, elle montre l'activité de la végétation halophyte qui résiste à la salinité élevée.

Le résultat de NDVI confirme l'aridité de la zone d'étude.

Fig. (48) : **Application de l'indice de végétation NDVI LANDSAT**  
**2001**



### 3-2-2 / Filtrage (les filtres)

Les filtres sont des analyses uni variées, c'est-à-dire des traitements ne portant que sur un seul canal, aussi, des filtres ou convolutions sont appliqués sur les images afin d'homogénéiser les images ou au contraire, d'en rehausser les contrastes.

Ces filtres utilisent une fenêtre (un échantillon du voisinage de dimension spécifique) qui se déplace sur l'image ; pixel par pixel, et qui permet de modifier la valeur du pixel central en fonction des statistiques du voisinage, les filtres de convolution peuvent être de type : passe bas ou passe –haute.

Par exemple, le filtre passe-bas ou lissage consiste à éliminer les pixels « aberrants » qui forment le bruit de l'image ou les irrégularités locales, ce traitement génère un effet de flou plus ou moins accentué, en fonction des réglages. Il est par exemple possible de lisser une image en affectant à chaque pixel la valeur radio métrique moyenne de la somme de ses voisins. Dans l'exemple suivant, le voisinage est composé des pixels voisins immédiats, mais il est possible d'accentuer le lissage en définissant un rayon de deux pixels (donc, une grille de 5x5 pixels), ou encore de trois pixels (donc une grille de 7x7 pixels).

Le filtre passe- bas est conçu pour:

- faire ressortir l'homogénéité des régions à pixels homogènes.
- réduire les petits détails de l'image.

Le filtre fréquemment utilisé pour produire l'effet inverse, c'est-à-dire non plus homogénéiser l'image mais au contraire rehausser les détails, est appelé passe-haut, il est conçu pour faire ressortir :

- l'hétérogénéité d'une région.
- les petits détails de l'image.

Il est notamment utilisé pour accentuer les arrêts et ainsi mieux identifier les objets linéaires (réseau hydrographique routier, failles géographiques,...etc.)

D'après l'applications les différents types des filtres on remarque que les résultats ou les nouvelles images données un certain confusion spectral qui reste comme un obstacle pour extraire et numériser les conteurs des différents objets de terrains.

On va passer a d'autre méthode de traitement.

Fig. (49) **Application du filtrage – convolution high pass – 3×3 LANDSAT**  
**2001**

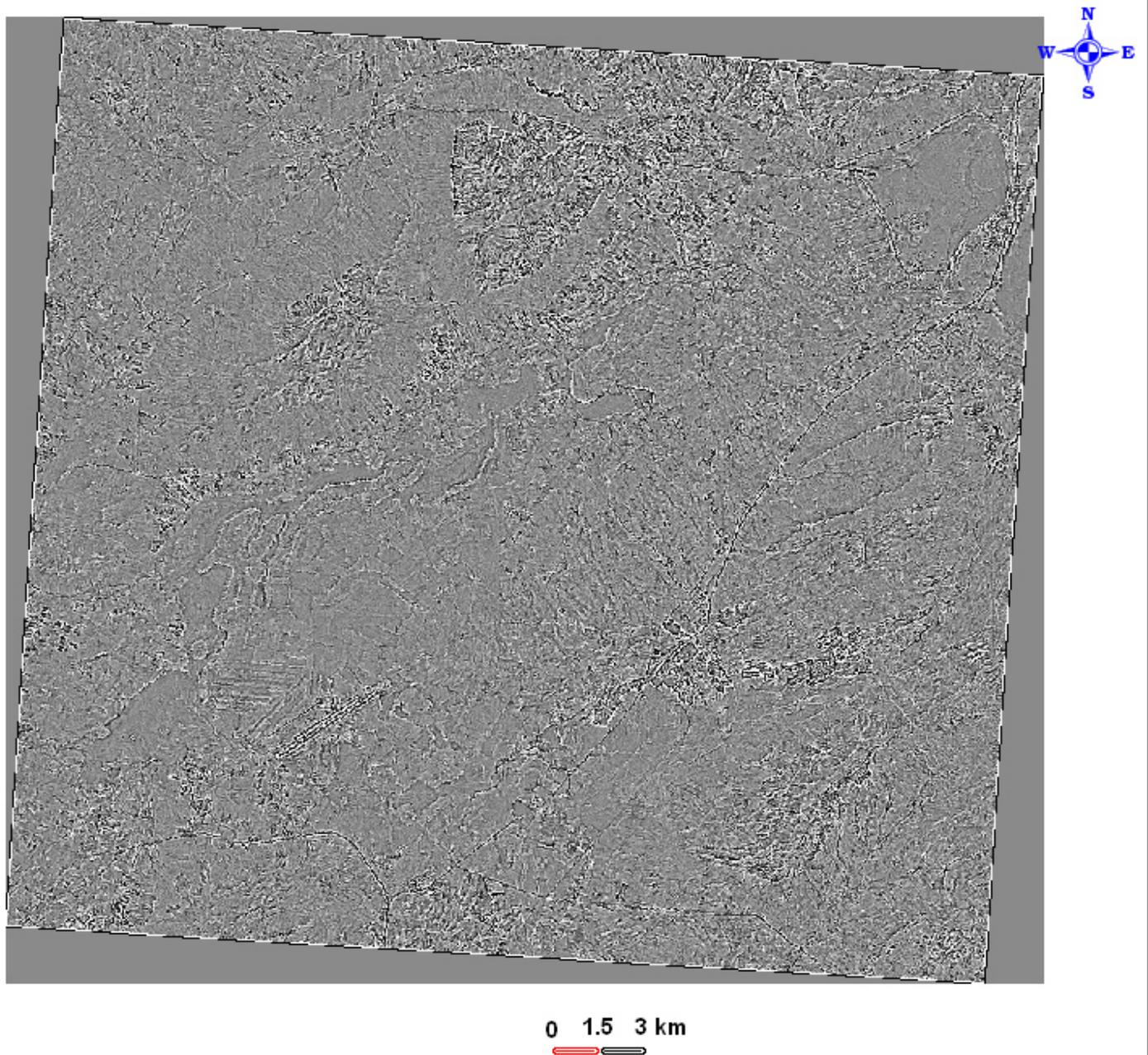
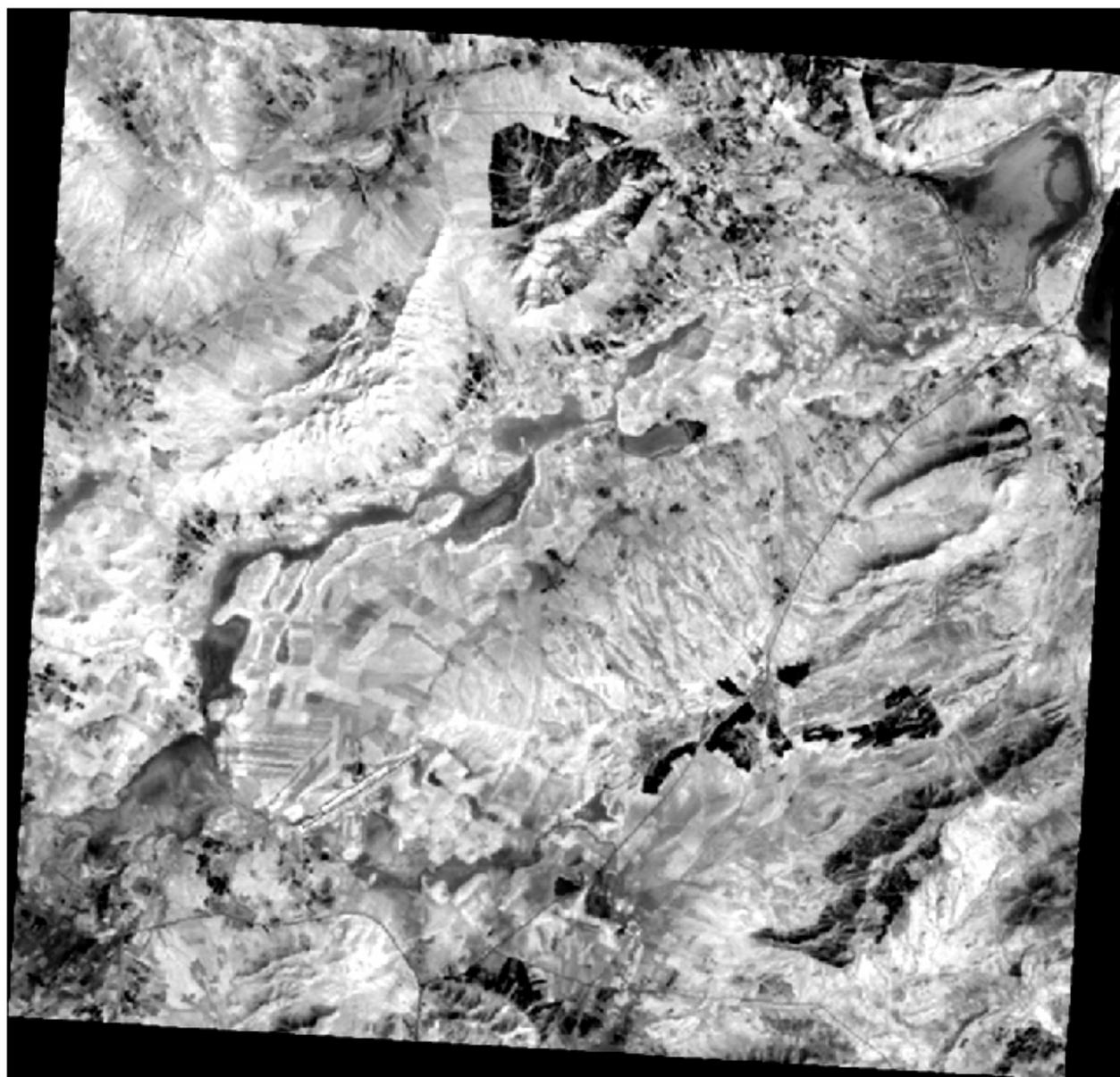


Fig. (50) Application du filtrage – convolution low pass – 3×3 LANDSAT 2001



0 1.5 3 km

Fig. (51) Application du filtrage – convolution laplacian – 3×3 LANDSAT 1987

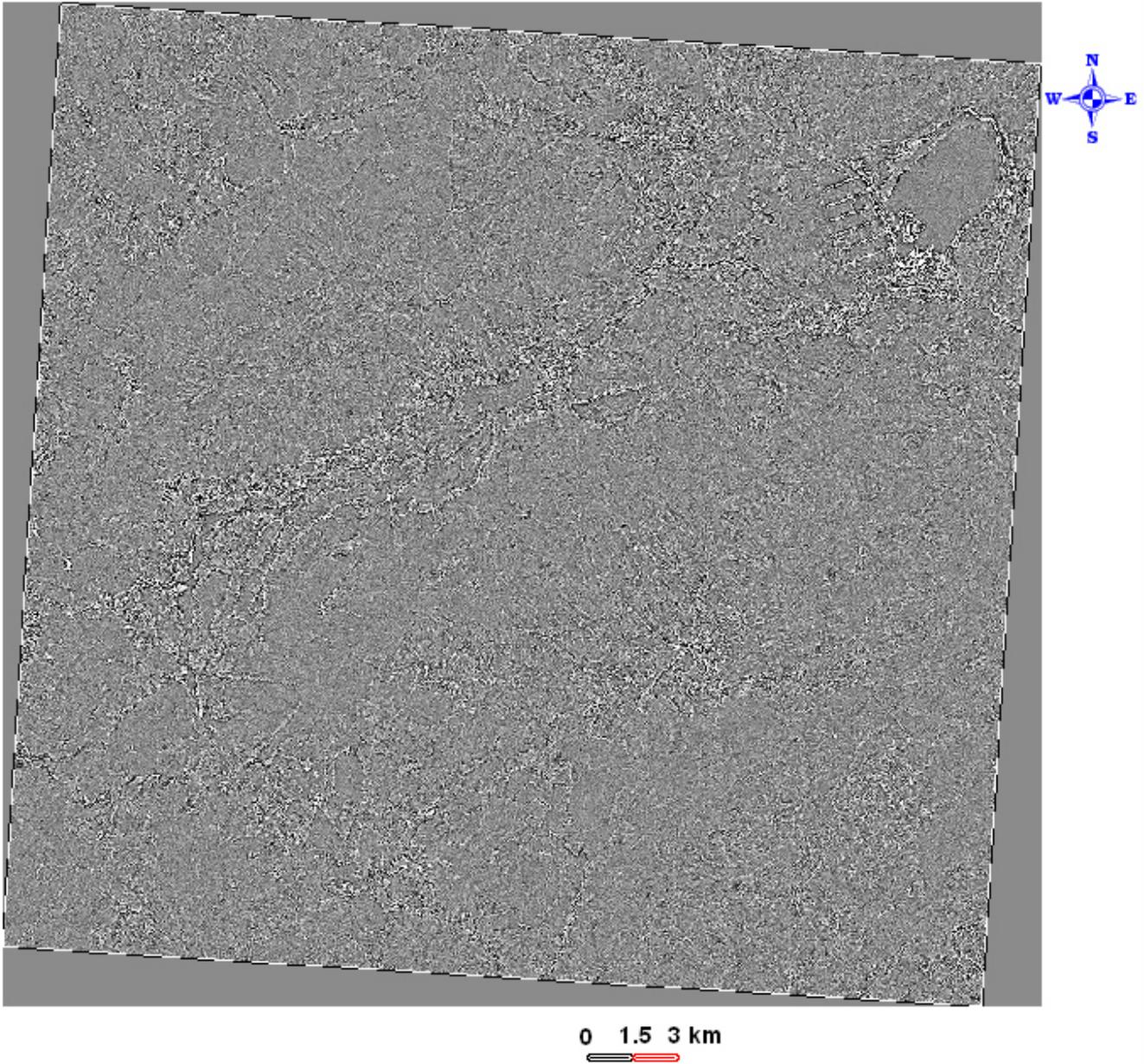
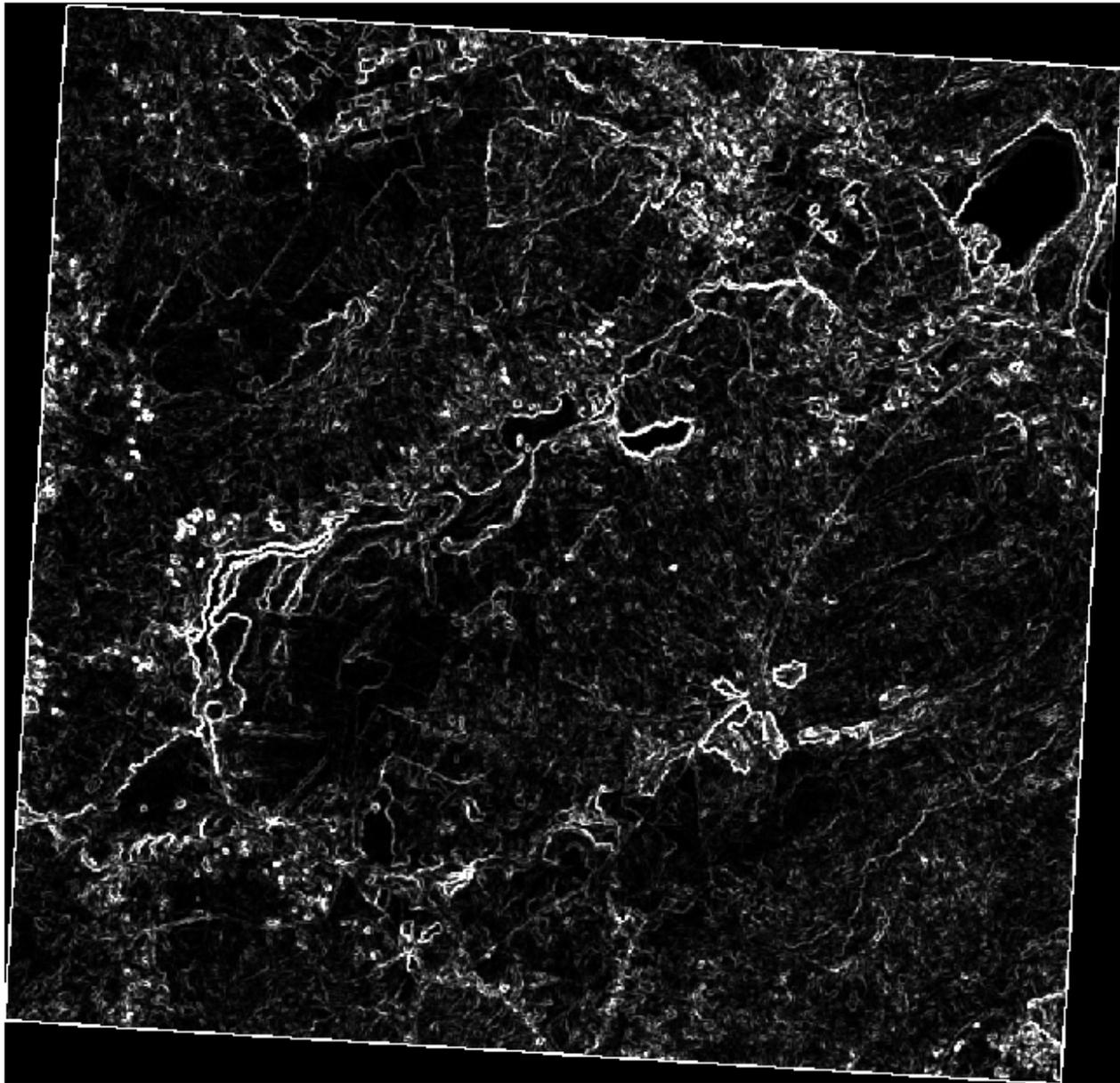


Fig. (52)

Application du filtrage –texture/occurrence-variance

LANDSAT 1987



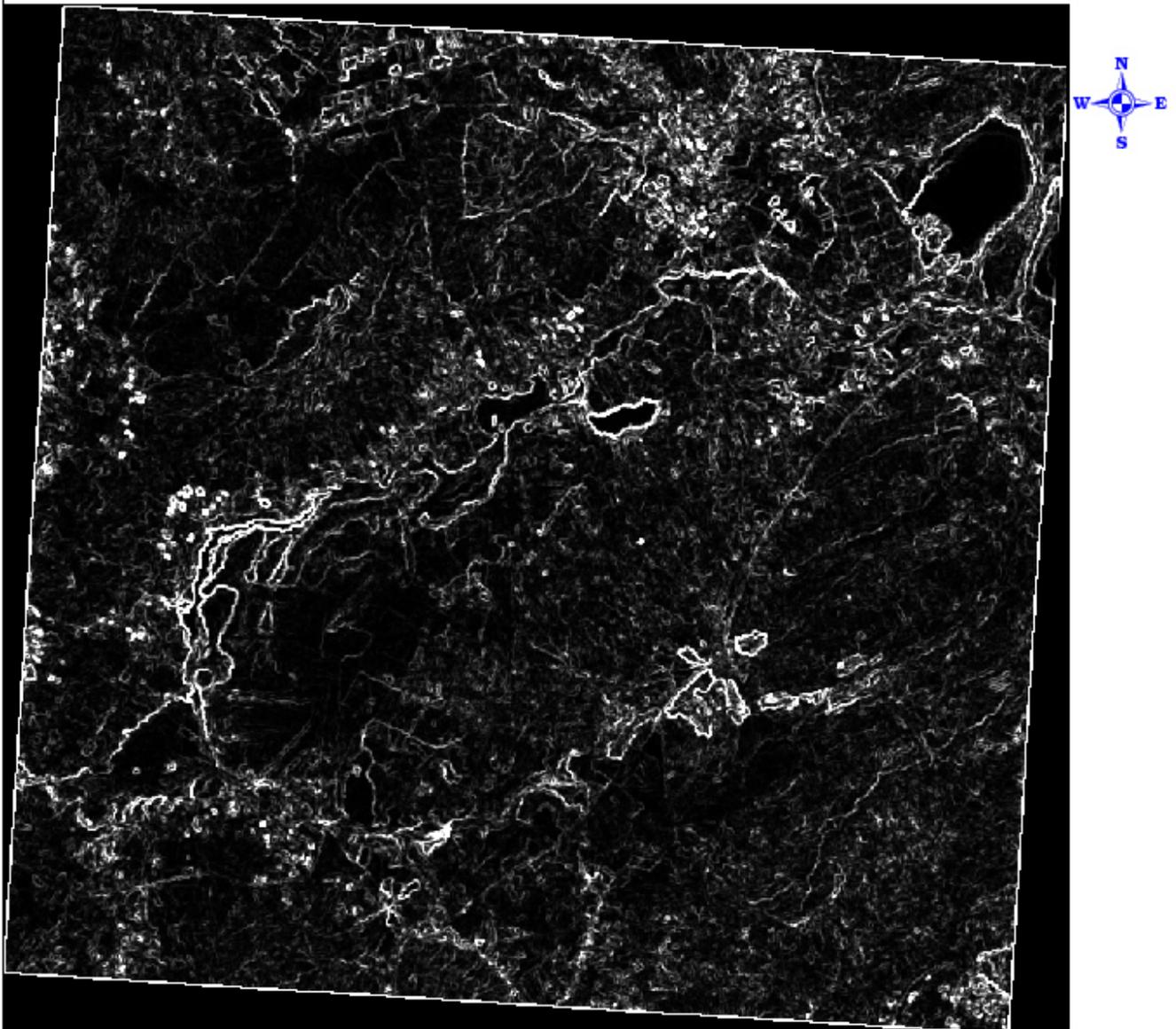
0 1.5 3 km



Fig. (53)

Application du filtrage –texture/ co-occurrence-variance

LANDSAT 1987



0 1.5 3 km

### **3-3- l'analyse visuelle et le choix de la composition colorée :**

L'une des premières investigations de l'image satellitaire se fait par l'affichage simultané de trois canaux. A chacun des trois canaux est affectée une couleur fondamentale (bleu, vert et rouge), basée sur l'analyse visuelle.

L'analyse visuelle des images satellitaires est une étape d'aide pour l'interprétation des photographies aériennes dans le cas des images satellites, ces critères ressemblent, dans leur plus grande partie, aux précédents et sont principalement définis par le contraste, la teinte, les formes,...etc.

L'identification directe sur l'image n'est possible que si la dimension de l'objet est supérieure à la dimension du pixel, et que l'objet présente le plus de contraste sur l'image. Dans notre cas, nous pouvons détecter sur l'image : les routes, les zones d'agglomérations, les chotts et les sebkhas, les forêts et quelques formes géomorphologiques.

La composition colorée d'après GIRARD est une représentation significative obtenue par une ou plusieurs combinaisons des couleurs.

- images composites en vraie couleur : les images composites en vraie couleur avec combinaison des bandes 1, 2 et 3 correspondent à peu près à la plage spectral de vision de l'œil humain, c'est la raison pour laquelle ces images semblent proches de ce que nous nous attendrions à voir sur une photographie couleur ordinaire.

Les images en vraie couleur tendent à être peu contrastées et quelque peu floues ceci est dû au fait que la lumière bleue est plus susceptible d'être diffusée dans l'atmosphère que les autres bandes.

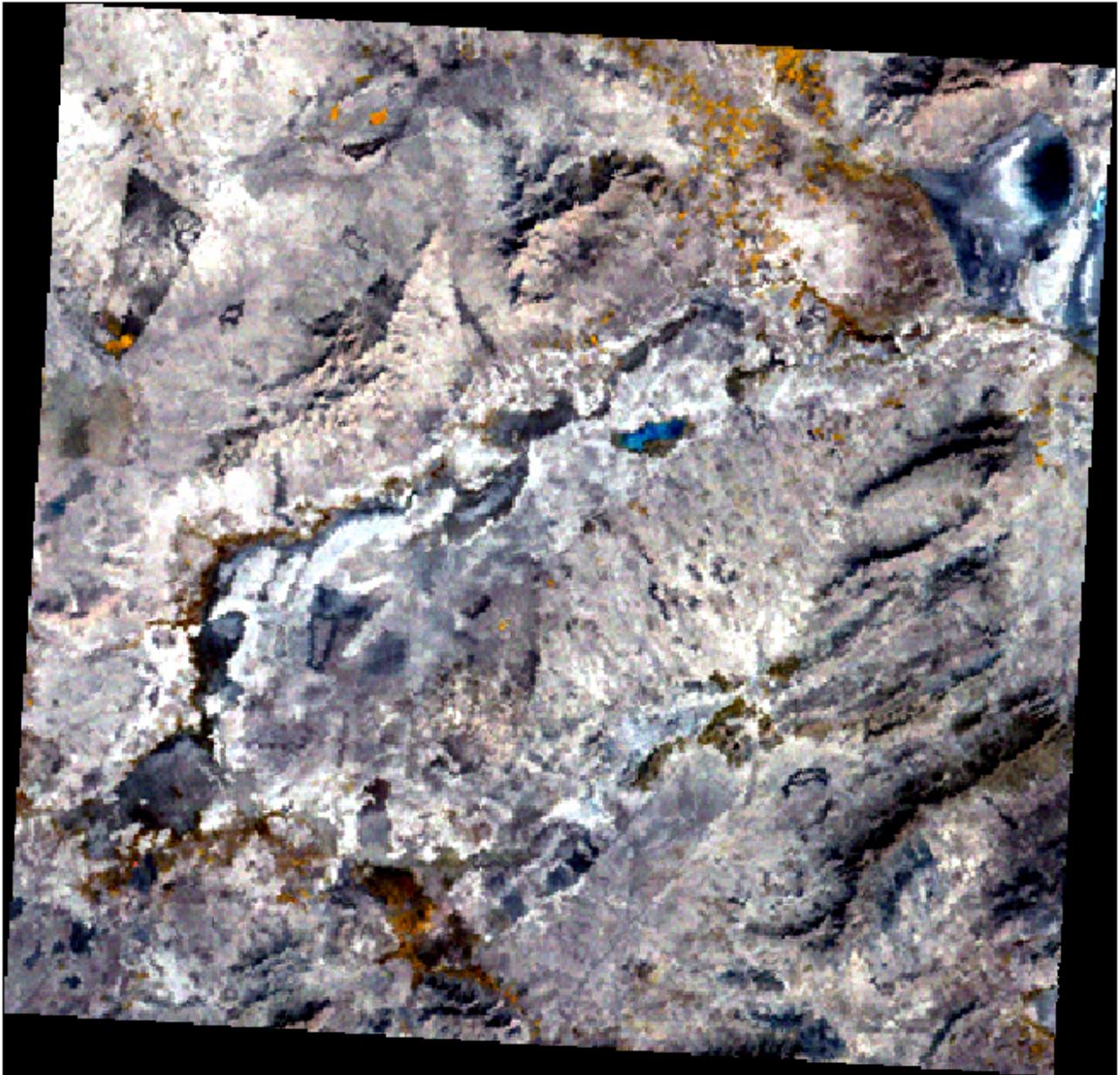
- La composition colorée / fausse couleur : en traitement des images satellite, l'on est souvent amené à produire des images en fausse couleur (également appelées images en pseudo-couleur) parce qu'elles augmentent les possibilités d'interprétation des données une image en fausse couleur est une représentation artificielle d'une image multi spectrale.

L'objectif de cette méthode est de faire ressortir, à partir de la combinaison des canaux, une hétérogénéité visuelle intéressante traduisant la réalité du terrain, ceci a pu se réaliser grâce à la faible corrélation qui existe entre les canaux, une corrélation élevée équivaut à un appauvrissement de l'information spectrale, il convient donc de choisir les canaux les moins corrélés; quelles sont les 3 bandes sur 7 possibles qui doivent être affichées en rouge, vert et en bleu.

#### 3-3-1 /La composition colorée

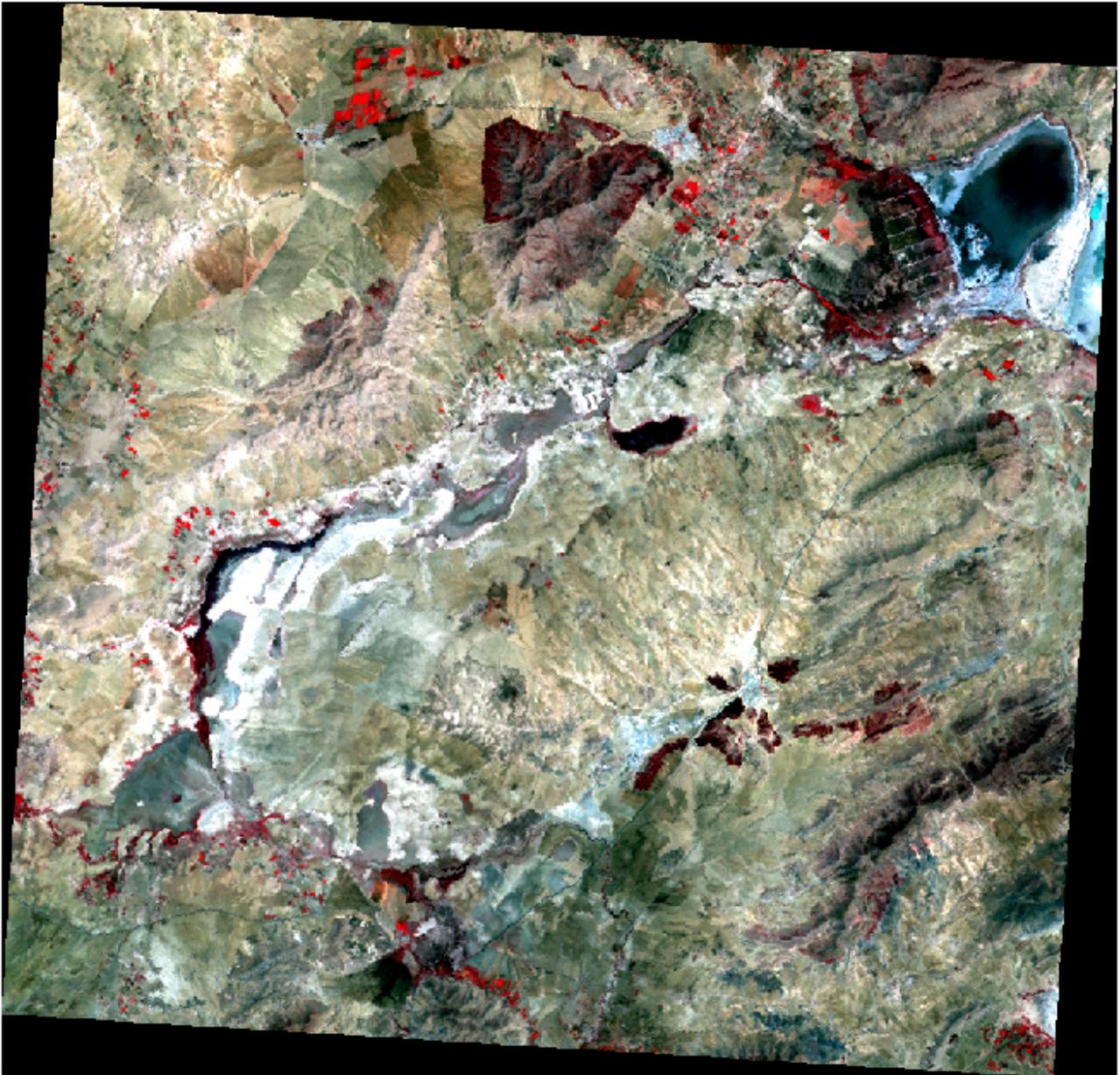
Après les essais de composition colorée, réalisés à partir des canaux de LANDSAT, et d'après la recherche bibliographique sur les travaux précédents, nous avons opté pour une composition colorée des canaux 4, 3, 2, qui permet d'identifier les différentes unités d'affectation du sol de façon nette par rapport à une image d'un seul canal.

Fig. (54) : **IMAGE LANDSAT -1973-**



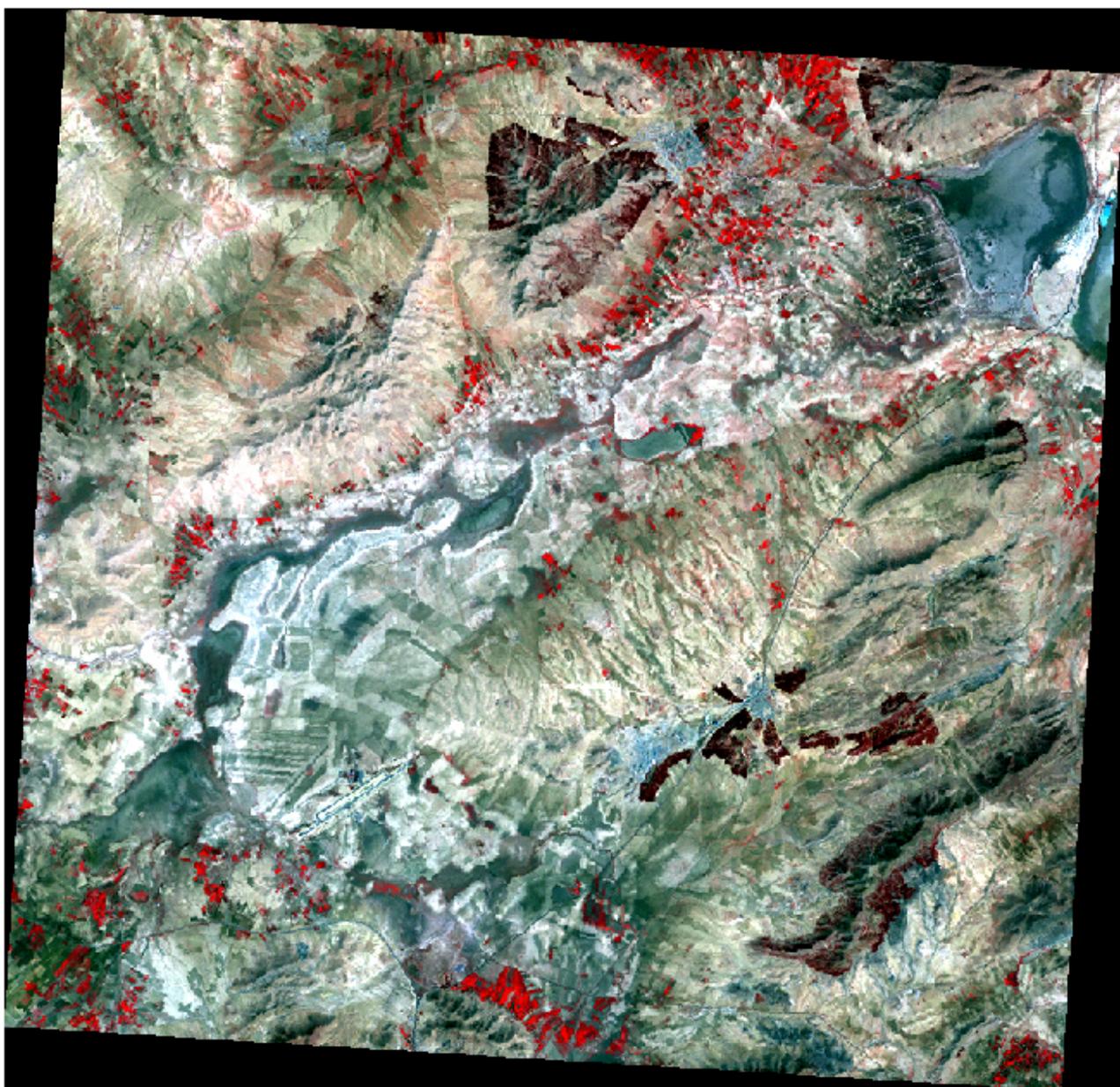
composition colorée des canaux 4,3,2 TM

Fig. (55) : IMAGE LANDSAT -1987-



composition colorée des canaux 4,3,2 TM

Fig. (56) IMAGE LANDSAT -2001-



composition colorée des canaux 4,3,2 TM

Pour se faire, on affecte le rouge au canal correspondant à la bande proche infrarouge  $TM_4$ , le vert au canal  $TM_3$  (rouge) et le bleu au canal  $TM_2$  (vert).

### 3-3-2 / /Interprétation de la composition colorée

En dehors de la classification automatique des données, il est possible de réaliser une interprétation visuelle de ces données, après un traitement simple comme la composition colorée de plusieurs canaux.

Dans cette composition colorée, les surfaces des sebkhas et les chotts apparaît en bleu plus ou moins sombre, les sols en vert (gris et cyan), la végétation en rouge et marron foncé, plus ou moins intense, la piste d'aéroport et les agglomérations en bleu claire, et en bleu foncé pour les différents types des routes.

## **4 - traitements des données**

-L'image est un document brut et complexe par la multitude d'informations qui la constitue, une simplification de ce document est nécessaire pour pouvoir tirer l'information la plus juste et la plus précise.

-La cartographie est le meilleur moyen d'illustration des différentes informations contenues dans les images, donc, une image peut faire l'objet de réalisation de plusieurs cartes thématiques.

-Pour passer d'un document complexe (image) à un document simple (carte), il est nécessaire de réaliser une classification de l'image, ce qui permet d'extraire l'information d'intérêt et de réduire l'information existant dans les images, pour définir des ensembles moins nombreux, par le regroupement de plusieurs pixels en classes thématiques (GIRARD et GIRARD, 1999).

-En effet, la classification est définie comme « l'opération qui regroupe, au mieux de leur ressemblances spectrales, les divers objet du sol » (CALOZ, 1991).

Classifier une image consiste à rassembler l'ensemble des pixels de l'images en un nombre limité de classe correspondant aux grands éléments structuraux de l'image, c'est établir une cartographie de l'image en s'appuyons sur les valeurs radio métriques des pixels on distingue:

\* les classifications non dirigés dans lesquelles on ne s'appuie pas a priori sur des informations concernant les objets classer.

\* les classifications dirigées s'appuient sur l'identification d'objets appelés \* sites témoins\* qui serviront de référence pour les autres pixels de l'image.

La classification se base principalement sur l'emploi des différentes méthodes mathématiques, et se fait selon deux approches :

- Approche numérique ou classification supervisée.
- Approche classique ou analyse visuelle

#### **4- 1- La classification supervisée :**

La classification supervisée est une opération qui regroupe les pixels en fonction de leur ressemblance spectrale, en respectant les seuils fixés par l'analyste.

Il existe plusieurs algorithmes de classifications, la classification par maximum de vraisemblance, la classification par distance minimale ou par la distance de MAHALANOBIS,...etc.

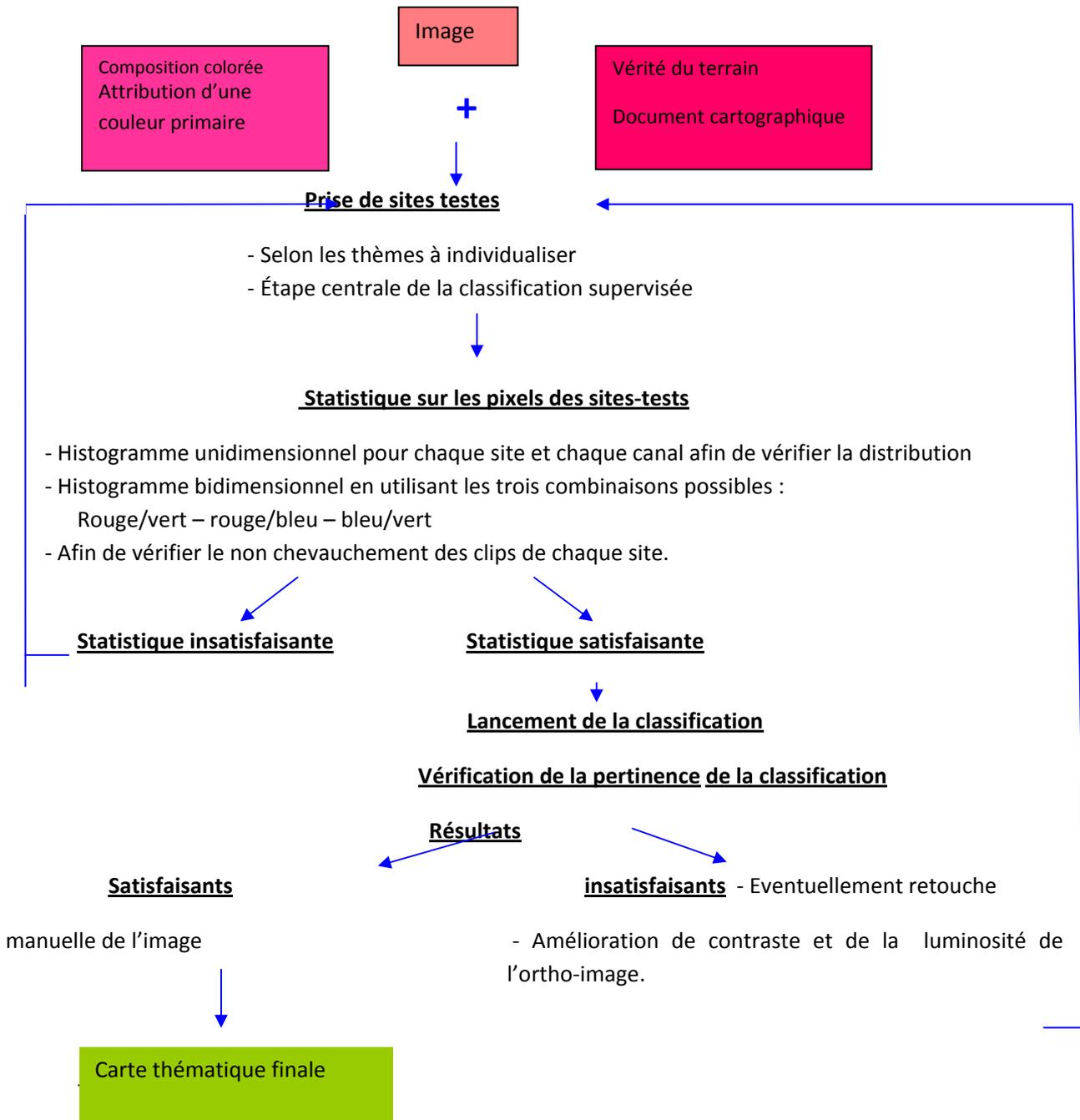
-Nous avons choisi la classification par maximum de vraisemblance, car c'est celle qui est la plus utilisée (GIRARD et GIRARD, 1999).

La classification par maximum de vraisemblance se base sur des méthodes probabilistes, le logiciel calcule la probabilité de chaque pixel de l'image d'appartenir à telle classe à partir des sites témoins définis sur l'image courante.

La totalité de l'image est ensuite classée sur la base de ces statistiques.

-Pour la réalisation de notre classification, nous avons identifié les classes ou les thèmes Sur l'image en suite, nous avons procédé à l'échantillonnage et enfin, nous avons choisi la méthode précédente : la classification selon le maximum de vraisemblance, le principe de cette méthode se base sur le calcul de probabilité d'appartenance à une classe, pour chaque pixel, par rapport à des centres des classes calculées sur l'ensemble des polygones qui constituent le noyau (GIRARD, 1999).

**4-1-1- Organigramme méthodologique de classification supervisée :**



#### 4-2 - Choix des zones d'entraînement :

Une trichromie choisie de type  $TM_4$ ,  $TM_3$  et  $TM_2$  munie d'une composition colorée R.V.B. des polygones d'apprentissage ont été déterminés d'après l'occupation des terrains (sortie sur terrain et le document cartographique), et chaque polygone correspond ainsi à une zone homogène, de valeurs radio métriques.

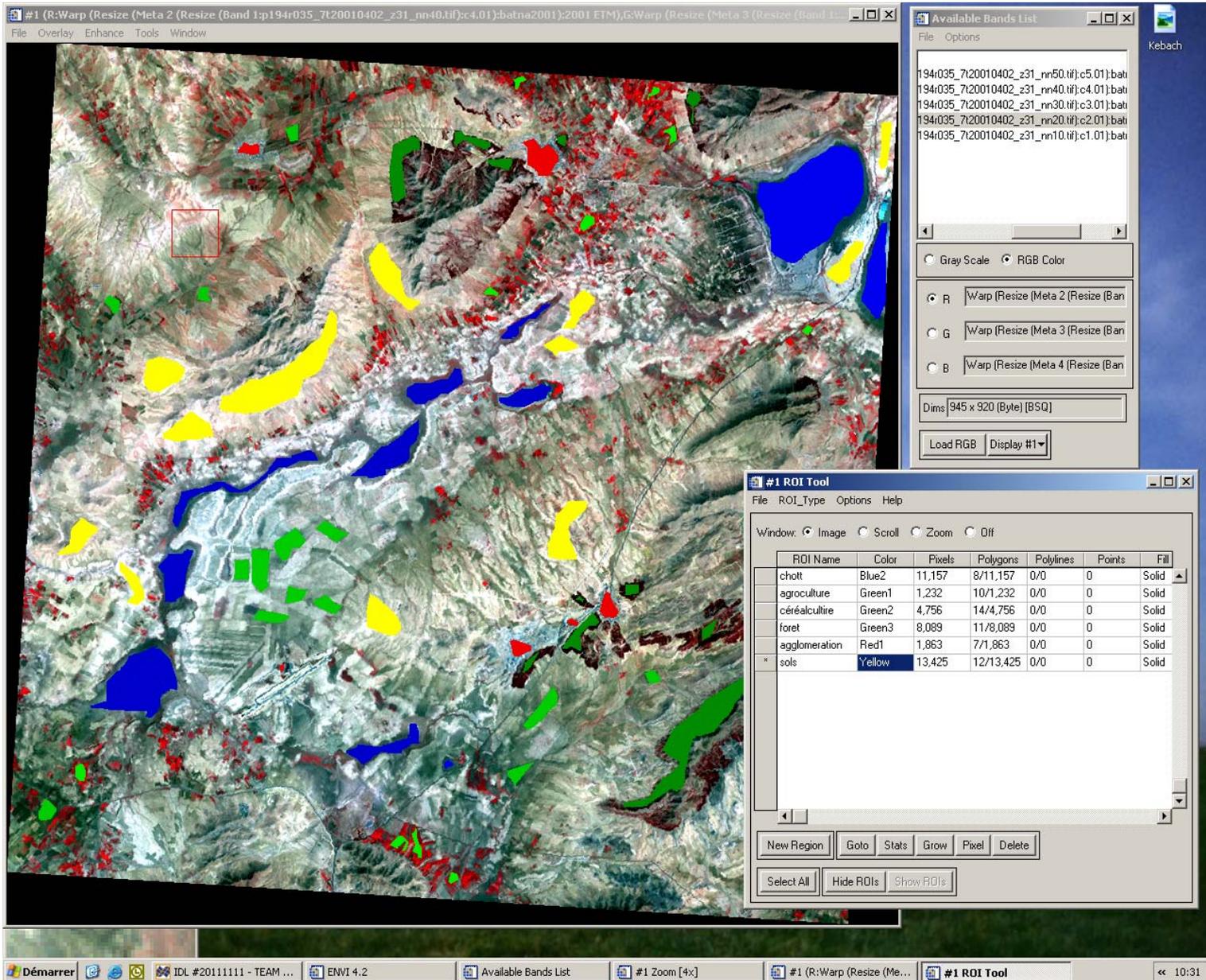
- Les échantillons doivent être localisés avec précision dans l'image.
- Les zones tests doivent contenir des pixels de valeurs radio métriques les plus homogènes possibles.
- Chaque zone test est définie par plusieurs polygones.
- Le nombre d'échantillons (zone et pixels) est suffisamment grand pour constituer une bonne approximation de la forme supposée de distribution des données.

Après la présentation de chaque thème par sa valeur radio métrique ou sa couleur:

- chotts et sebkhas en bleu.
- agriculture en vert claire.
- Céréaliculture en vert.
- Forêts en vert foncé.
- Agglomération en rouge.
- Sols en jaune.

La classification supervisée peut être lancée en appliquant la méthode statistique du maximum de vraisemblance. D'après le logiciel ENVI 4.2, qui permet de définir les zones tests par la fonction « région of interest ».

Fig. (57) : Sélection d'échantillons sous ENVI 4.2

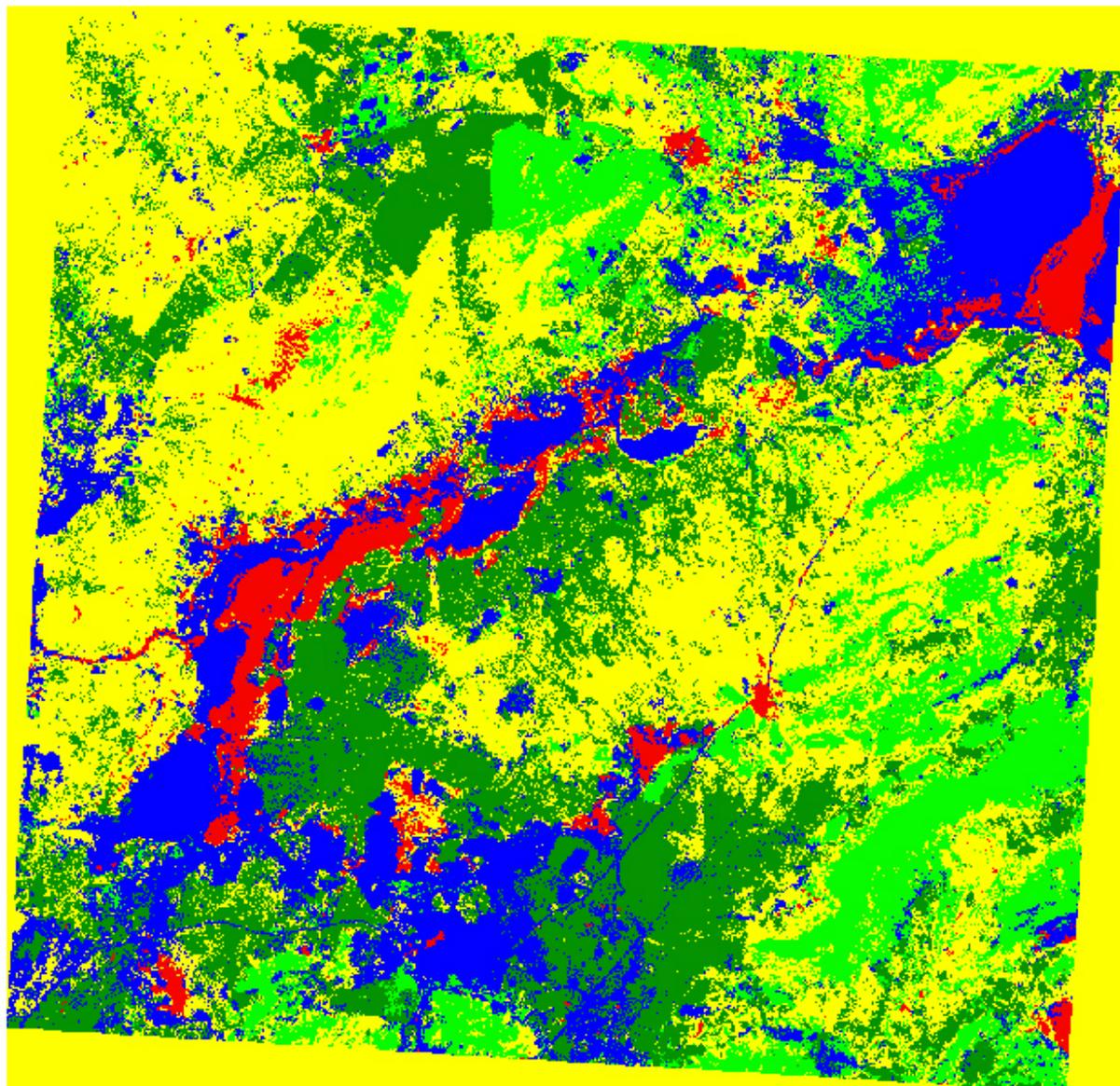


#### 4-3 - Application de l'algorithme de maximum de vraisemblance :

Elle consiste à affecter des pixels aux échantillons les plus proches selon la valeur radio métrique, elle est basée sur la probabilité qu'a un pixel d'appartenir à une classe donnée, cette distance est calculée entre le pixel à classer et chaque parcelle d'entraînement ; le résultat de la classification est illustré dans la suivante :

Fig. (58) :

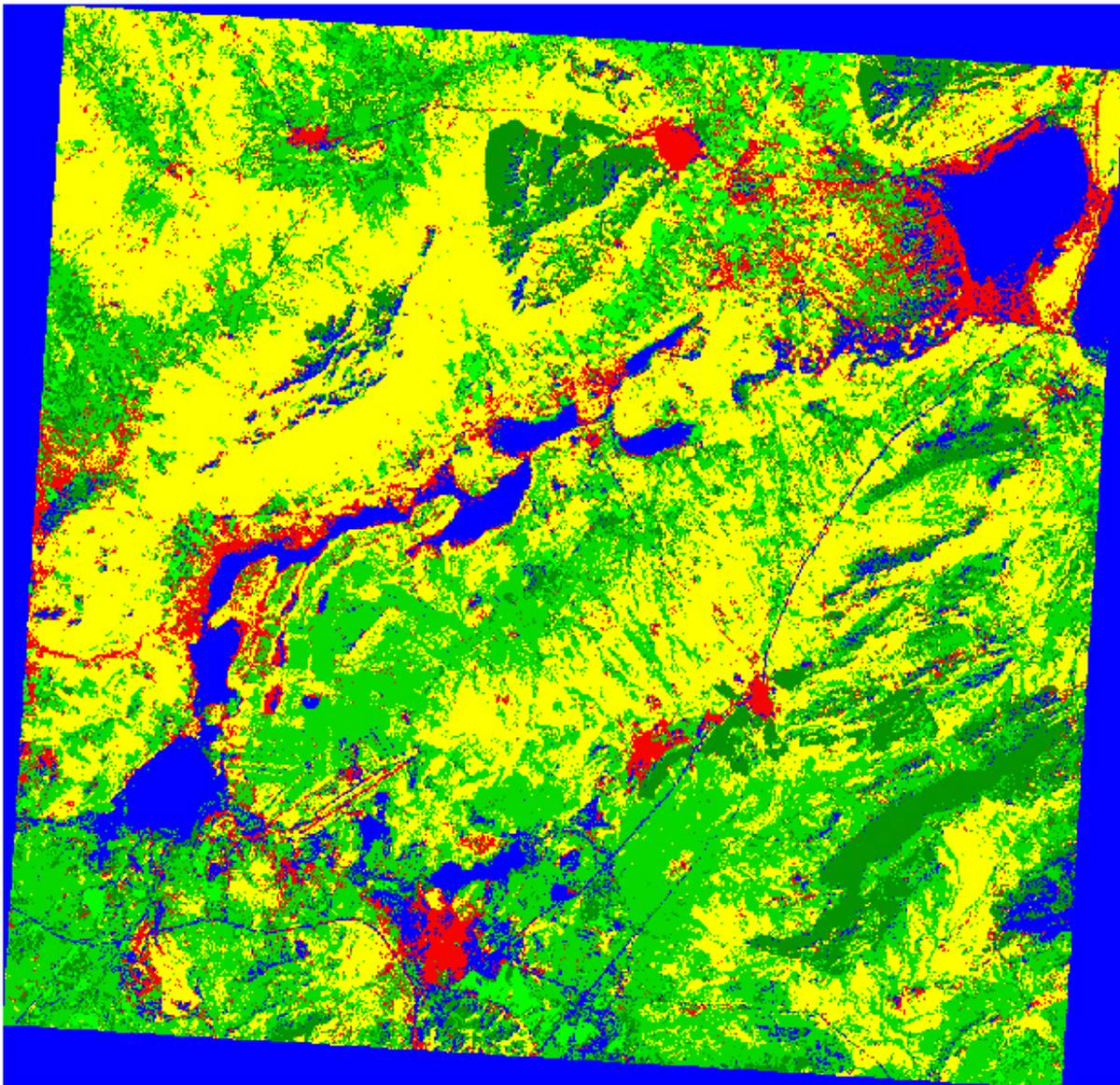
**LA CLASSIFICATION SUPERVISEE PAR MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE  
LANSAT 1987**



0 1.5 3 km

Fig. (59) :

**LA CLASSIFICATION SUPERVISEE PAR MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE  
LANSAT 2001**



0 1.5 3 km



la classification est une carte thématique ayant un aspect plus ou moins marqué par de nombreux thèmes isolés sous forme de patates de très petite taille jugés inutiles et négligeables sur le plans thématique.

- selon KNIPPEL 1995 certains de ces thèmes correspondent à un mélange de plusieurs types de terrain ou des pixels non classés, dont la classe thématique n'a pas pu être déterminée.

D'après les résultats nous constatons un certains confusions spectral entre certains thèmes choisis ; cas d'agglomération et la végétation steppique et cas d'agglomération et chotts et sebkha. À partir de la nous avons jugé nécessaire de compléter et de confirmer les résultats par la méthode classique (analyse visuelle).

#### **4 - 4- Classification classique (par analyse visuelle) :**

L'interprétation visuelle consiste à étudier les images dans leur extension spatiale. Les zones homogènes sont définies sur des critères de structure, de texture et d'environnement (GIRARD et GIRARD, 1975).

Cette méthode est certes ancienne, mais reste, à ce jour, la plus puissante si le thématicien jouit d'une longue expérience.

Le choix de cette méthode est expliqué par les raisons suivantes :

- La classification analogique est plus puissante que la classification numérique.
- Les informations recherchées sont rapidement repérées et bien délimitées par la classification analogique.
- Un document analogique vectorisé s'intègre naturellement avec un autre document.

L'inconvénient de l'approche classique est que les résultats sont subjectifs car dépendants du thématicien, et ne seraient donc pas parfaitement reproductibles.

L'interprétation de l'esquisse est entièrement reposée sur une analyse visuelle de l'espace géographique, représenté sur l'image.

En se basant sur la forme (texture, structure et teinte des objets), l'analyse visuelle de la composition colorée a permis de retrouver et d'extraire les grands thèmes familiers : massifs, forestiers, oueds, sebkhas et chotts, routes nationales, villes,...etc.), et cela grâce à des connaissances préalablement acquises sur terrain (cartes , recherche bibliographique....etc.) et précisément positionnées à l'aide de G.P.S .

Les limites des plages cartographiques ou des objets sont directement digitalisées ou vectorisées sur l'écran, d'après le logiciel ENVI.

En comparant et complété les résultats avec les résultats des méthodes précédentes (filtrage et classification supervisée) et avec le terrain, d'après les enquêtes sur terrain, nous constatons sur la base de cette analyse ou cette classification classique que :

Les zones vectorisées présentent approximativement la réalité du terrain ; C'est la méthode la plus facile et la plus précise, par contre, les autres méthodes de traitement géométrique par les filtres et traitement radio métrique par la classification supervisée, qui présente une certaine confusion entre les différents thèmes choisis ou les objets du terrain.

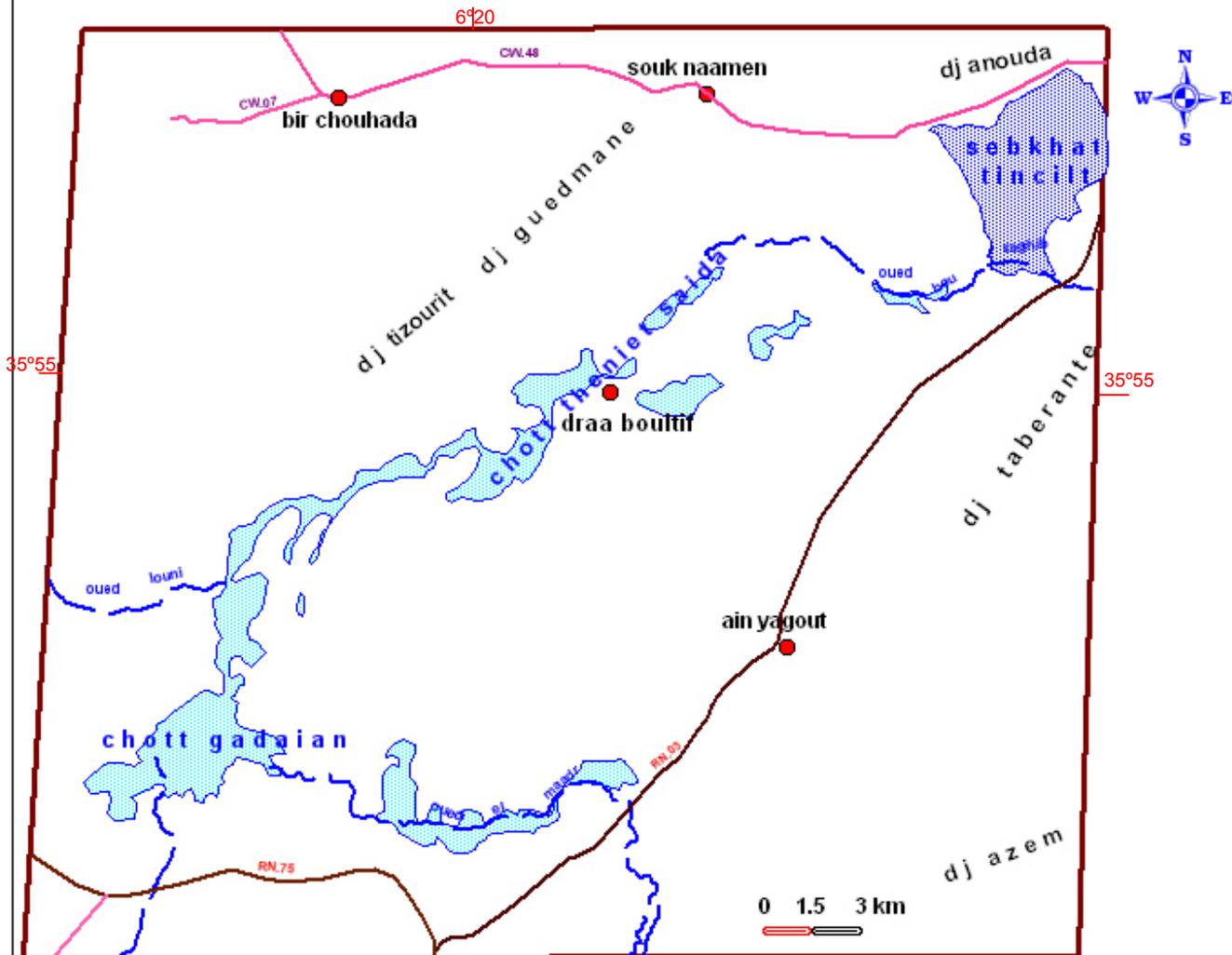
Les résultats sont des cartes d'occupation des sebkhas et des chotts selon des périodes avec une durée de 14 ans entre chaque image et image :

01/10/1973 : Fig. (60)

16/06/1987 : Fig. (61)

24/04/2001 :Fig. (62)

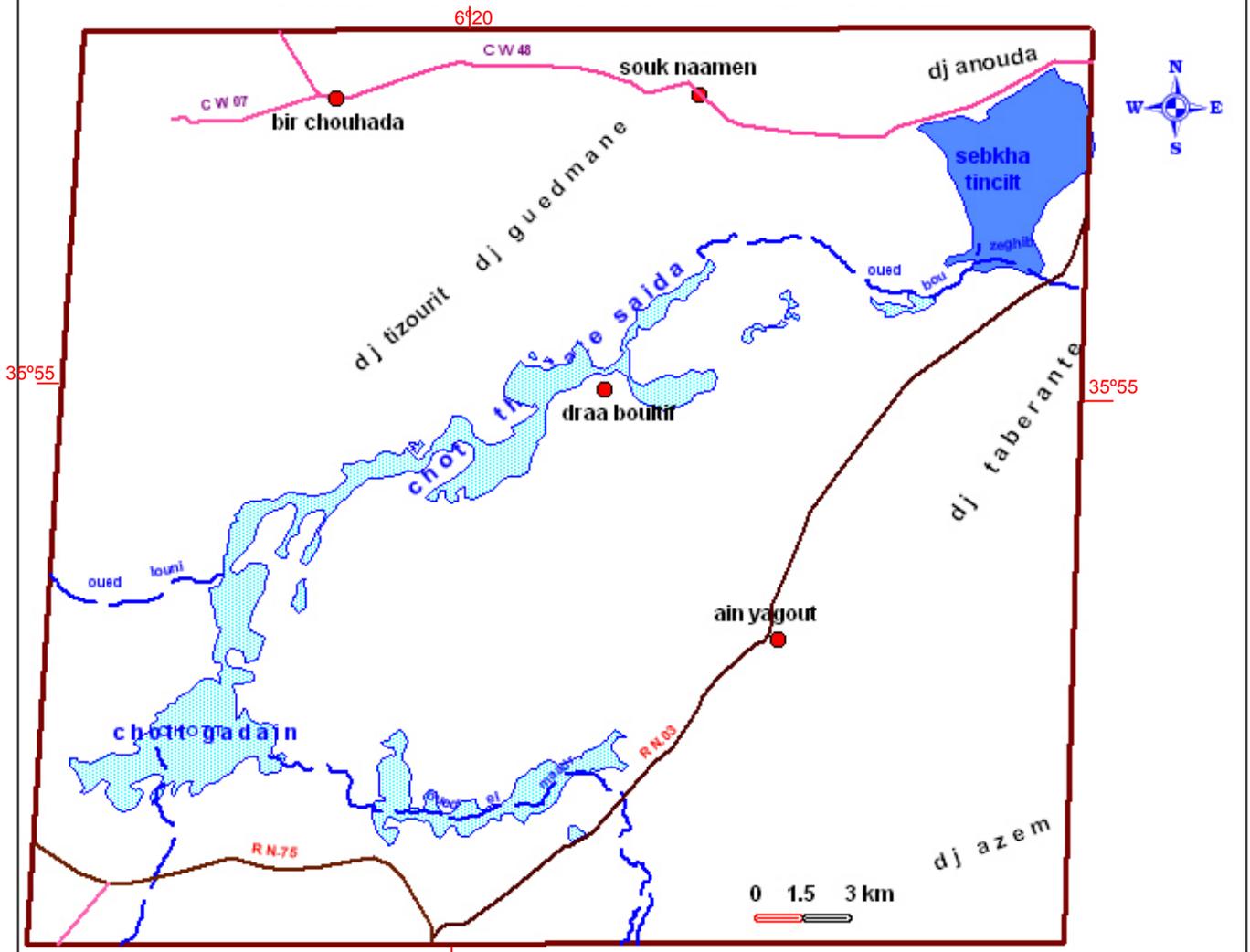
Fig. (60) : L'état des sebkhas et chotts en 1973



**LEGENDE**

- |  |   |
|--|---|
|  r.de wilaya    |  sebkha                |
|  r.nationale    |  chott                 |
|  oued principal |  agglomeration urabine |

Fig. (61) L'état des sebkhas et chotts en 1987

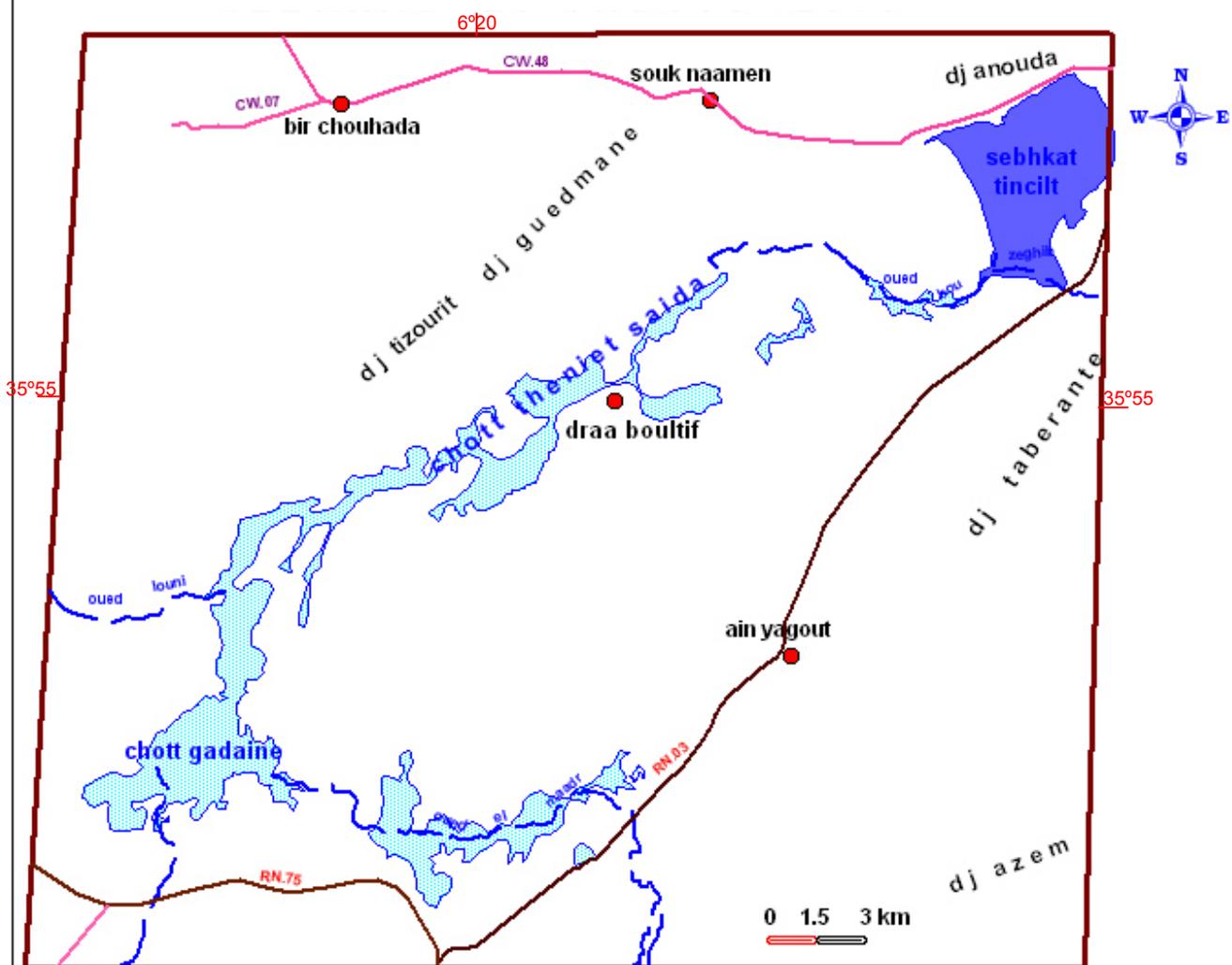


**LEGENDE**

- |  |   |
|--|---|
|  r.de wilaya    |  sebkha                |
|  r.nationale    |  chott                 |
|  oued principal |  agglomeration urabine |

Fig. (62)

### L'état des sebkhas et chotts en 2001



#### LEGENDE

- |  |  |
|--|--|
|  r.de wilaya    |  sebkha                 |
|  r.nationale    |  chott                  |
|  oued principal |  agglomeration ur abine |

## Quatrième partie

# analyse des résultats et zonage des risques

La superposition de ces cartes d'occupation des sebkhas et des chotts d'après le logiciel MAP INFO permet de connaître l'évolution, la dynamique et même de calculer la surface évoluée ou réduite en fonction des temps.

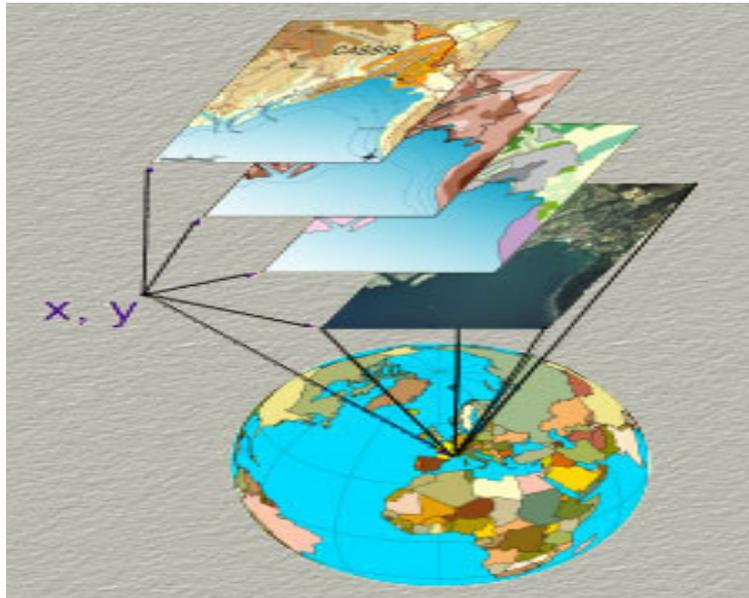


Fig. (63) : Exemple de la superposition des cartes

Les résultats sont portés dans le tableau suivant : Tableau (31) :

L'année	1973	1987	2001
La surface des chotts et des sebkhas (km <sup>2</sup> )	34.17	38.2	39.66
Taux d'accroissement %		11.79 %	13.14 %

On a remarqué que la surface des sebkhas et chotts est évoluée à 4.03 km<sup>2</sup> entre 1973 et 1987, donc avec une moyenne annuelle d'évolution de 0.28 km<sup>2</sup> chaque année, par contre la surface des sebkhas et des chotts est évoluée à 1.46 km<sup>2</sup> entre 1987 et 2001, avec une moyenne annuelle de 0.1 km<sup>2</sup> chaque année.

De point de vue risque, deux types de risques naturels sont associés à l'évolution ou la dynamique de ses sebkhas et chotts ; le risque d'inondation et le risque de désertification par salinisation des sols.

Selon une enquête effectuée sur le terrain au près de la population surtout au près des personnes âgées et d'après les caractéristique précédentes de la zone d'étude : (topographiques , climatiques , hydro morphologiques....) cette zone endoréique considérée comme un espace à risque d' inondation sur tout avec la localisation et l' implantation actuelle des enjeux socio-économique

Les inondations se produisent d'une part ; par suite aux violentes précipitations et averses sur des bassins versant montagneux dont l'aptitude aux écoulements est élevée et d'autre part par la remontée lente et progressive du niveau d'eau dans les sebkhas. Par ailleurs la concentration des installations et des activités humaines fait augmenter considérablement le niveau de vulnérabilité .Certaines de ces inondations est tristement marquées dans la mémoire des populations des villages de **souk naamane** (novembre 2005) et de **chaker khalifa** à l'est de souk naamane (25 avril 2006)

Cette dernière à causé des dégâts énormes (les domiciles sont entièrement inondés), a cet égard, on a assisté a une intervention intense de des secours qui avait demandé l'utilisation des Hélicoptères et le déplacement de plus de 70 familles vers le village de El Kouadria (souk Naamane)

D'après la superpositions cartographique a l'aide de MAP INFO :

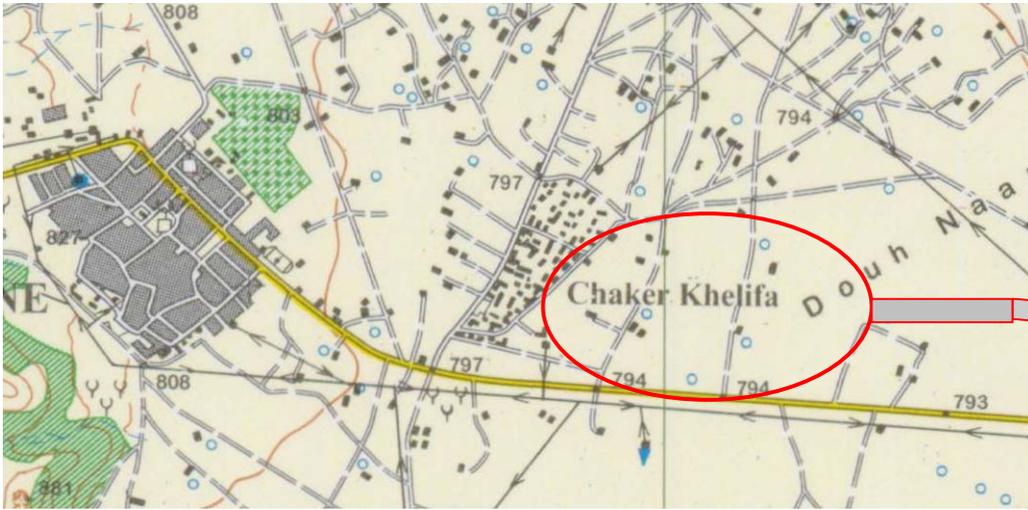
- carte des pentes et hypsométrie
- carte de réseau hydrographique, sebkhas et chotts
- carte des enjeux socio économique

Et a l'aide d'enquête effectuée sur le terrain on à propose la carte du zonage du risque d'inondation dans cette région et on à confronter les résultats avec la réalité de terrain d'après le MNT et les 3D. Ainsi les degrés de risque sont perçus en fonction des classes suivantes :

Nous déterminons les degrés de risque en fonction des classes suivantes :

- première degré : (rouge) zones à risque fort
- deuxième degré : (orange) zones à risque
- troisième degré : (jaune) zones à risque faible
- quatrième degré : (vert) zones à risque pratiquement nul

Fig. (64) :L'INONDATION DU VILLAGE - CHAKER KHALIFA - 25 AVRIL 2006



Village de Chaker Khalifa à l'est de souk Naamane trace de la dernière crue

La même procédure pour la carte de zonage du risque de désertification par salinisation des sols dans cette région, le risque qui pose avec une acuité de plus en plus grande.

Selon une enquête effectuée sur terrain au près de la population, les problèmes de sol ont augmenté ces dernières décades avec l'extension et la dynamique des sebkhas et des chotts (en moyenne de 0.2 km<sup>2</sup> par année d'après les résultats d'étude ) et par l'utilisation de l'eau saline de la nappe phréatique proche de la surface pour certaine cultures épisodique , tels que l' orage et le tabac près de Sebkha TANSILTE ou printemps et en été , a entraîné de sérieux problème de dégradation des sols dans cette région endoréique de faible pente , la remontée de la nappe à cause de ce mouvement ascendant et de l'absence d'un système de drainage ; les aires d'extensions deviennent plus en plus salines.

La salinité du sol et fortement liée à la texture du sol, elle diminue notamment dans les terrains sableux par contre on remarque que la salinité croit lorsque l'on se déplace vers sebkhas et chotts avec l'augmentation des teneurs en argile et en limons fins des sédiments qui charrient les cours d'eau des bassins versants qu'ils déposent naturellement dans les régions basses.

L'intervention humain par l'exploitation des gypses et des sels et /ou par la mal construction des pistes et routes accélère le phénomène de salinisation des sols, soit par l'augmentation directe de teneur en sel et de gypse dans le sol, ou indirect par création des petits barrages qui stagnent les écoulements de surface et conduisent à l'augmentation des minéraux d'après l'évaporation des surfaces.

La présence de pseudo sable sur les bourrelets qui entourent les sebkhas, sont des dépôts éoliens (un mélange d'argile et de sel dans l'épaisseur varie entre 0-10 cm) disposés en lunettes sur les périphéries de sebkhas montre l'influence du facteur vents dans cette région .surtout observable pendant l'été, quand la texture des sols devient meuble, les vents déblayent facilement la couche supérieure du sol, la fréquence du creusement fait apparaître petit à petit la roche mère.

En hiver, les ruissellements chargés de pseudo sable accumulés pendant les mois d'été resituent ces derniers à leurs sites d'origine.

Fig. (65) : ZONAGE DU NIVEAU DE RISQUE D'INONDATION

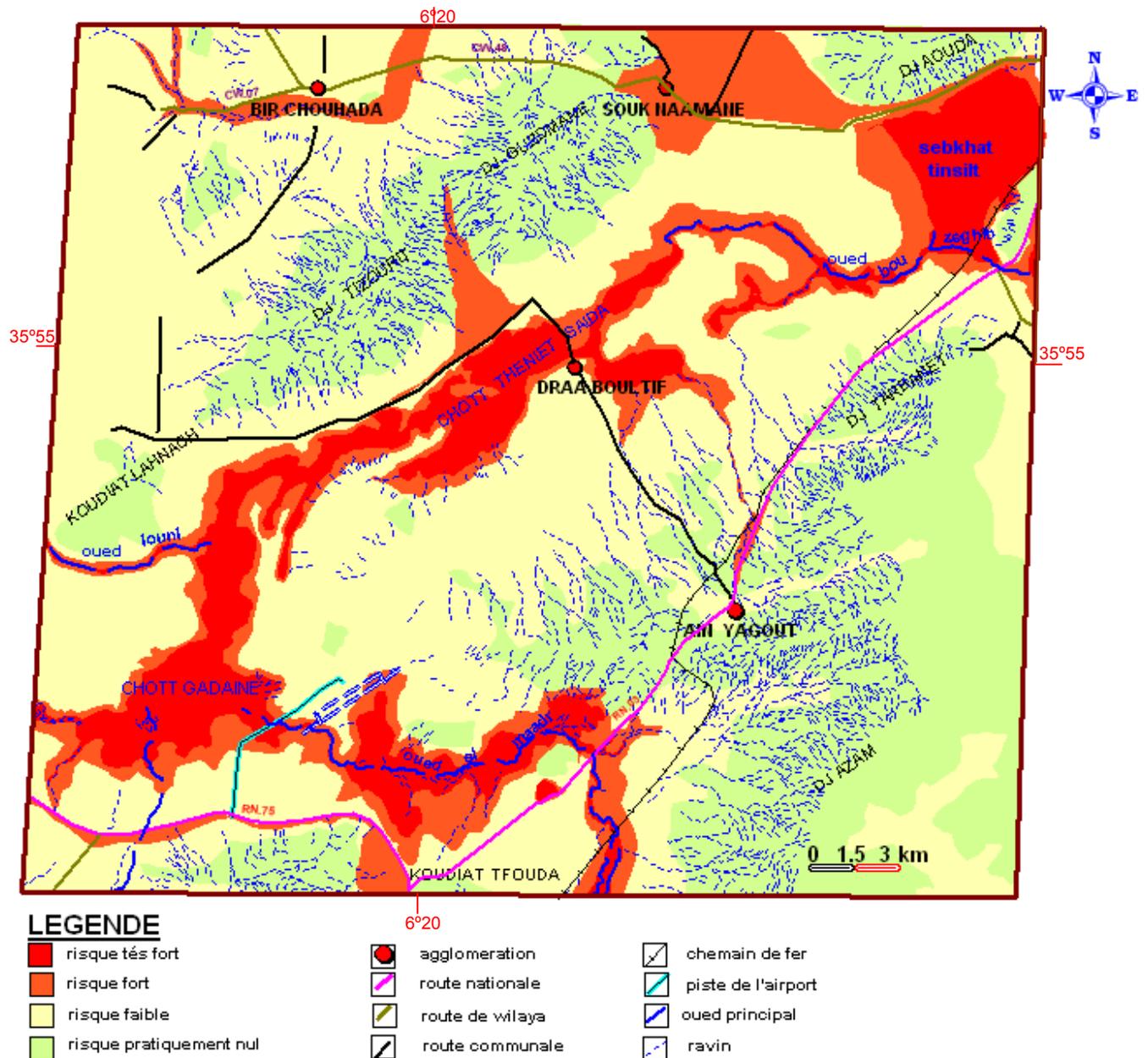
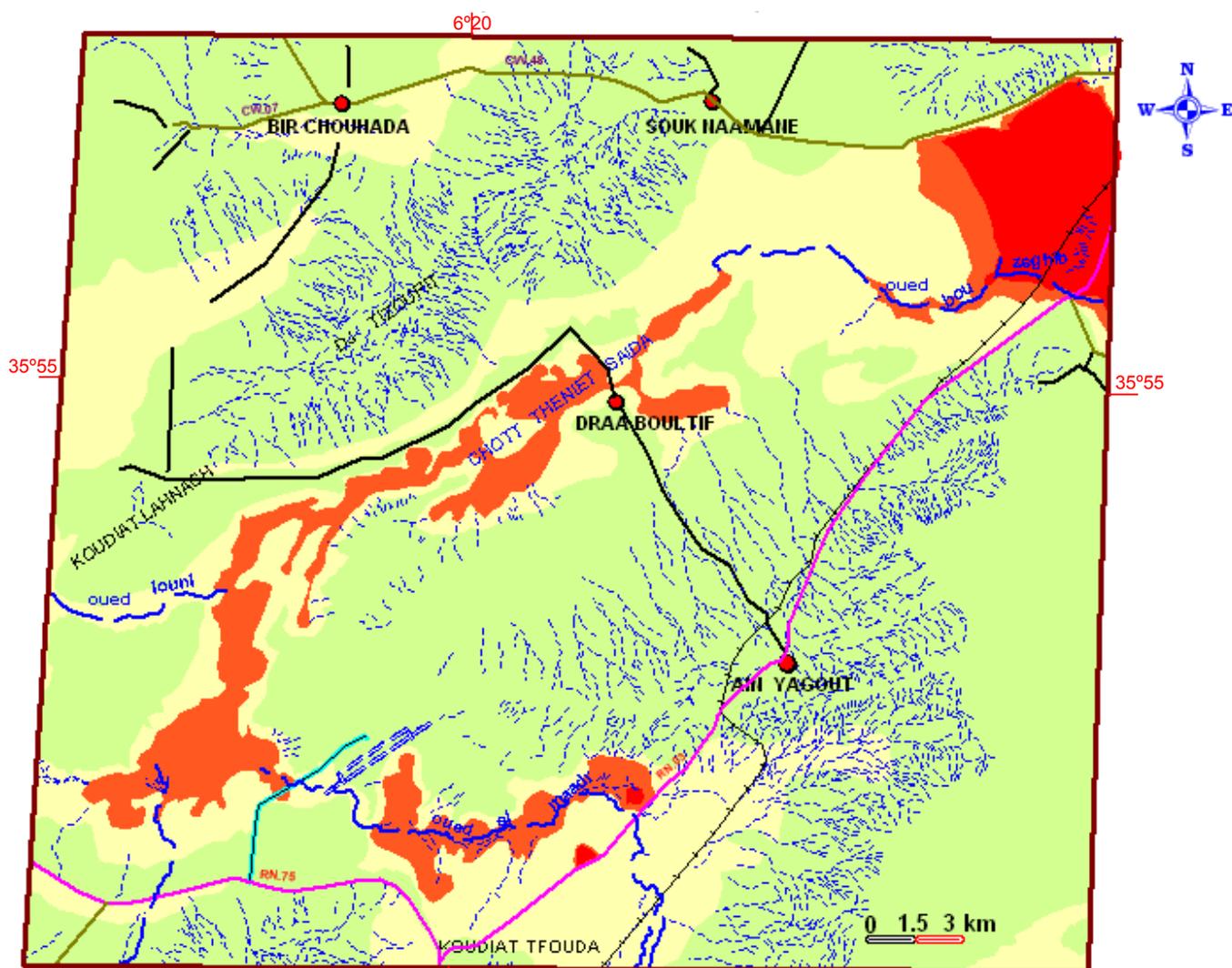


Fig. (66) : ZONAGE DU NIVEAU DE RISQUE DE DESERTIFICATION

(Salinisation des sols)



**LEGENDE**

- risque très fort
- risque fort
- risque faible
- risque pratiquement nul

- agglomération
- route nationale
- route de wilaya
- route communale

- chemin de fer
- piste de l'airport
- oued principal
- ravin

# conclusion générale

## Conclusion générale

Les zones endoréiques connaissent une extension importante en Algérie notamment dans la région des hauts plateaux, elles sont caractérisées par une hydrologie et une morpho dynamique particulière, ce sont de véritables réceptacles d'apport liquides et solides, ces dépressions fermées sont souvent le siège d'activité humaine importante, raison pour laquelle elles constituent des espaces hautement vulnérables.

La région des sebkhas située en aval de Batna entre Zana et Medghessen connaît une extension et un développement continu des sebkhas et chotts. Celle-ci reçoit l'ensemble des écoulements provenant des reliefs environnants eu égard de sa situation de niveau de base local.

Par ailleurs l'installation d'une zone aéroportuaire et des axes routiers structurants a libéré une dynamique de socialisation rapide et continue, mais surtout mal contrôlée. Cette anthropisation est la cause de profondes mutations de ces espaces endoréiques et qui s'exprime par une situation cinématique hautement vulnérable, qui peut prendre la forme de risques naturels majeurs.

En effet l'analyse des variables hydro pluviométriques et la caractérisation physique des différents bassins hydrographiques alimentant cette dépression a montré une grande aptitude aux écoulements ainsi que des apports récurrentiels pouvant provoquer un niveau de risque élevé voir catastrophique.

L'analyse et l'évaluation du risque d'inondation ainsi que du risque de dégradation environnementale par la salinisation des sols passe forcément par la connaissance de la dynamique des sebkhas et des chotts et leur évolutions spatio temporelle. Une telle approche ne peut se réaliser qu'avec l'aide des outils de géomatique en l'occurrence l'apport de la télédétection qui constitue une source d'information très puissante et surtout synchrone.

Nous avons utilisé à ce titre des images du satellite américain LANDSAT sur plusieurs années afin de suivre l'évolution cinématique de la dynamique des sebkhas et chotts ainsi que l'état d'occupation des sols qui a été traduite par une carte des enjeux socio économiques.

En fin la conjugaison de l'ampleur des aléas et celle des enjeux socio économiques nous a permis de définir un gradient du niveau de risque sur le plan spatial.

Nous estimons que les résultats de ce travail pourront constituer un document d'aide à la décision en terme de prévention, de prévision voir de protection des espaces endoréiques contre les risques naturels.

## Liste des tableaux

	Page
Tableau (1) : Les satellites- Landsat.....	23
Tableau (2) : Répartition altimétrique de la région d'étude. ....	31
Tableau (3) : La répartition superficies /pentes de la région km et %. ....	38
Tableau (4) : La répartition annuelle des précipitations dans la station d'Ain Skhouna (1971-2006). ....	51
Tableau (5) : La répartition saisonnière des précipitations. Station d'Ain Skhouna (1988-2006). ....	51
Tableau (6) : La répartition mensuelle des précipitations. Station Ain Skhouna (1971-2006). ....	53
Tableau (7) : Nombre des mois où la pluviosité est inférieure à la moyenne mensuelle (Station Ain skhouna 1971-2006). ....	54
Tableau (8) : Température moyenne mensuelle (Station d'Ain Skhouna 1971-2006). ....	55
Tableau (9) : La gelée blanche. Moyenne mensuelle. Station d'Ain Skhouna (1988-2006). ....	56
Tableau (10) : La neige. Moyenne mensuelle. Station d'Ain Skhouna (1988-2006). ....	56
Tableau (11) : La répartition moyenne mensuelle d'humidité relative ....	56
Tableau (12) : Moyenne mensuelle de vitesse de vent en m/s de 1971 à 2006. ....	57
Tableau (13) : Moyenne mensuelle d'insolation en heures de 1971-2005. ....	58
Tableau (14) : Evaporation moyenne mensuelle (Ain Skhouna 1988-2006). ....	60
Tableau (15) : Calcul l'indice thermique mensuel (Ain Skhouna). ....	66
Tableau (16) : Calcul de l'ETP selon THORNTHWAITE à la station D'Ain Skhouna (1971-2006). ....	66
Tableau (17) : Tableau du calcule des paramètres du bilan hydrique selon THORNTHWAITE (Ain Skhouna) ....	72
Tableau (18) : Tableau récapitulatif du calcul des valeurs de l'évapotranspiration réelle D'après les différentes méthodes. ....	73
Tableau (19) : Tableau récapitulatif du calcul des valeurs des paramètres du bilan hydrique	

THORNTHWAITE pour la station d'Ain Skhouna. ....	73
Tableau (20) : Ajustement à une loi de gauss. ....	76
Tableau (21) : Test de X2. ....	78
Tableau (22) : Tableau des précipitations fréquentielles. ....	79
Tableau (23) : Tableau des pluies journalières et leurs fréquences (station Ain Skhouna). ....	80
Tableau (24) : Tableau des pluies journalières (P j max) fréquentielle. ....	81
Tableau (25) : Les valeurs de coefficient de ruissellement en fonction de la fréquence (SOGREAH 1986). ....	82
Tableau (26) : Tableau des débits max fréquentsiels. ....	83
Tableau (27) : L' hydro gramme des crues. ....	84
Tableau (28) : Les caractéristiques des images satellitaires utilisées. ....	91
Tableau (29) : les bandes de la scène TM. ....	92
Tableau (30) : Résidus, erreurs RMS et contribution des points d'appui. ....	97
Tableau (31) : Tableau des résultats. ....	123

## Liste des figures

	Page
Fig. (01) : L'exploitation des gypses – Ouled Zaoui – près de sebkha Tinsilt.....	04
Fig. (02) : Le niveau de base locale - Sebkhha Tinsilt - .....	05
Fig. (03) : La rupture de pente. ....	07
Fig. (04) : La formation d'une néo-sebkha d'après l'intervention humain (construction d'une route *Batna—Sétif). ....	09
Fig. (05) : La formation d'une néo-sebkha d'après l'intervention humaine (Exploitation des argiles).....	10
Fig. (06) : Affleurement gypseux - Ouled Zaoui –.....	11
Fig. (07) : Contacte d'un dôme de gypse avec sebkha- sebkha Tinsilt-.....	11
Fig. (08) : Les crues fluviales en plaine. ....	14
Fig. (09) : Le système télédétection.....	16
Fig. (10) : Le spectre électromagnétique. ....	17
Fig. (11) : Le visible.....	18
Fig. (12) : La diffusion. ....	19
Fig. (13) : Signature spectrales typiques des principales unités de paysage. ....	21
Fig. (14) : localisation de la zone d'étude d'après une image satellitaire.....	26
Fig. (15) : les grands bassins versants de l'Algérie. ....	27
Fig. (16) : les sous bassins des hauts plateaux constantinois. ....	28
Fig. (17) : Un couvert végétal steppique et halophyte. ....	29
Fig. (18) : carte des enjeux socio-économiques. ....	30
Fig. (19) : la courbe hypsométrique. ....	32
Fig. (20) : carte hypsométrique. ....	33
Fig. (21) : vue en 3D de la zone d'étude.....	36
Fig. (22) : modèle numérique de terrain.....	37

Fig. (23) : répartition surface/pente.....	39
Fig. (24) : carte des pentes.....	40
Fig. (25) : carte géologique.....	44
Fig. (26) : schéma structural simplifié.....	46
Fig. (27) : les coupes géologiques.....	47
Fig. (28) : le réseau hydrographique.....	49
Fig. (29) : La répartition saisonnière des précipitations. Station d'Ain Skhoua (1988-2006).....	52
Fig. (30) : courbe de la répartition mensuelle des précipitations. Station Ain Skhoua (1971-2006).....	53
Fig. (31) : histogramme de La répartition mensuelle des précipitations. Station Ain Skhoua (1971-2006).....	54
Fig. (32) : Températures moyenne mensuelle (Station d'Ain Skhoua 1971-2006).....	55
Fig. (33) : histogramme d'Humidité relative moyenne mensuelle (%) Station Ain Skhoua (1971-2006).....	57
Fig. (34) : histogramme Moyenne mensuelle de vitesse de vent en m/s de 1971 à 2006.....	58
Fig. (35) : histogramme Moyenne mensuelle d'insolation en heures de 1971-2005.....	59
Fig. (36) : courbe d'évaporation moyenne mensuelle (Ain Skhoua 1988-2006).....	61
Fig. (37) : diagramme ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS Station Ain Skhoua (1971-2006).....	62
Fig. (38) : Climagramme de L. EMBERGER.....	64
Fig. (39) : évaluation de l'écoulement et du déficit en fonction de la température moyenne et de la précipitation.....	69
Fig. (40) : abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie.....	70
Fig. (41) : graphe du bilan hydrique THORNTHWAITE.....	74
Fig. (42) : Ajustement a une loi normale.....	77
Fig. (43) : Ajustement a une loi de Gumbel.....	81

Fig. (44) : L'hydro gramme des crues .....	86
Fig. (45) : Mosaïcage des cartes topographiques.....	89
Fig. (46) : Le choix des images .....	90
Fig. (47) : La rectification sous ENVI (image to image) .....	96
Fig. (48) : application de L'indice de végétation NDVI. ....	100
Fig. (49) : application du filtrage convolutions high pass 3*3. ....	102
Fig. (50) : application du filtrage convolutions low pass 3*3 .....	103
Fig. (51) : application du filtrage convolutions laplacian 3*3. ....	104
Fig. (52) : application du filtrage texture/occurrence- variance. ....	105
Fig. (53) : application du filtrage texture/ Co -occurrence- variance. ....	106
Fig. (54) : image LANDSAT1973. ....	108
Fig. (55) : image LANDSAT1987. ....	109
Fig. (56) : image LANDSAT2001. ....	110
Fig. (57) : sélection d'échantillon sous ENVI. ....	115
Fig. (58) : La classification supervisée par maximum de vraisemblance 1987.....	116
Fig. (59) : La classification supervisée par maximum de vraisemblance2001.....	117
Fig. (60) :l'état des sebkhas et chotts en 1973 .....	120
Fig. (61) :l'état des sebkhas et chotts en 1987 .....	121
Fig. (62) :l'état des sebkhas et chotts en 2001 .....	122
Fig. (63) : Exemple de la superposition des cartes.....	123
Fig. (64) : l'inondation de village –Chaker Khalifa- 25avril2006.....	125
Fig. (65) : zonage du niveau de risque d'inondation.....	127
Fig. (66) : zonage du niveau de risque de désertification (salinisation des sols).....	128

# bibliographie

## Bibliographie

- AISSAOUI Z.E. (2006) approche SIG dans l'étude d'une néoformation d'une sebkha dans le piémont nord des Aurès ; mémoire d'ingénieur, université de Batna.
- ALAIN F et JEAN F.R. (1984) dictionnaire de géologie ; massons paris.
- ANDREE D et RENE D. (1999) les risques naturels ; presses universitaire de France.
- BABA A.B et TOUATI B. (1992) rapport de la télédétection satellitaire a l'étude d'une zone steppique ; mémoire d'ingénieur, USTHB Alger.
- BALLA N. (2005) aptitude aux écoulements dans l'impluvium de ville de Batna et les problèmes d'inondation ; mémoire de magister, université de Batna.
- BELLOULA L. (2004) contribution a l'étude hydrogéologique et modélisation du plain Gadaine - Ain Yagout ; mémoire de magister, université de Batna.
- BEN AZZOUZ M.T. (1986) recherche géomorphologiques dans les hautes plaines de l'est algérien : la sebkha Tarf (Algérie) ; thèse doctorat, université de paris 1 Sorbonne. France
- BOUHATA R et MENZER A. (2005) aptitude aux écoulements du bassin khalidj Sakheri et faisabilité d'ouvrage d'emmagasinement ; mémoire d'ingénieur, université de Batna.
- DENIS LAMERRE, les risques lies au climat ; édition universitaires de Dijon.
- DRIDI HADDA .cours de géomorphologie. Université de Batna.
- FERDINAND B. (1996) précis de télédétection (volume 2) ; presses de l'université de Québec.
- FERNAND JOLY. Glossaire de géomorphologie –base de donnés sémiologiques pour cartographie ; Armand colin.
- GHEZAZ YASIN. (2005) synthèse bibliographique sur les apports de la télédétection en géomorphologie, cas des données de NOAA, AVHRR ; mémoire d'ingénieur, USTHB Alger.
- GIRARD M.C. Traitement des données de télédétection.
- GUETTOUCHE M.S. (2006) cours de télédétection. USTHB Alger
- JANNICK B et JEAN M.F (2001) guide d'utilisation d'ENVI 3.4 fonctionnalités et applications thématiques.
- KALLA M .cours d'hydrologie. Université de Batna.

- marc cote. (1981) mutation rurales en Algérie /le cas des hautes plaines de l'est ; office des publications universitaires.
- MARC –ROBIN. (1998) la télédétection ; édition Nathan, paris.
- MENANI M.R. (2004) projet de recherche / étude du cycle global plaines d'El Madher et Gadaine.
- MERZAG M. (2006) application de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG) à la gestion du couvert végétal steppique appliqué sur la zone de Messaad –Ain El ibel ; mémoire de magister, USTHB Alger.
- OUKIL Y. (2006) intégration des données physiques et socio-économiques dans un SIG pour la gestion des parcours steppiques cas de la wilaya de Djelfa ; mémoire de magister, USTHB Alger.
- SARI A. (2002) l'hydrologie de surface ; édition Houma, Alger.

#### **Documentation cartographique :**

- Carte topographique de : Souk Naamane (est et oust) / 1/50 000.
- Carte topographique de : Batna (est et oust) / 1/50 000.
- Carte géologique de Boughzel 145 et sa notice explicative, 1/50 000.
- Carte géologique de Ain yagout 146 et sa notice explicative, 1/50 000.
- Carte géologique de Ain el ksar 173 et sa notice explicative, 1/50 000.

#### **Sites internet :**

- [http://www .arehn.ass.fr/soleteau/accueil.htm#p3](http://www.arehn.ass.fr/soleteau/accueil.htm#p3).
- [http://geophiles.net /reporterre/dossiers/risk\\_net/sommaire.html](http://geophiles.net/reporterre/dossiers/risk_net/sommaire.html).
- [http://www .prim.net/citoyen/definition\\_risque\\_majeur/21\\_4\\_risq\\_inondation.html](http://www.prim.net/citoyen/definition_risque_majeur/21_4_risq_inondation.html).
- <http://osfac.umd.edu/data/landsat/index.htm>.
- <http://www.landsat.com>.
- [http://www.educnet .education .fr /orbito/system/landsat/landoo.htm](http://www.educnet.education.fr/orbito/system/landsat/landoo.htm).

annexe

DURÉE MOYENNE POSSIBLE D'ENSOLEILLEMENT

N. Lac.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.96
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.89	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.90	.85	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.96	.84	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.83	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
S. Lac.												
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30	1.20	1.03	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

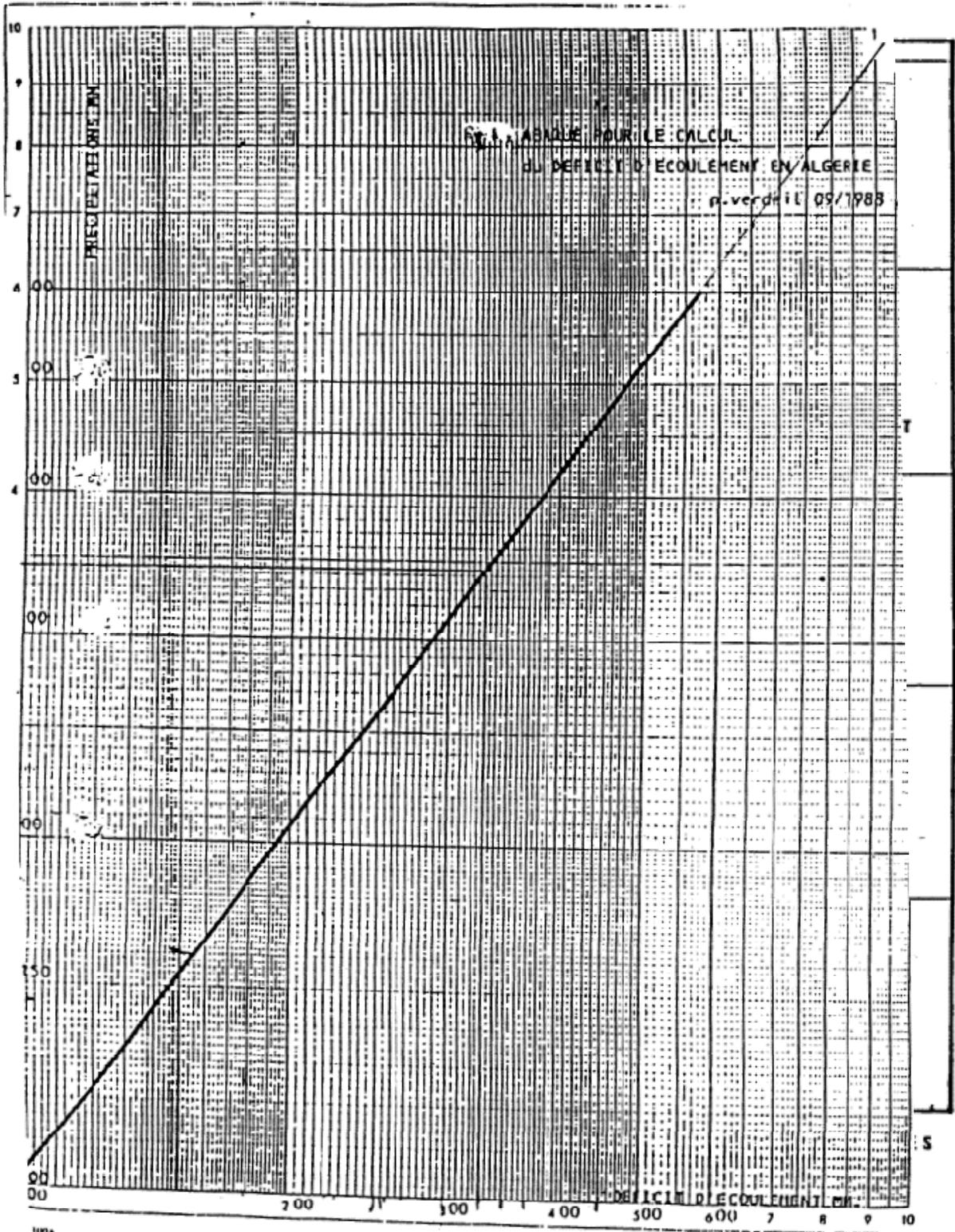


Fig. 3.9 Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en ALGERIE p. Verdeil 09/1988



# ANNEXE 1

TABLE DE LA LOI



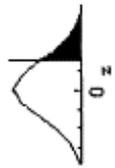
z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-3	0.00135	0.00097	0.00069	0.00048	0.00034	0.00023	0.00016	0.00011	7.2E-05	4.8E-05
-2.9	0.00187	0.00118	0.00075	0.00050	0.00034	0.00023	0.00016	0.00011	7.2E-05	4.8E-05
-2.8	0.00256	0.00156	0.00100	0.00064	0.00042	0.00028	0.00019	0.00013	8.5E-05	5.5E-05
-2.7	0.00347	0.00215	0.00136	0.00087	0.00056	0.00037	0.00025	0.00017	0.00011	7.2E-05
-2.6	0.00466	0.00285	0.00174	0.00110	0.00070	0.00046	0.00030	0.00020	0.00013	8.5E-05
-2.5	0.00621	0.00375	0.00228	0.00141	0.00091	0.00058	0.00038	0.00025	0.00016	0.00011
-2.4	0.0082	0.00498	0.00297	0.00174	0.00108	0.00068	0.00044	0.00029	0.00018	0.00012
-2.3	0.01072	0.00643	0.00391	0.00228	0.00137	0.00084	0.00054	0.00034	0.00022	0.00014
-2.2	0.0139	0.00843	0.00499	0.00297	0.00174	0.00108	0.00068	0.00044	0.00029	0.00018
-2.1	0.01786	0.01093	0.00643	0.00391	0.00228	0.00137	0.00084	0.00054	0.00034	0.00022
-2	0.02275	0.01355	0.00786	0.00466	0.00274	0.00161	0.00097	0.00060	0.00038	0.00024
-1.9	0.02872	0.01677	0.00987	0.00594	0.00344	0.00205	0.00125	0.00076	0.00048	0.00030
-1.8	0.03593	0.02071	0.01255	0.00755	0.00454	0.00274	0.00161	0.00097	0.00060	0.00038
-1.7	0.04457	0.02539	0.01543	0.00908	0.00544	0.00321	0.00194	0.00116	0.00070	0.00044
-1.6	0.0548	0.03091	0.01843	0.01093	0.00664	0.00391	0.00230	0.00137	0.00084	0.00050
-1.5	0.0668	0.03745	0.02239	0.01307	0.00764	0.00434	0.00253	0.00150	0.00091	0.00056
-1.4	0.08076	0.04511	0.02743	0.01543	0.00891	0.00500	0.00285	0.00174	0.00110	0.00064
-1.3	0.0968	0.05401	0.03287	0.01843	0.01093	0.00634	0.00344	0.00205	0.00125	0.00076
-1.2	0.11507	0.06406	0.03914	0.02239	0.01307	0.00764	0.00434	0.00253	0.00150	0.00091
-1.1	0.13567	0.07590	0.04599	0.02743	0.01543	0.00891	0.00500	0.00285	0.00174	0.00110
-1	0.15866	0.09059	0.05401	0.03287	0.01843	0.01093	0.00634	0.00344	0.00205	0.00125
-0.9	0.18406	0.10765	0.06344	0.03914	0.02239	0.01307	0.00764	0.00434	0.00253	0.00150
-0.8	0.21186	0.12714	0.07590	0.04599	0.02743	0.01543	0.00891	0.00500	0.00285	0.00174
-0.7	0.24196	0.14825	0.08786	0.05401	0.03287	0.01843	0.01093	0.00634	0.00344	0.00205
-0.6	0.27425	0.17144	0.10227	0.06344	0.03914	0.02239	0.01307	0.00764	0.00434	0.00253
-0.5	0.30854	0.19611	0.11825	0.07590	0.04599	0.02743	0.01543	0.00891	0.00500	0.00285
-0.4	0.34458	0.22239	0.13567	0.08786	0.05401	0.03287	0.01843	0.01093	0.00634	0.00344
-0.3	0.38209	0.25091	0.15483	0.10227	0.06344	0.03914	0.02239	0.01307	0.00764	0.00434
-0.2	0.42074	0.28183	0.17507	0.11825	0.07590	0.04599	0.02743	0.01543	0.00891	0.00500
-0.1	0.46017	0.31426	0.19947	0.13567	0.08786	0.05401	0.03287	0.01843	0.01093	0.00634
-0	0.5	0.49601	0.49202	0.48803	0.48405	0.48006	0.47608	0.4721	0.46812	0.46414

# NORMALE (FND)

Cette table donne la valeur de la FND pour un  $-3.9 \leq z \leq 3.9$ . Les entrées en face de  $+3$  et de  $-3$  sont pour  $3.0, 3.1, 3.2, \dots, \text{etc.}$ , et  $-3.0, -3.1, -3.2, \dots, \text{etc.}$ , respectivement.

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.5	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.5279	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.5438	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59093	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62552	0.6293	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.6591	0.66276	0.6664	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.7054	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.7224
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.7549
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.7673	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.7823	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1.0	0.84134	0.84375	0.84614	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.8665	0.86864	0.87076	0.87286	0.87493	0.87698	0.879	0.881	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.9032	0.9049	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91308	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.9222	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.9452	0.9463	0.94738	0.94845	0.9495	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.9608	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.9732	0.97381	0.97441	0.975	0.97558	0.97615	0.9767
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.9803	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.983	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.985	0.98537	0.98574
2.2	0.9861	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.9884	0.9887	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.9901	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.9918	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.9943	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.9952
2.6	0.99534	0.99547	0.9956	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.9972	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.9976	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3	0.99865	0.99903	0.99931	0.99952	0.99966	0.99977	0.99984	0.99989	0.99993	0.99995

TABLE DE LA LOI



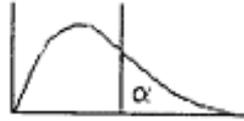
z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-3	0.998650	0.998690	0.998740	0.998780	0.998820	0.998860	0.998890	0.998930	0.99896	0.999
-2.9	0.998130	0.998190	0.998250	0.998310	0.998360	0.998410	0.998460	0.998510	0.998560	0.99861
-2.8	0.997440	0.997520	0.99760	0.99767	0.997740	0.997810	0.997880	0.997950	0.998010	0.99807
-2.7	0.996530	0.996640	0.996740	0.996830	0.996930	0.997020	0.997110	0.99720	0.997280	0.99736
-2.6	0.995340	0.995470	0.995610	0.995730	0.995850	0.995980	0.996110	0.996240	0.996320	0.99643
-2.5	0.993790	0.993960	0.99413	0.99430	0.994460	0.994610	0.994770	0.994920	0.995060	0.9952
-2.4	0.9918	0.992020	0.992240	0.992450	0.992660	0.992860	0.993050	0.993240	0.993430	0.99361
-2.3	0.989280	0.989360	0.98983	0.99010	0.990360	0.990610	0.990860	0.991110	0.991340	0.99158
-2.2	0.9861	0.986450	0.986790	0.987130	0.987450	0.987780	0.98809	0.9884	0.9887	0.98899
-2.1	0.982140	0.98257	0.98301	0.983440	0.983870	0.98429	0.98461	0.985	0.985370	0.98574
-2	0.977250	0.977780	0.978310	0.978820	0.979320	0.97982	0.9803	0.980770	0.981240	0.98169
-1.9	0.971280	0.971930	0.97257	0.9732	0.973810	0.97441	0.975	0.975580	0.97615	0.9767
-1.8	0.964070	0.964850	0.965620	0.966380	0.967120	0.967840	0.968550	0.969260	0.969950	0.97062
-1.7	0.955430	0.956370	0.957280	0.958180	0.959070	0.95994	0.9608	0.961640	0.96240	0.96327
-1.6	0.9452	0.94630	0.947380	0.94845	0.9495	0.950530	0.951540	0.952540	0.953520	0.95449
-1.5	0.933190	0.934480	0.935740	0.936990	0.938220	0.939430	0.940620	0.941790	0.942950	0.94408
-1.4	0.919240	0.92073	0.9222	0.923640	0.925070	0.926470	0.927850	0.929220	0.930560	0.93189
-1.3	0.9032	0.9049	0.906580	0.908240	0.909880	0.911490	0.913080	0.914660	0.91621	0.91774
-1.2	0.884930	0.886640	0.888770	0.890650	0.892510	0.894350	0.896170	0.897960	0.899730	0.90147
-1.1	0.86433	0.8665	0.868640	0.870760	0.872860	0.874930	0.87698	0.879	0.881	0.88298
-1	0.841340	0.843750	0.846140	0.848490	0.850830	0.853140	0.855430	0.857690	0.859930	0.86214
-0.9	0.815940	0.818590	0.821210	0.823810	0.826390	0.828940	0.831470	0.833980	0.836460	0.83891
-0.8	0.788140	0.791030	0.793890	0.796730	0.799550	0.802340	0.805110	0.807850	0.810570	0.81327
-0.7	0.758040	0.761150	0.764240	0.7673	0.770350	0.773370	0.776370	0.77935	0.7823	0.78524
-0.6	0.725750	0.729070	0.732370	0.735650	0.738910	0.742150	0.745370	0.748570	0.75175	0.7549
-0.5	0.691460	0.694970	0.698470	0.70194	0.7054	0.708840	0.712260	0.715660	0.71904	0.7224
-0.4	0.65542	0.6591	0.662760	0.6664	0.670030	0.673640	0.677240	0.680820	0.684390	0.68793
-0.3	0.617910	0.621720	0.62552	0.6293	0.633070	0.636830	0.640580	0.644310	0.648030	0.65173
-0.2	0.579260	0.583170	0.587060	0.590950	0.594830	0.598710	0.602570	0.606420	0.610260	0.61409
-0.1	0.53983	0.5438	0.547760	0.551720	0.555670	0.559620	0.563560	0.567490	0.571420	0.57535
-0	0.5	0.503990	0.507980	0.511970	0.515950	0.519940	0.52392	0.5279	0.531880	0.53586

NORMALE ( FD )

Cette table donne la valeur de la FD pour un  $-3.9 \leq z \leq 3.9$ . Les entrées en face de  $+3$  et de  $-3$  sont pour  $3.0, 3.1, 3.2, \dots$ , etc., et  $-3.0, -3.1, -3.2, \dots$ , etc., respectivement.

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.5	0.49601	0.49202	0.48803	0.48405	0.48006	0.47608	0.4721	0.46812	0.46414
0.1	0.6017	0.4562	0.45224	0.44828	0.44433	0.44038	0.43644	0.43251	0.42858	0.42465
0.2	0.72074	0.41168	0.41294	0.40905	0.40517	0.40129	0.39743	0.39358	0.38974	0.38591
0.3	0.82090	0.37828	0.37448	0.37070	0.36693	0.36317	0.35942	0.35569	0.35197	0.34827
0.4	0.91458	0.34409	0.33724	0.33336	0.32997	0.32656	0.32276	0.31918	0.31561	0.31207
0.5	0.98540	0.30503	0.30153	0.29806	0.2946	0.29116	0.28774	0.28434	0.28096	0.2776
0.6	0.99242	0.27093	0.26763	0.26450	0.26109	0.25785	0.25463	0.25143	0.24825	0.2451
0.7	0.99616	0.25854	0.25576	0.25327	0.25095	0.24870	0.24653	0.24443	0.24239	0.24031
0.8	0.99738	0.24897	0.24611	0.24327	0.24045	0.23766	0.23489	0.23215	0.22943	0.22673
0.9	0.99806	0.1814	0.17879	0.17619	0.17361	0.17106	0.16853	0.16602	0.16354	0.16109
1.0	0.98660	0.15625	0.15386	0.15151	0.14917	0.14686	0.14457	0.14231	0.14007	0.13786
1.1	0.97567	0.1335	0.13136	0.12924	0.12714	0.12507	0.12302	0.121	0.119	0.11702
1.2	0.96507	0.11140	0.11123	0.10935	0.10749	0.10565	0.10383	0.10204	0.10027	0.09853
1.3	0.9548	0.0951	0.09347	0.09176	0.09012	0.08851	0.08692	0.08534	0.08379	0.08226
1.4	0.94507	0.0797	0.0778	0.07636	0.07493	0.07353	0.07215	0.07078	0.06944	0.06811
1.5	0.93681	0.06552	0.06426	0.06301	0.06178	0.06057	0.05938	0.05821	0.05705	0.05592
1.6	0.9294	0.0537	0.05262	0.05155	0.0505	0.04947	0.04846	0.04746	0.04648	0.04551
1.7	0.9227	0.04363	0.04272	0.04182	0.04093	0.04006	0.0392	0.03836	0.03754	0.03673
1.8	0.91653	0.03515	0.03438	0.03362	0.03288	0.03216	0.03144	0.03074	0.03005	0.02938
1.9	0.91082	0.02807	0.02743	0.0268	0.02619	0.02559	0.025	0.02442	0.02385	0.0233
2.0	0.90557	0.02222	0.02169	0.02118	0.02068	0.02018	0.0197	0.01923	0.01876	0.01831
2.1	0.90078	0.01743	0.017	0.01659	0.01618	0.01578	0.01539	0.015	0.01463	0.01426
2.2	0.89639	0.01555	0.01521	0.01487	0.01453	0.01422	0.01391	0.0136	0.0133	0.01301
2.3	0.8922	0.01444	0.01417	0.01389	0.01361	0.01333	0.01305	0.01277	0.0125	0.01222
2.4	0.8882	0.01329	0.01306	0.01282	0.01258	0.01234	0.0121	0.01186	0.01162	0.01138
2.5	0.8843	0.01214	0.01194	0.01173	0.01151	0.01129	0.01107	0.01085	0.01063	0.01042
2.6	0.8805	0.01099	0.01081	0.01062	0.01042	0.01022	0.01001	0.0098	0.00959	0.00939
2.7	0.8768	0.01034	0.01017	0.00999	0.0098	0.0096	0.0094	0.0092	0.009	0.0088
2.8	0.8732	0.0097	0.00954	0.00937	0.0092	0.00903	0.00885	0.00867	0.00849	0.00832
2.9	0.8697	0.0091	0.00897	0.00882	0.00867	0.00851	0.00835	0.00819	0.00803	0.00787
3.0	0.8663	0.0085	0.0084	0.00829	0.00813	0.00797	0.00781	0.00765	0.00749	0.00733

Table du Khi-Deux



$\nu, \alpha \rightarrow$	0.995	0.99	0.975	0.95	0.75	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	4E-05	2E-04	1E-03	0.004	0.102	0.455	1.323	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.01	0.02	0.051	0.103	0.575	1.386	2.773	4.605	5.991	7.378	9.21	10.6
3	0.072	0.115	0.216	0.352	1.213	2.366	4.108	6.251	7.815	9.348	11.34	12.84
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.923	3.357	5.385	7.779	9.488	11.14	13.28	14.86
5	0.412	0.554	0.831	1.145	2.675	4.351	6.626	9.236	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.676	0.872	1.237	1.635	3.455	5.348	7.841	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.989	1.239	1.69	2.167	4.255	6.346	9.037	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.344	1.647	2.18	2.733	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	17.53	20.09	21.95
9	1.735	2.088	2.7	3.325	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.156	2.558	3.247	3.94	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.603	3.053	3.816	4.575	7.584	10.34	13.7	17.28	19.68	21.92	24.73	26.76
12	3.074	3.571	4.404	5.226	8.438	11.34	14.85	18.55	21.03	23.34	26.22	28.3
13	3.565	4.107	5.009	5.892	9.299	12.34	15.98	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.075	4.66	5.629	6.571	10.17	13.34	17.12	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.601	5.229	6.262	7.261	11.04	14.34	18.25	22.31	25	27.49	30.58	32.8
16	5.142	5.812	6.908	7.962	11.91	15.34	19.37	23.54	26.3	28.85	32	34.27
17	5.697	6.408	7.564	8.672	12.79	16.34	20.49	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.265	7.015	8.231	9.39	13.68	17.34	21.6	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.844	7.633	8.907	10.12	14.56	18.34	22.72	27.2	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.434	8.26	9.591	10.85	15.45	19.34	23.83	28.41	31.41	34.17	37.57	40
30	13.79	14.95	16.79	18.49	24.48	29.34	34.8	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	33.66	39.34	45.62	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	42.94	49.33	56.33	63.17	67.5	71.42	76.15	79.49
60	35.55	37.48	40.48	43.19	52.29	59.33	66.98	74.4	79.08	83.3	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	61.7	69.33	77.58	85.53	90.53	95.02	100.4	104.2
80	51.17	53.54	57.15	60.39	71.14	79.33	88.13	96.58	101.9	106.6	112.3	116.3
100	67.33	70.06	74.22	77.93	90.13	99.33	109.1	118.5	124.3	129.6	135.8	140.2

### **Résumé:**

La zone aéroportuaire de Batna située dans la plaine de Gadaine El-Madher qui correspond à une dépression fermée occupée par de nombreuses sebkhas est un réceptacle de l'ensemble des écoulements de la région. Par ailleurs l'implantation d'un aéroport international a suscité une occupation humaine de cette zone toujours grandissante de sorte que les enjeux socio-économiques sont devenus considérables.

Cette situation contribue à développer sensiblement la vulnérabilité de cette dépression et du même coup le niveau du risque.

Pour appréhender l'étude et l'évaluation des risques naturelles dans cet espace d'une manière exhaustive et numérisée. Nous avons fait appel aux techniques de télédétection dont l'intérêt :

\* La répétitivité d'acquisition des informations qui permet de voir l'évolution, le changement de différents phénomènes dans le temps.

\* La forme numérique des données qui offre un grand avantage de traitement numérique et d'extraction de l'information d'après les différents programmes de traitement d'images.

Une analyse de la dynamique des sebkhas par des images satellitaires de Land Sat sur plusieurs années (MSS 1973, TM 1987 et ETM+ 2001) et l'élaboration d'une carte d'occupation des sols a permis de dresser une carte des risques de cette région et a permis de mettre en évidence l'intérêt de la géomatique dans l'analyse et la gestion des territoires à risque

**Mot clés :** Géomatique, Vulnérabilité, Risque d'inondation, Région de Batna.

### **ملخص**

إن المنطقة المحاذية لمطار باتنة الواقعة في سهل قداين – المعدر والتي تتعلق بالمنخفض المغلق المكون من عدة سبخا و يعتبر مستقبل لمجموع المجاري المائية لهذه المنطقة. بالمقابل توطين المطار الدولي بالمنطقة نتج عنه شغل كبير ومتزايد للاراضي من طرف السكان حتى أصبحت الرهانات الاجتماعية والاقتصادية جد معتبرة .

هذه الوضعية ساهمت في تطوير حساسية هذه المنطقة المنخفضة وفي نفس الوقت مستوى الخطر.

لتقدير الأخطار الطبيعية في هذا المجال بطريقة شاملة و رقمية اعتمدنا تقنيات الاستشعار عن بعد لما لها من فوائد

- تكرارية المعلومات الشيء الذي يسمح لنا بملاحظة التطور والتغير لمختلف الظواهر عبر الزمن.
- رقمية المعطيات العامل الايجابي في التحليل الرقمي و استخلاص المعلومة من خلال مختلف برامج تحليل الصور.

إن تحليل ديناميكية السبخا باستعمال صور القمر الصناعي LANDSAT لعدة سنوات (MSS 1973، TM 1987، ETM+ 2001) واستخراج خريطة شغل الأراضي سمحت لنا بوضع واقتراح خريطة الإخطار لهذه المنطقة والتأكيد على أهمية الاستشعار عن بعد و نظام المعلومات الجغرافية في تحليل وتسيير المناطق المعرضة للخطر.

### **الكلمات المفتاح**

المناطق المنخفضة. خطر الفيضان . منطقة باتنة. الاستشعار عن بعد.