

**Institut National Agronomique - El-Harrach - Alger**  
Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister  
Spécialité : Pédologie  
Option : Pédosphère

***Etude minéralogique et  
micromorphologique de sols alluviaux de  
la Région de Guerrara (W. Ghardaïa)***

Par

**Hassene AOUAM**

**Rapporteur : HAMDY-AISSA Baelhadj**

Maître de conférence, Université de Ouargla

Soutenu le 20/11/2007

Devant le Jury : Président : DAOUD Youcef Professeur, INA, El-Harrach-Alger Examineurs : DJILI Kaddour Professeur, INA, El-Harrach-Alger DRIDI Bachir Maître de conférence, INA, El-Harrach-Alger MESSEN Nacer Maître de recherche, CRNB, Ain Ouessara



# Table des matières

Dédicace . .	5
REMERCIEMENTS . .	6
Liste des abréviations . .	7
ص خ لم . .	8
Résumé . .	9
Summary . .	10
Introduction . .	11
PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique . .	12
Chapitre 1 Généralités sur les sols alluviaux . .	12
1. Généralités . .	12
2. Evolution des sols alluviaux . .	12
3. Transport et comportements des matériaux dans un milieu hydrique . .	13
4. Classification des sols alluviaux . .	13
5. Répartition des sols alluviaux . .	14
6. Mise en valeur des sols alluviaux . .	15
Chapitre 2 Présentation de la zone d'étude . .	17
1. Situation géographique . .	17
2. Couverture végétale . .	17
3. Environnement climatique . .	18
4. Cadre géologique . .	25
5. Cadre géomorphologique . .	26
6. Cadre hydrogéologique . .	28
7. Couverture pédologiques . .	29
Partie II Etude expérimentale . .	31
Chapitre 3 Matériel et méthodes . .	31
1. Choix de la zone d'étude . .	31
2. Répartition des profils . .	31
3. Méthodologie d'étude . .	31
4. Approche statistiques . .	38
5. Classification des sols . .	38
Chapitre 4 Etude morphologique des sols . .	38
1. Description des profils . .	38
2. Discussion sur la morphologie des profils . .	41
3. Résultats analytiques . .	42
4. Classification des sols . .	45
Chapitre 5 Etude minéralogique et géochimique des sols . .	46
1. Introduction . .	46
2. Minéralogie . .	46
3. Analyse chimique totale (Eléments majeurs) . .	61
Chapitre 6 Etude micromorphologique et morphoscopique des sols . .	69

1. Introduction . .	69
2. Description micromorphologique des horizons . .	69
3. Discussion sur la micromorphologie . .	76
4. Morphoscopie et exoscopie des grains de quartz (Profil 2) . .	77
Chapitre 7 Synthèse . .	85
1. Approche statistique . .	85
2. Approche micromorphologique et morphoscopique . .	89
3. Approche paléoenvironnementale . .	91
Conclusion générale . .	93
Références bibliographiques . .	94
<b>A N N E X E S . .</b>	<b>101</b>

## Dédicace

*Dédicaces Je dédie ce modeste travail A mon **père** et ma **mère** qui m'ont encouragé et soutenu, pendant toutes les étapes de préparation de ce mémoire A mes frères et sœurs **Razika, Moh-said, Salah, El hadi, et Drifa**. A tous mes Amis.*

## **REMERCIEMENTS**

Ce travail n'aurait jamais pu être mené à son terme sans l'aide combien inestimable de ceux qui ont bien voulu me conseiller et me supporter. Aujourd'hui, il m'est très agréable de les remercier ici.

Un grand merci à Monsieur HAMDI-AISSA Baelhadj, maître de conférence à l'Université de Ouargla, pour m'avoir proposé ce sujet, et m'avoir dirigé et conseillé tout au long de sa réalisation.

Mes vifs remerciements à ceux qui ont accepté de juger ce travail avec tout le poids de leurs compétences, Monsieur DAOUD Youcef, Professeur à l'INA, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant la présidence de mon jury et à Monsieur DJILI Kaddour, Professeur à l'INA, et Monsieur DRIDI Bachir, Maître de conférence à l'INA, qui ont accepté d'examiner ce travail.

Je suis particulièrement sensible à l'honneur que m'a fait Monsieur MESSEN Nacer, Maître de Recherche au C.R.N.B., Ain-Oussara, en m'accueillant dans le projet DAYACLIM dont il est le responsable. Il m'a permis de trouver les moyens et l'environnement indispensables à une grande partie de mes travaux de terrain et de laboratoires, et pour avoir bien voulu accepter de faire partie du Jury.

Je suis également redevable envers l'équipe du CRNA Alger, à savoir Monsieur IMATOUKENE Djamel, attaché de recherche, Madame MOKRANI Zahra, maître de recherche et Monsieur SOUAMI Nassim, chargé de recherche. Je remercie également Mme BELAROUSSI, chercheur au CDTA Baba Hassen, Alger, pour le formidable travail qu'elle a effectuée au microscope électronique (MEB).

Un grand merci pour Madame LAKHDARI F., Directrice du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA) de Biskra, pour ces encouragements, et pour le bon accueil qu'elle nous réserve à chaque fois qu'on se déplace au CRSTRA.

Mes sincères remerciements vont également à l'équipe du Département Etudes Mécaniques et Essais sur Matériaux du CRNB Ain-Oussera, à savoir, Monsieur SARI Ali, HAMMACHE Abdennour et KADOUMA Mourad, Attachés de Recherche au CRNB, pour m'avoir permis de réaliser l'analyse DRX pour mes sols.

Un grand merci à Messieurs Amar, Redouane et Ami Ahmed, pour m'avoir facilité le travail pendant la séparation des argiles au laboratoire de physique de l'INA.

Enfin, à tous ceux qui sont restés dans "l'ombre", notamment à Melle GOUNANE Baya.

## Liste des abréviations

- A : Argile
- LT: Limons fins + limons grossiers
- ST : Sables fins + sables grossiers
- CaT : Calcaire total
- MO : Matière organique
- Kaol : Kaolinite
- Chl : Smectite
- Qtz : Quartz
- Palyg : Palygorskite
- Feld : Feldspath-K
- Feldspath-K : Feldspath-Potassique
- Ill : Illite
- Dol : Dolomite
- Calc : Calcite
- Phyl : Phyllosilicates

## ص خ لم

الأحليل الميكرومورفولوجيا والمعدنية للتربة الغروية لضابة الحميد بمنطقة القرارة، سمحت لنا أن نستنتج بوجود تناوب مناخ جاف ومناخ شبه جاف، مكونا تناوب طبقات رملية وطبقات رملية سلتية.

المكونات المعدنية للتربة لها نفس التركيبة، مؤشرا بذلك بأن التراكبات لها نفس المنبع، المتمثل في حوض القرارة المتركب من (Grès rouges) الحالة الكريستالينية (crystallinité) للمكونات الغضارية بدلي لنا بأن التربة من منبع ألوكوني (allochtone) لهذه التراكبات. المكون الباليكوسكيت (palygorskite) يكون أغلبية المكونات الغضارية بأكثر من 53 بالمئة أعلى السبب تتواجد في الطبقات الرملية، مثلا بذلك عن تكوّنهما في مناخ جاف بينما الطبقات الرملية الأصلية تكوّنت في مناخ شبه جاف.

الكوارتز (quartz) الذي يكون أغلبية التراكبات (أكثر من 90 بالمئة) بتزايد بصفة مضادة مع باقي المكونات، خاصة الكالسيت (calcite) والفيلوسيليكات (phyllosilicates)، مثلا بذلك عن وجود منبعين؛ منبع رّياحي و منبع مائي. دراسة منبع التراكبات، أوضح بأن المكون الرملي (<50 ميكرون) منبعه رّياحي، بينما المكون السلي و الكالس أصلهما منبع مائي

تتكون التراكبات الغراوية بالأغلبية من معادن أولية (argiles primaires) أكثر من 85 بالمئة (illite, chlorite, palygorskite) بينما المعادن الثانوية (kaolinite, smectite) تتكون 15 بالمئة فقط و هذا دليل عن ضعف النشاط الكيميائي هذه التربة الغروية.

*الكلمات المفتاحية: التربة الغروية، الميكرومورفولوجية، المينرالوجية، المناطق الجافة، المناطق لاصحراوية، الضابة، التربة القديمة، المناخ القديم، التغيرات المناخية، المكونات الغضارية.*



---

## Résumé

Les analyses minéralogiques et micromorphologiques des sols alluviaux de Dayet El-Amied dans la région de Guerrara ont permis de mettre en évidence l'alternance de périodes arides/semi-arides donnant naissance à une succession de couches sableuses et de couches sablo-loameuses.

L'homogénéité qualitative du cortège minéralogique, montre que les accumulations ont une même source d'apport, il s'agit du bassin versant de Guerrara dominé par les grés rouges. Le bon état de cristallinité du cortège argileux indique une origine allochtone de ces alluvions. La prédominance de la palygorskite avec une moyenne dépassant les 53%, avec des teneurs plus élevées dans les couches sableuses, montre que celles-ci seraient formées pendant les périodes arides tandis que les couches sablo-loameuses seraient formées durant les périodes semi-arides.

Le quartz qui présente l'essentiel des sédiments (plus de 90% de moyenne) évolue de façon antagoniste avec le reste des minéraux, composés essentiellement de calcite et de phyllosilicates (avec plus de 6% de moyenne), indiquant ainsi deux voies d'apport, éolienne et hydrique. La caractérisation des sources sédimentaires nous a montré que la fraction sableuse (>50 $\mu$ m) est transportée essentiellement par voie éolienne tandis que la fraction limoneuse et le calcaire total sont plutôt déplacés par voie hydrique (crues).

L'altération chimique des sédiments est plutôt faible, comme le montre la prédominance des argiles primaires (illite, chlorite et palygorskite) avec plus de 85% de moyenne, sur les minéraux secondaires (kaolinite et smectite).

Mots clés : sols alluviaux, micromorphologie, minéralogie, désert, zones arides, daya, paléosols, paléopédologie, péleoclimat, changements climatiques, argile, traits pédologiques.

## Summary

The mineralogical and micromorphological analysis of the alluvial soils of Dayet El-Amied in Guerrara's region permitted to put in evidence an alternation of arids/semi-arids periods giving birth to a succession of sandy and sandy-loam layers.

The qualitative homogeneity of the mineralogical cortege, show that accumulations have a same contribution source, it is about Guerrara's basin dominated by the red grés. The good state of cristallinity of the clayey cortege indicates an allochtone origin of these alluviums. The predominance of the palygorskite with an average passing the 53%, with the more elevated contents in the sandy layers, show that these would be formed during the arid periods while the sandy-loam layers would be formed during the semi-arid periods.

Quartz that present the main thing of sediments (more than 90% of average) evolves in an antagonistic way with the remainder of minerals, composed essentially of calcite and phyllosilicates (with more than 6% of average), thus indicating two ways of contribution, wind and hydrique. The characterization of the sedimentary sources showed us that the sandy fraction (>50 $\mu$ m) is transported essentially by wind way while the loam fraction and the limestone is rather displaced by hydrique way (raw).

The chemical change of sediments is rather weak, as it shows by the primary clay predominance (illite, chlorite and palygorskite) with more than 85% of average, on minerals secondary (kaolinites and smectites).

Keywords: alluvial soils, micromorphology, mineralogy, desert, arid zone, daya, paleosoils, paleopedology, paleoclimate, climatic change, clay, pedological features.

---

# Introduction

Les sols de la région désertiques ont fait l'objet de nombreuses études pédologiques (DUTIL, 1971 ; COOKE et al. ; DADI BOUHOUN, 1997), mais les sols alluviaux de la région de Guerrara notamment de la plaine alluviale de Dayet El Amied, n'ont pas fait l'objet d'études, à l'exception du travail de DJILI (2004), qui se limite à l'essai morphologique et analytique de ces sols.

Le premier objectif de ce travail, est de remédier à ce manque, en étudiant les sols, du point de vue minéralogique et micromorphologique en mettant en évidence les processus pédologiques de la plaine alluviale de Dayet El-Amied (Guerrara). Ces processus se matérialisent par des traits pédologiques qui sont en partie identifiables sur le terrain, mais aisés à détecter et à analyser en lames minces au microscope polarisant et à identifier par diffraction aux rayons X.

L'autre objectif de ce travail, est d'exploiter un des atouts majeurs de ces sols désertique, du fait qu'ils constituent une mémoire hiérarchisée, conservant des caractères de fonctionnements passés qui peuvent être classés selon une chronologie événementielle, en vue de la reconstitution des changements climatiques passés. Permettant ainsi de faire des interprétations d'ordre paléoclimatiques en relation avec l'alternance des phases arides / phases sub-arides.

C'est à partir de cette approche paléopédologique, et dans le cadre du projet de recherche « **DAYACLIM** » (MESSEN et al., 2004; HAMDI-AISSA et MESSEN, 2006) inscrit au Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (C.R.S.T.R.A.) que nous portons notre contribution à l'étude minéralogique et micromorphologique de sols alluviaux de la région de Guerrara.

Ce travail est scindé en deux parties :

**La première partie** : consacrée a la synthèse bibliographique, est divisée en deux chapitres :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les sols alluviaux
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude

**La deuxième partie** : consacrée à l'étude expérimentale, elle est divisée en cinq chapitres :

- Le chapitre 3 est réservé au matériel et méthodes
- Le chapitre 4 consacré à l'étude morphologique des sols
- Le chapitre 5 s'intéresse à l'étude minéralogique et géochimique des sols
- Le chapitre 6 consacré à l'étude micro-morphologique et morphoscopique des sols
- Enfin, le chapitre 7 destiné à la synthèse de l'ensemble des chapitres.

# PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique

## Chapitre 1 Généralités sur les sols alluviaux

### 1. Généralités

---

Les sols alluviaux appartiennent au groupe des sols peu évolués d'apport alluvial (CPCS, 1967), ce sont des sols azonaux de type AC, ils se distinguent d'une part par leur position géomorphologique et leur origine, d'autre part par leur régime hydrique. Les sols alluviaux constituent des dépôts récents des vallées où ils occupent le « lit majeur » très souvent inondé des rivières. Ils sont caractérisés par la présence d'une nappe phréatique soumise à de fortes oscillations saisonnières. Ils ont des caractères particuliers ; absence de structure, texture hétérogène, variable d'un point à un autre, grande porosité et bonne aération superficielle, absence de différenciation du profil.

Sur le plan de leur texture, de leur composition minéralogique, et de leur degré d'altération, les sols alluviaux ont essentiellement la composition et les propriétés du matériau transporté, celles-ci sont extrêmement variables et reflètent d'une part les conditions géomorphologiques et géologiques des régions traversées, d'autre part les circonstances de l'alluvionnement (vitesse du courant en particulier). C'est ainsi que les sols alluviaux peuvent être calcaires ou acides, sableux (voire caillouteux), limoneux ou argileux, peu altérés (sols alluviaux « gris ») ou au contraire altérés et assez riches en fer (sols alluviaux brunifiés) (DUCHAUFOR, 1977).

Le transport des alluvions, pouvant s'effectuer sur des distances très importantes. Le mode d'apport de ces alluvions implique généralement une hétérogénéité importante dans la nature des matériaux originale des sols (LOZET et MATHIEU, 2000).

Les sols alluviaux, si hétérogènes qu'ils soient, ont en commun certaines propriétés, liées surtout à leur régime hydrique (DUCHAUFOR, 1997 ; AFES, 1995) :

- Présence constante d'une nappe phréatique permanente à forte oscillations
- Hétérogénéité fréquente de texture et de granulométrie
- Humification généralement activée par les conditions favorables de l'humidité du sol (sauf dans le cas où le milieu est trop sec).
- Brunification des sols alluviaux en climat tempéré.

### 2. Evolution des sols alluviaux

---

Les apports alluvionnaires plus ou moins fréquents freinent l'évolution des sols alluviaux, et provoquent le rajeunissement du profil. Cependant beaucoup de sols alluviaux manifestent une évolution plus ou moins marquée vers d'autres types du sol, soit par l'interruption des apports, soit par abaissement de la nappe, ou modification de son potentiel d'oxydoréduction par des fortes oscillations.

---

### 3. Transport et comportements des matériaux dans un milieu hydrique

La quantité des matériaux transportés dépend des caractères, vitesse et viscosité du fluide, et de ceux des matériaux eux-mêmes, taille, forme, densité. L'écoulement de l'eau produit sur le matériau une force verticale, dirigée de bas en haut, qui s'oppose à son poids apparent et tend à le soulever. Cette force est proportionnelle à la vitesse du courant. Les particules fines (argiles, limons et sables) sont arrachées du fond et suspendues dans l'eau. Toute diminution de vitesse produit leur chute. Le transport par suspension ne se fait que pour les particules de petite taille. Les éléments plus gros ne s'élèvent pas au-dessus du fond, sauf épisodiquement, à la suite d'une brusque élévation de la vitesse du courant qui provoque une saltation et roulage des particules.

Le diagramme de Hjulström (Figure I-1) illustre le comportement des particules en fonction de leur taille et de la vitesse du courant. Pour des vitesses fortes, les particules sont arrachées du fond (érosion) et transportées. Pour des vitesses plus faibles, les petites particules déjà arrachées sont transportées, les plus grosses restent sur le fond. C'est à dire, pour un grain de sable de 0,1 mm est érodé et transporté par un courant de vitesse supérieure à 20 cm/s ; il est encore transporté tant que la vitesse se maintient au-dessus de 2 cm/s puis se dépose lorsque la vitesse devient plus faible. Un courant de 100 cm/s transporte les particules inférieures à 0,005 mm déjà en suspension, érode et transporte celles comprises entre 0,005 et 10 mm et laisse déposer celles supérieures à 10 mm. On remarque que les très fines particules (inférieur à 0,1 mm) nécessitent des vitesses croissantes pour être érodées, à cause de leur plus forte cohésion et qu'elles offrent à l'eau une surface plus lisse surtout dans le cas des argiles (BELLAIR et POMEROL, 1982).

### 4. Classification des sols alluviaux

#### 4.1. La classification française (CPCS, 1967)

Dans ce système de classification, les sols alluviaux sont rattachés à :

**Classe** des sols peu évolués

**Sous classe** des sols peu évolués d'apport

**Groupe** des sols alluviaux

**Sous groupes :**

- Sols alluviaux à faible évolution hydromorphe
  - Sols alluviaux peu humifères
    - \* Sol alluvial gris (peu évolué) : deux variétés, acide ou calcaire.
    - \* Sol alluvial brunifié : deux variétés, acide ou calcaire.
- Sols alluviaux humifères
  - Sol, alluviaux rendziniques à mull calcaire.
  - Sol alluviaux chernozemiques ou vertiques (tchernitza).
- Sols alluviaux hydromorphes
  - Sols alluviaux peu humifères, à gley (semi-gley).

- Sols alluviaux tourbeux ou à anmoor.

#### 4.2. Le Référentiel pédologique (AFES, 1995)

Il a été élaboré en 1986 pour remplacer le système de classification français des sols de 1967. Il est basé sur les propriétés morpho-analytiques qui peuvent être mises en relation avec un processus de pédogenèse déterminé. Les sols alluviaux dans ce référentiel sont rattachés à la grande référence des Fluviosols, qui n'ont pas d'horizons de référence spécifiques. Il regroupe trois références : fluviosols bruts, fluviosols typique et fluviosols brunifiés.

Suivant leur degré d'évolution, les sols développés à partir de matériaux alluviaux fluviatiles peuvent être rattachés à d'autres catégories de références à savoir : Arénosols, Vertisols, Pélosols, Brunisols, Plansols,...etc.

On peut constater des remaniements superficiels de matériaux argileux, dans ce cas, les produits remaniés par l'eau donnant naissance à une organisation se traduisant par une forte polygonation. Ce phénomène est une conséquence de la dessiccation amorçant

#### 4.3. La Soil Taxonomy (U.S.D.A., 1998)

C'est une classification basée sur l'identification précise d'horizons diagnostics, ou les sols alluviaux sont classés comme suit :

**Ordre** : Entisols

*Sous ordre* : Fluvents (L. *Fluvius*, Rivière) sols des lits de Rivières.

**Grands Groupes** :

- **Torrifluvents** – torride (chaud et sec)
- **Tropofluvents** – tropical (chaud et humide)
- **Udifluvents** – humide (humide la majorité de l'année)
- **Ustifluvents** - semi-aride (entre Udic-Aridic)
- **Xerofluvents** - semi-aride (climat méditerranéen)

#### 4.4. La classification de la F.A.O

C'est une classification génétique proche de la classification américaine dans la mesure où elle utilise la même notion d'horizon diagnostic fondamental. De ce fait, et suivant les caractéristiques des sols alluviaux, nous pouvons trouver certains d'entre eux sont rattachés à l'unité des Fluvisols, d'autre rattachés à l'unité des Vertisols (FAO, 1998).

## 5. Répartition des sols alluviaux

---

### 5.1. Dans les régions arides

Selon DUTIL (1971) et COOKE *et al.* (1993), les sols alluviaux des régions arides sont des sols de lits d'oued et des zones d'épandage, et les apports sont très limités, dans le temps, par la rareté des pluies d'intensité suffisante, dans l'espace, et en quantité, les écoulements n'intéressant souvent que quelques tronçons de bassin ou de fond des Dayas.

Les produits entraînés actuellement vers les points bas sont constitués principalement par des sables fins, une partie de limon et très peu d'argile. Souvent, dans les oueds, il ne

s'agit que d'un remaniement interne des dépôts du lit de l'oued, se traduisant par un transfert en un autre point aval du bassin. Les produits accumulés sont généralement des sables fins, sans cohésion et formation d'un réseau de fentes de retrait. Selon TOUTAIN (1979), ces terres sont riches en éléments minéraux notamment en potassium, phosphore, et calcium.

En Algérie, plusieurs travaux ont été réalisés sur l'étude des sols alluviaux, entre autres ceux de BOULAIN (1957) sur les sols des plaines de Chélif, DUTIL (1971) sur les sols et les paléosols du Sahara, POUGET (1980) sur les steppes sud algéroises, HALITIM (1988) sur les sols des régions arides, DADI BOUHOUN (1997) sur l'évolution de la salinité des sols alluviaux du Mzab, DJILI (2004) sur sols alluviaux en zones arides (cas de la Daya d'El-Amied) ...etc.

## 5.2. Dans le Monde

Les sols alluviaux sont très répons dans le monde, leur surface totale (Tableau I-1 et Figure I-2) est estimée à plus de 356 millions d'hectares dans les plaines des rivières (cuvette d'Amazone, Gange ordinaire), dans les régions deltaïques (Nil, Ganges - Brahmaputra, Rivière Rouge, Mekong, Changjiang et Huangho) et dans plaines les côtières avec les dépôts marins récents (La Hollande, Indonésie, Vietnam, Afrique de l'Ouest, etc.).

Tableau I-1: Répartition des sols alluviaux par continent (FAO, 1993)

Continent	Superficie (hectares)	Continent	Superficie (hectares)
<b>Europe</b>	40.250.000	<b>Afrique</b>	98.400.000
<b>Nord &amp; Asie Centrale</b>	73.327.000	<b>Sud &amp; Sud-Est Asiatique</b>	57.357.000
<b>Australasie</b>	8.827.000	<b>Sud &amp; Amérique centrale</b>	67.687.000
<b>Amérique du nord</b>	10.387.000		
<b>Total : 356.235.000</b>			

## 6. Mise en valeur des sols alluviaux

Les sols alluviaux sont des sols généralement fertiles en raison de leur richesse en minéraux en cours d'altération et malgré l'absence d'horizon structural ; de plus, ils sont bien alimentés en eau, sans être asphyxiants, grâce à la présence de la nappe : ils offrent cependant l'inconvénient d'être souvent inondés en hiver ou au printemps. Par contre, en saison chaude et sèche, la nappe peut descendre trop bas pour que la zone de remontée capillaire atteigne les racines: ceci peut se produire notamment pour les prairies; la présence de lits sableux ou graveleux qui interrompent la remontée capillaire est une circonstance aggravante.

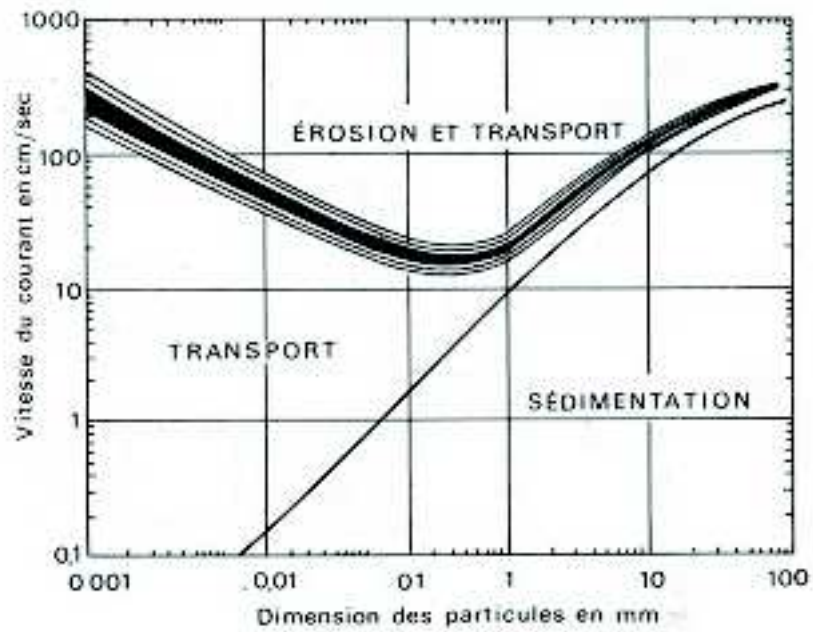


Figure I-1. Diagramme de Hjulström, érosion-transport-sédimentation (BELLAIR et POMEROL, 1982)

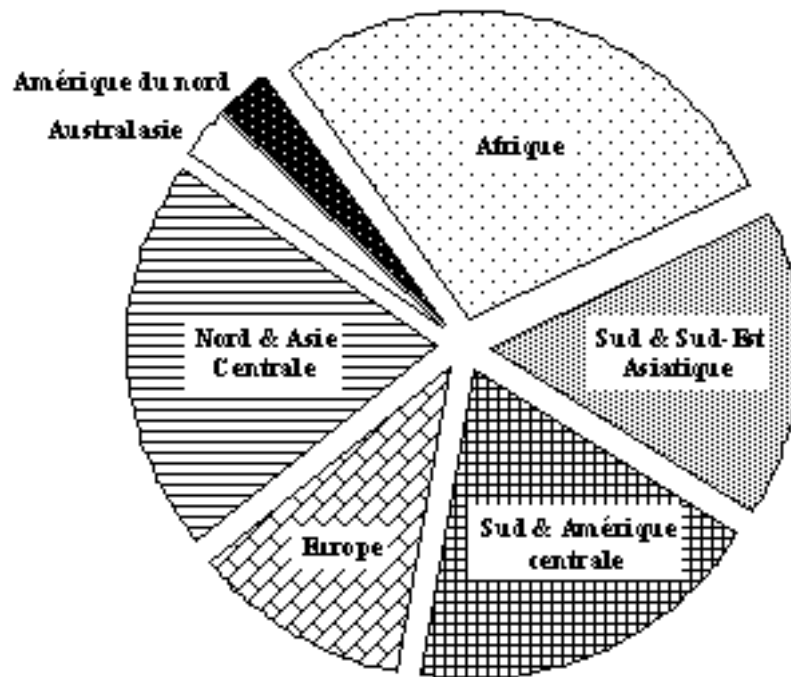


Figure I-2. Répartition des sols alluviaux dans le monde (FAO, 1993)



---

## Chapitre 2 Présentation de la zone d'étude

### 1. Situation géographique

---

Selon les données du C.D.A.R.S (1999), la commune de Guerrara est située à près de 110 Km au Nord-Est de Ghardaïa chef lieu de wilaya, elle couvre une superficie totale de 2600 Km<sup>2</sup>, elle est délimitée au Nord par la Wilaya de Djelfa, à l'Est par la Wilaya de Ouargla, à l'Ouest par les Daïras de Berriane et Bounora, et au sud par les Daïras de Zelfana et Al-Atteuf (Figure II-1).

La zone constituant le cadre de notre étude est la cuvette de Dayet El-Amied d'une superficie de 2 Km<sup>2</sup>, elle est située au sud-est de l'ancienne palmeraie de la ville de Guerrara. Elle s'étale sur les alluvions de l'Oued Zegrir, limitée au Nord par la voie routière (Guerrara-El-Hdjira) et quelques collines, à l'Est par l'ancienne palmeraie et une digue de 1000 m de longueur, au sud par des formations dunaires (voiles sableux Nebkas, dunes...) et des buttes témoins (Gara) et les sols de Mio-Pliocène (appelées localement « Tafza »), à l'Ouest par les Glacis de Mio-Pliocène.

Coordonnées géographiques : 32°45' N et 04°30' E.

Altitude moyenne : 303 m

### 2. Couverture végétale

---

D'après les travaux de BARRY et FAUREL (1973), les principaux groupements végétaux observés dans la région de Guerrara sont les suivant :

- **Steppes gypseuses** de faciès dégradé (anthropique) à *Euphorbia guyoniana* (Oum lebena) et *Oudneya africana* (Ghalga) . Ces deux espèces sont ceux qui dominent autour de Guerrara. Ils présentent une densité un peu plus grande dans les lits d'oued.
- **Groupements psammophiles à *Aristida pungens* (drinn)**. Localisés au sud des oasis de Guerrara, liés à des formations dunaires d'obstacle (nebkas et dunes).

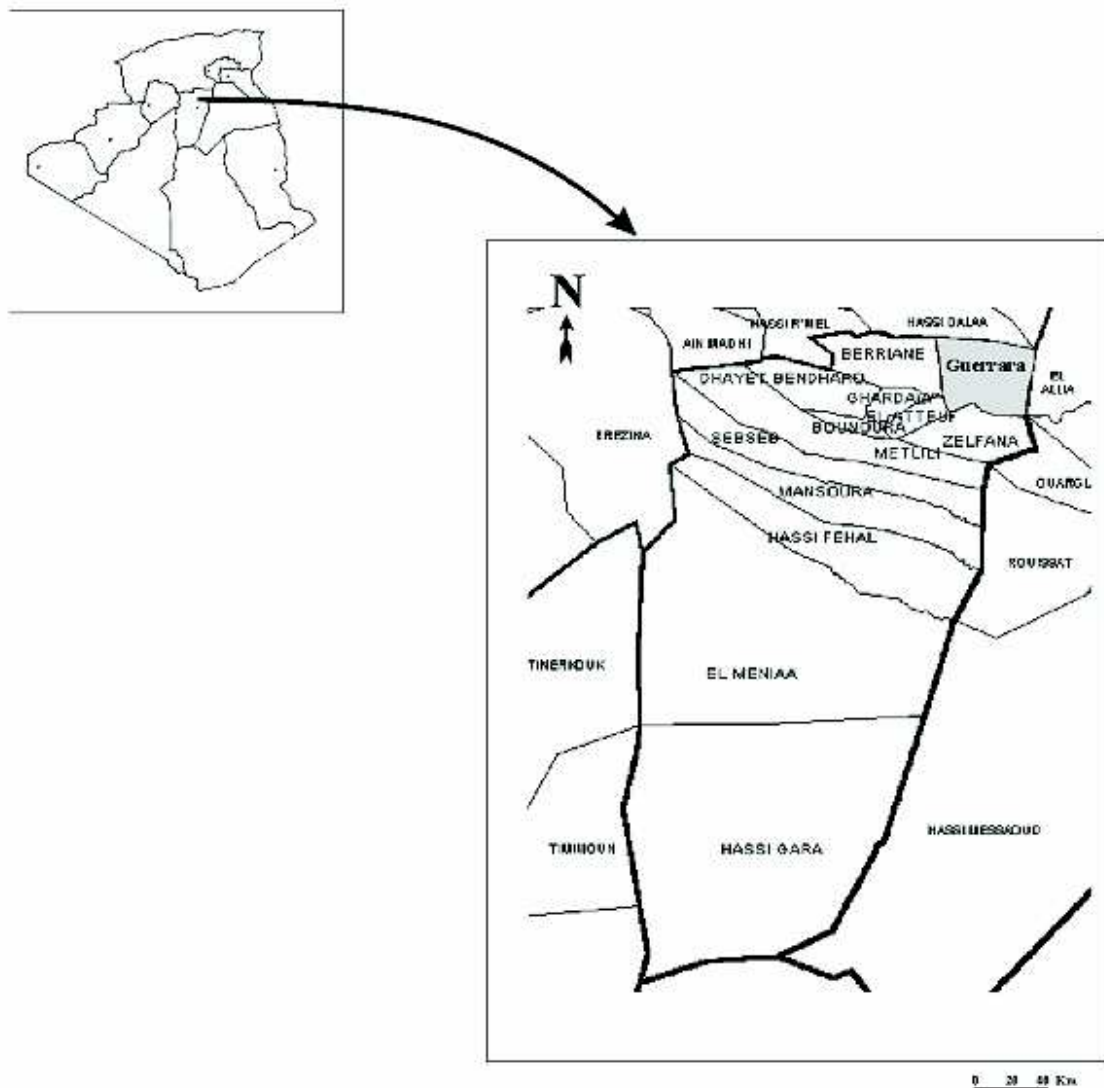


Figure II-1. Localisation géographique de la région de Guerrara

(C.D.A.R.S., 1999)

- **Steppes buissonneuses claires** à *Rhanterium suaveolens* ssp. *intermedium*, comportent trois sous-groupes qui se succèdent du Nord-Est au sud-est à savoir ; steppes à *Rhanterium suaveolens* ssp. *intermedium* et *Farsetia hamiltonii*, steppes à *Rhanterium suaveolens* ssp. *intermedium* et *Aristida plumosa*. Faciès à *Scabiosa camolorum* et steppes à *Rhanterium suaveolens* ssp. *intermedium* et *Aristida plumosa*.
- **Steppes buissonneuses** à *Arthrophytum scoparium* (remt) et *Farsetia hamiltonii*. Occupent la partie Ouest de Guerrara.
- **Palmeraie** à *Phoenix dactylifera*. C'est l'une des oasis isolées de la Pentapole mozabite, irriguées par les eaux de la nappe phréatique et de la nappe Albienne ainsi que par les eaux des crues d'oued Zegrir retenues par un barrage.

### 3. Environnement climatique

Le climat reste un élément prépondérant de la pédologie et de l'agronomie. Il joue un rôle important dans la répartition de la végétation et des sols (SELTZER, 1946). En effet, le climat est considéré comme l'un des facteurs les plus importants de la formation et de l'évolution du sol. Il conditionne le processus d'altération de la roche mère et oriente la pédogenèse.

L'insuffisance des données météorologiques sur la région de Guerrara, nous à contrariée à travailler sur les données de la station de Ghardaïa, considéré comme la plus proche de la région d'étude. Nos données climatiques sont basées sur la période allant de 1994 à 2005 (O.N.M. Ouargla, 2006).

### 3.1. Les précipitations

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental du climat saharien. On note ainsi des précipitations rares et irrégulières durant l'année et entre les années. Le cumul moyen annuel est de 75,53 mm pour la période 1994-2005. Alors que pour la période 1926-1950 elle a été de 56,7 mm. Les maxima des moyennes des pluies sont en mois d'avril avec 10,57 mm.

	Températures (°C)			Précipitations Moyennes (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Evaporation (mm)	Humidité (%)	Insolation (heures)
	Max. Moy.	Min. Moy.	Moyennes					
<b>Janvier</b>	17,02	5,93	11,47	10,19	3,63	118,55	57,64	253,27
<b>Février</b>	19,65	7,78	13,71	2,52	3,80	146,73	48,64	231,27
<b>Mars</b>	23,83	10,89	17,36	9,75	4,36	197,82	42,82	274,70
<b>Avril</b>	27,15	14,17	20,66	10,57	4,55	260,55	37,18	300,91
<b>Mai</b>	32,78	19,38	26,08	2,06	4,22	330,36	29,90	320,20
<b>Juin</b>	38,16	24,39	31,28	1,26	4,04	395,27	26,82	360,73
<b>Juillet</b>	40,84	26,54	33,69	0,81	3,66	448,82	23,27	336,00
<b>Août</b>	40,59	27,15	33,87	5,55	3,21	428,45	25,00	320,64
<b>Septembre</b>	34,76	22,54	28,65	7,56	3,50	300,91	37,45	279,00
<b>Novembre</b>	28,84	17,20	23,02	9,43	3,19	207,27	46,00	251,45
<b>Octobre</b>	21,70	10,69	16,20	8,17	3,23	154,18	53,55	242,82
<b>Décembre</b>	17,73	11,72	14,72	7,66	3,51	125,91	58,82	241,00
<b>Moyenne</b>	28,59	16,53	22,56	75,53*	3,74	3114,14*	40,59	3411,99*

Tableau II-1 : Données climatiques brutes de la station de Ghardaïa, période 1994-2005

\* Cumul annuel (O.N.M. OUARGLA, 2006)

La répartition des précipitations durant l'année est marquée par trois mois de sécheresse quasi-absolue (Mai, juin et juillet).

pour la région de Guerrara.

Mois	S.O.N.	D.J.F.	M.A.M.	J.J.A.	Régime
<b>Saisons</b>	Automne (A)	Hiver (H)	Printemps (P)	Eté (E)	
<b>Pluies (mm)</b>	25,16	20,37	22,38	7,62	APHE

Le tableau II-2 montre que la station de région de Guerrara est soumise à un régime saisonnier de type : Automne-Printemps-Hiver-Eté.

### **3.2. Les températures**

La lecture du tableau II-1 nous montre que la température moyenne annuelle est de 22,56°C. Juin, juillet et août sont les mois les plus chauds. Août est le mois le plus chaud avec une moyenne mensuelle de 33.87°, une moyenne des maxima de 40.84° en juillet. En hiver, les températures les plus basses enregistrées atteignent 11.47° en janvier et un minimum de 5.93°C. Il existe donc de grands écarts de température entre l'hiver et l'été. L'amplitude des variations thermiques annuelles, qui est l'une des particularités du climat des déserts chauds, elle est de 34.91° (T max –T min).

### **3.3. Les vents**

Avec la chaleur en été, le vent est l'autre caractéristique permanente du Sahara. Localement, selon SELTZER (1946), les vents dominants sont de direction Nord-Ouest.

En regardant le tableau II-1, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant de mars jusqu'au juin, avec un maximum de 4,55 m/s durant le mois d'avril.

### **3.4. L'évaporation**

En zones arides, l'évaporation et l'évapotranspiration sont les mécanismes majeurs de pertes en eau. Dans des bassins arides fermés, ils sont les seuls modes de perte en eau (ULLMAN, 1985).

Dans le Sahara, l'évaporation atteint des valeurs considérables. Ainsi dans notre zone d'étude le cumul annuelle est de 3114,82 mm, avec un maximum pendant la période de juin, juillet et août avec une moyenne de 448,82 mm en juillet. Les minima sont enregistrés durant le mois de janvier (118,56 mm).

### **3.5. L'Humidité de l'air**

Le degré hygrométrique de l'air - ou humidité relative - oscille, entre 23,27 au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation des vents chauds ; et 58,82 % au mois de décembre ( hiver). La moyenne annuelle est de 40,59 % (voir tableau II-1), elle varie sensiblement en fonction des saisons, et elle ne dépasse pas les 50% pendant 9 mois sur 12 (d'octobre à janvier). Pendant l'été, elle chute jusqu'à 26.82% en juin.

Les variations quotidiennes des humidités, sont en rapport avec celles des températures, l'humidité relative est généralement minimale vers 15 heures et maximale vers 6 heures, au lever du soleil (Sahara, 2003).

### **3.6. L'insolation**

Le Sahara détient le record mondial de l'ensoleillement avec 3000 à 3500 heures par an. En saison sèche, le ciel est clair et lumineux tant que le vent ne le trouble pas, ce qui est rare. Au cours de la saison des pluies, il prend un aspect plombé et les nuages peuvent former une nappe continue d'autant plus impressionnante que les horizons sont vastes.

Pour la station de Ghardaïa, le tableau II-1 montre que la durée d'insolation moyenne est de 284,33 heures. Les valeurs peuvent atteindre 360,73 heures durant le mois de juin, avec un cumul annuel de 3411,99 heures.

### 3.7. Le bilan pluviométrique

L'intensité de l'ETp joue un rôle particulier dans la perte d'eau du sol, donc sur l'humidité édaphique. C'est une caractéristique climatique au même titre que les autres facteurs du climat (pluies, vent, températures.). Elle traduit la demande en eau que le climat impose aux surfaces évaporantes (DAMAGNEZ, 1958).

OLLIER et POIREE (1971) proposent plusieurs formules permettant de calculer l'ETP, entre autres celles de THORTHWAITE (1948), TURC (1961). Dans notre cas on a choisi la formule de TURC (1953), pour sa simplicité, et la disponibilité de tous les facteurs qui la compose. La formule s'écrit comme suit :

$$ETp = 0,40 \cdot (I_g + 0,5) \cdot (T / T+15)$$

Avec

ETp = L'évapotranspiration potentielle (mm/mois);

I<sub>g</sub> = La radiation globale du mois considéré (cal/cm<sup>2</sup>/j) sur une surface horizontale (soit mesurée directement, soit calculée);

t = Température moyenne mensuelle en degrés centigrades ( pour tout mois où t est inférieure ou égale à 0, l'ETp est prise égale à 0).

Le calcul se faisant mois par mois, il y a lieu de tenir compte de la durée variable des mois. Pour le mois de février, le coefficient 0,4 est remplacé par 0,37 (OLLIER et POIREE, 1971).

I<sub>g</sub> est, en effet, donné par la relation :

$$I_g = I_gA \cdot (0,18 + 0,62 \cdot h/H)$$

Avec

I<sub>gA</sub> = La radiation maximale donnée par les tables de ANGOT avec une transparence de l'atmosphère égale à 1

h/H = Insolation relative, en heures;

Notons qu'elle a été établie pour une humidité relative pour le mois considéré supérieur à 50%. Lorsque hr n'atteint pas 50%, la valeur trouvée pour l'ETp doit être multipliée par le facteur correctif suivant:

$$[1 + (50 - hr)/70]$$

Tableau II-3 : Paramètres de l'ETp pour la station de Ghardaïa

	h	H	h/H	IgA	Ig	hr %	T °C	P mm	ETp mm	P-ETp mm
Janvier	256	320	0,80	480	324	57,64	11,47	10,19	56,30	-46,12
Février	247	311	0,80	599	403	48,64	13,71	2,52	72,74	-70,22
Mars	278	372	0,75	746	480	42,82	17,36	9,75	105,22	-95,48
Avril	303	389	0,78	871	577	37,18	20,66	10,57	146,47	-135,91
Mai	318	429	0,74	949	608	29,90	26,08	2,06	183,83	-181,77
Juin	366	427	0,86	975	693	26,82	31,28	1,26	230,88	-229,62
Juillet	334	434	0,77	956	628	23,27	33,69	0,81	222,27	-221,46
Août	311	413	0,75	885	572	25,00	33,87	5,55	199,36	-193,81
Septembre	277	371	0,75	773	497	37,45	28,65	7,56	142,54	-134,97
Octobre	261	354	0,74	634	404	46,00	23,02	9,43	95,78	-86,35
Novembre	245	316	0,77	501	331	53,55	16,20	8,17	68,78	-60,61
Décembre	243	312	0,78	439	291	58,82	14,72	7,66	57,79	-50,13
Moyenne	287	371	0,77	734,00	484,05	40,59	22,56	75,53*	1713,79*	-1631,99*

\* cumul annuel

### Interprétation

Lorsque l'évapotranspiration s'accroît, et cela coïncide avec la diminution de la hauteur des pluies le sol cède une partie de sa réserve, et quand celle-ci est épuisée, l'évapotranspiration n'est plus alimentée que par les pluies. Si elles sont insuffisantes pour atteindre la valeur de l'ETp, il y a déficit en eau.

Sur les courbes d'ETp - Précipitations (Figure II-2) on retrouve une période déficitaire s'étalant sur toute l'année avec un déficit maximal de -230,12 mm au mois de juin. Les très faibles précipitations ne permettent pas la reconstitution de la réserve d'eau du sol, ainsi le drainage est absent, sauf pendant les périodes de crues.

Le rôle pédologique ainsi qu'écologique de ces variations peut être résumé en deux points :

1. Pendant les périodes de drainage (pendant les crues), il y a possibilité d'entraînement des éléments; ce phénomène est en rapport avec la durée du drainage et la quantité d'eau percolée vers la profondeur.
2. Les longues périodes de déficit font qu'il y a absence d'entraînement des éléments dans les sols.

### 3.8. Indice d'aridité

L'indice d'aridité (Ia) est le rapport entre la moyenne des précipitations annuelles (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) ( $Ia = P/ETP$ ) (SMITH & KOALA, 1999). Pour la région de Ghardaïa  $Ia=0.048$ , ce qui correspond à une zone aride (Tableau II-4)

Tableau II-4 : Classification de l'aridité (d'après, LLOYD, 1986 in OULD BABA SY, 2005)

Zone	Sub-humide sèche	Semi aride	Arde	Hyper-aride
Indice d'aridité Ia	0.5-0.65	0.2-0.5	0.05-0.2	<0.02
Pluviométrie (mm/an)	?	200-500	20-200	0-50

### 3.9. Synthèse climatique

### 3.9.1. Diagramme Ombrothermique

Selon BAGNOULS ET GAUSSEN (1953), un mois sec, est celui où le total mensuel des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle.  $P \leq 2T$ . Ce diagramme nous permet d'apprécier la durée et l'intensité de la saison sèche, dans notre cas celle-ci s'étale sur toute l'année (Figure II-3).

### 3.9.2. Etage bioclimatique

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER ( $Q_2$ ) a été élaboré en 1930. Il est spécifique au climat méditerranéen, il sert pour la classification bioclimatique d'une zone donnée en se basant sur les températures et les précipitations.

$$Q_2 = 2000 \cdot P / [(M-m) \cdot (M+m)]$$

STEWART (1969) a montré que pour l'Algérie et le Maroc la dernière formule pouvait être simplifiée pour s'écrire :

$$Q_2 = 3,43 \cdot P / (M-m)$$

Avec

$P$  : pluviosité moyenne annuelle en mm,  $M$  : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud en °C,  $m$  : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid. en °C.

Pour la station de Guerrara (Ghardaïa) et pour la période 1994-2006,  $Q_2 = 7,42$ , ce qui correspond à l'étage bioclimatique : Saharien à Hiver tempéré (Figure II-4).

Précipitations moyennes annuelles (mm)	Température moyenne maximale du mois le plus chaud		Température moyenne minimale du mois le plus froid		Q2	Etage bioclimatique
	T °C	T °K	T °C	T °K		
75,53	40,84	313,84	5,93	278,93	7,42	Saharien à Hiver tempéré

Tableau II-5 : Etage bioclimatique de la station de Guerrara.

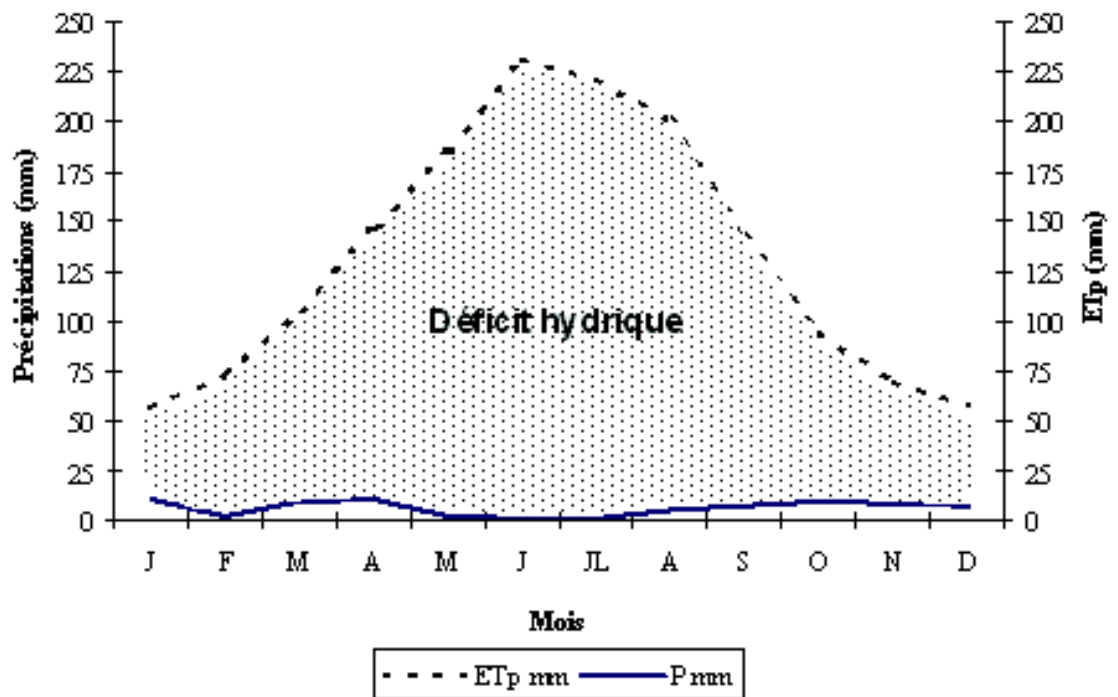


Figure II-2. Bilan hydrique pour la région de Ghardaïa

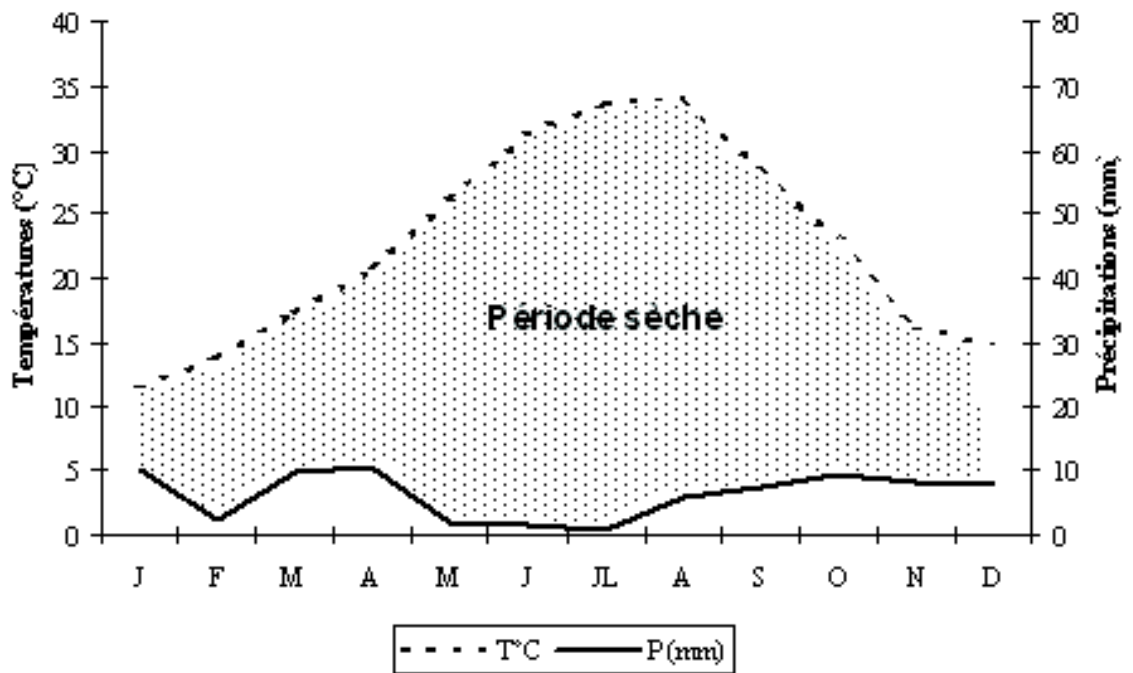


Figure II-3. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) pour la région de Ghardaïa



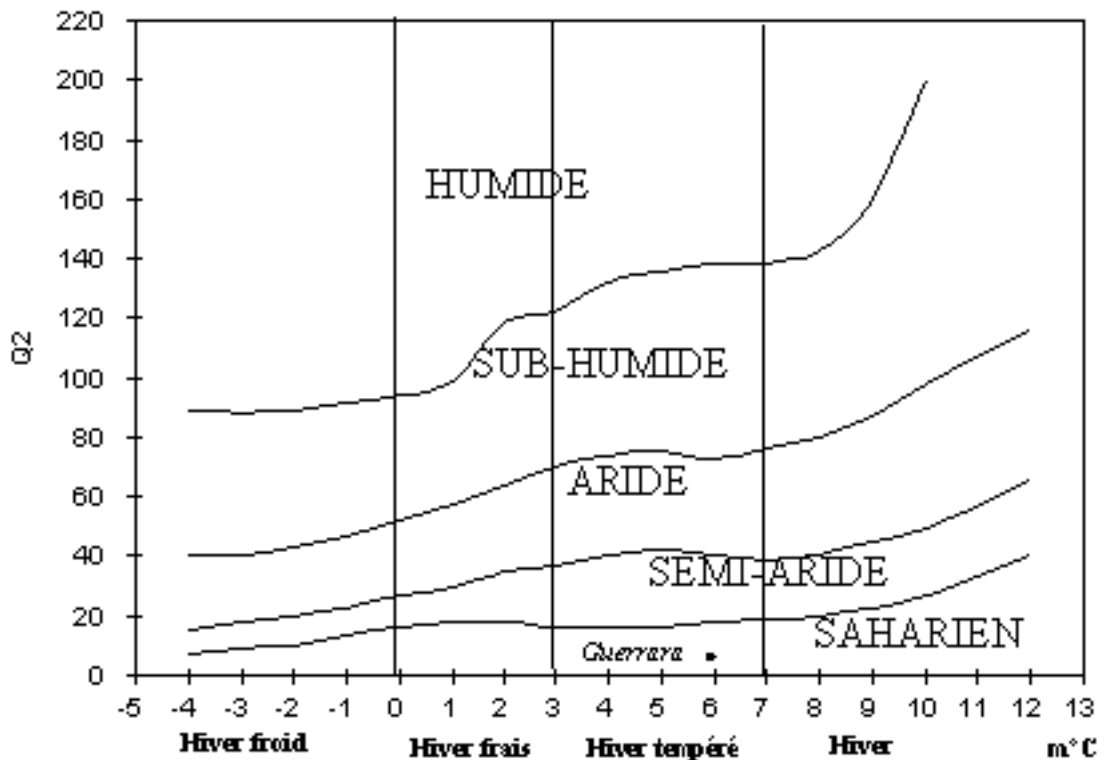


Figure II-4. Climagramme d'EMBERGER (1952) Localisation de la station de Guerrara.

#### 4. Cadre géologique

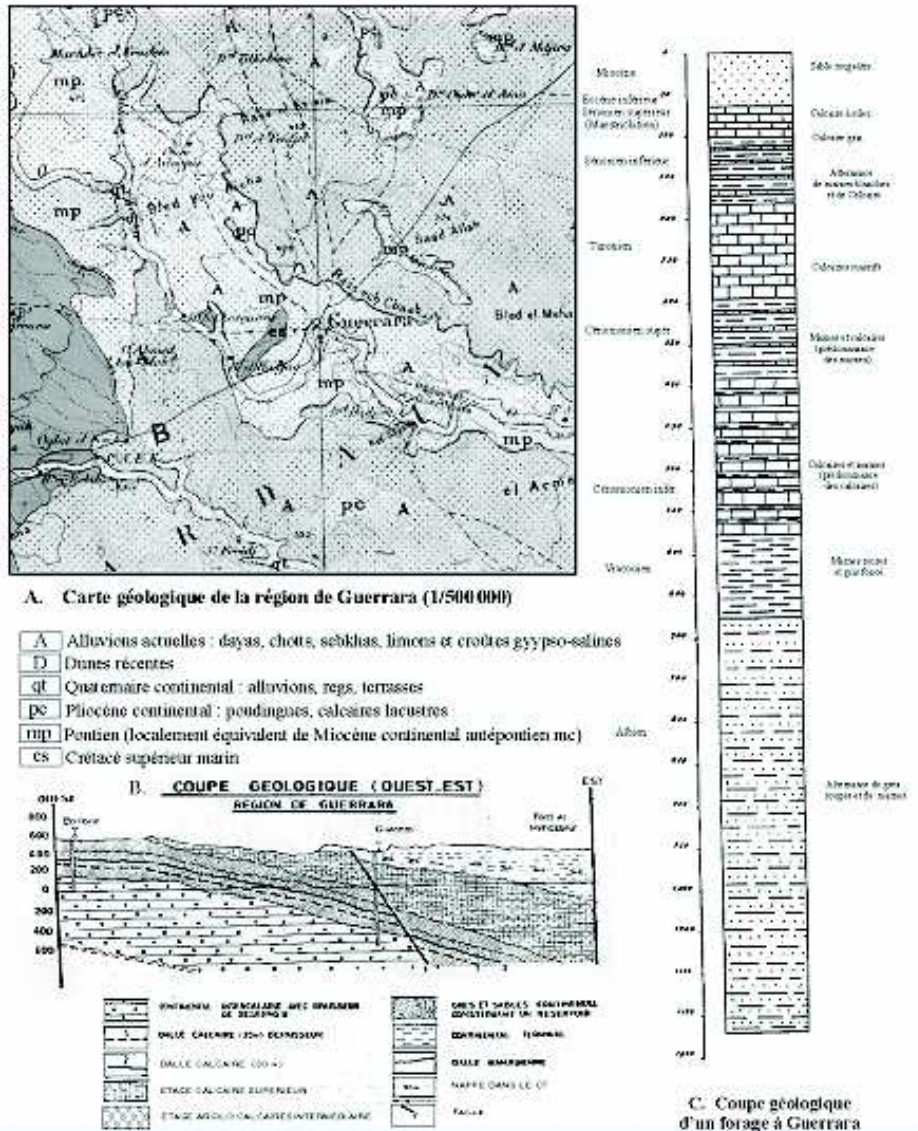
**Au Crétacé supérieur (Cénomanién),** la mer envahi pour la première fois et la dernière fois le Sahara. Le Cénomanién transgressif est représenté par les marnes et marno-calcaires à Ostracéen le Turonien plus généralement calcaire, le Sénonien montre aussi des calcaires en même temps que de fréquentes intercalations gypseuses. Les affleurements de ces débris calcaires du Crétacé supérieur se sent par des plateaux rocheux immenses (Hamadas) revêtus souvent d'un encroûtement désertique vernissé noir (oxydation des sels de fer). Dans l'Atlas saharien et les Hauts Plateaux la sédimentation s'est faite dans les régions occupées par la mer au Crétacé inférieur.

Selon la description de FABRE (1976), a Guerrara, le Crétacé supérieur occupe la zone de Bled Bouaicha au nord-ouest, et représente un affleurement secondaire. Cette formation, qui caractérise une grande partie de la région de la Chebka de Mzab, est constituée d'une double dalle claire, dure, de calcaires plus ou moins dolomitiques parfois pétries de coquilles marines

**Au Néogène** , selon la description deDJILI (2004) à partir de la carte géologique d'Algérie (feuille d'Alger sud au 1/500 000, SCG, 1952), la dépression de Guerrara est creusée dans un dépôt de continental terminal daté de Pontien (mp) localement équivalent au Miocène continental Antépontien (Figure II-5). Le dépôt est connu au nom du Mio-Pliocène, ce sont des formations détritiques récentes qui occupent les dépressions de l'Atlas saharien, et qui s'étendent largement au sud, sont rattachées au Miocène supérieur et au Pliocène, sans que l'on puisse établir une discrimination exacte.

Le Pliocène continental (pc) constitue tout le reste des terrains tertiaire. Ce sont des dépôts lacustres à forts étendus, formé de calcaire blanchâtre qui correspond à une carapace hamadienne plus moins continue, plus ou moins épaisse. D'une manière générale, cette formation calcaire, avec phénomènes superficiels de corrosion et de décalcification, s'étend principalement dans la région des Dayas (S.C.G, 1939).

Le Quaternaire continental (qt), toujours selon la description de DJILI (2004), sont des formations sédimentaires spécifiquement sahariennes, il s'agit d'alluvions



11-5 Carte et coupe géologique de la région de Guerrara (d'après S.C.G., 1952 GAUTIER et GOUSKOV, 1951)

quaternaires fluviaux qui ne se trouvent pas exclusivement dans les vallées de ruissellement. Mais elles remplissent aussi de grandes aires déprimées dans les chaînes plissées de l'Atlas saharien.

## 5. Cadre géomorphologique

Le travail réalisé par AITEUR & HAMDANI (2006) sur la géomorphologie de la région Guerrara a permis de distinguer cinq ensembles morphologiques principaux:

### 5.1. Les formations structurales

**Les Hamadas :** Plateau structural défini par des calcaires gréseux et grès (Figure II-6), et qui se réduit en deux dalles Hamadiennes légèrement inclinées vers le Sud Est qui se terminent par des fronts de Cuesta aux talus entaillés dans des grès gypseux en pente forte et très tendues surplombés par des corniches abruptes. Ces dalles Hamadiennes sont à une dénivellation de 75 m sur une distance qui varie de 2 à 3 Km.

**Les Gours :** Ce sont des buttes qui témoignent de l'ancienne extension des plateaux subtabulaires, elles sont isolées du plateau par le jeu de l'érosion différentielle. Les Garas de l'Amied, sont situées au milieu du lit de Oued Zegrir, leur altitude est de 340m. Ces Gours sont encore un théâtre du jeu d'érosion hydroéoliennes et de phénomène karstique. Elles constituent un vrai piège de sables éoliens sur leurs versants sud avec des dunes qui sont formées à leurs dépendants.

### 5.2. Les formations des versants

**Les glacis d'ablations :** Forme de relief non structurale consistant en une surface plane et peu inclinée. La zone de Guerrara se caractérise par tout un système de glacis, qui s'emboîtent dans les deux dalles Hamadiennes. Les glacis sont interrompus en endroits par des dépressions elliptiques appelées Dayas. On rencontre trois glacis dans la région de Guerrara :

- **Glacis de Ras Echaabe :** Situés au Nord, à une altitude de 350 à 400m.
- **Glacis de Drin :** Un peu plus à l'Est de l'Amied 3Km de prés.
- **Glacis du sud de la palmeraie :** Du côté Tafziouine, Rass Essagua El Kef.

**Les cônes d'éboulis :** Il s'agit des éboulis de pente qui ont subit le phénomène de gélifraction et de thermoclastisme et qui les ont ameublies, le ruissellement à son tour leur a conféré un aspect de cône d'éboulis complexe. Le remplissage est essentiellement sablo-limoneux issu des formations gréseuses, l'aire d'alimentation en eau de Dayet Hadjou est très restreint tandis que Dayet Ben feileh reçoit directement les écoulements de l'Oued Zegrir.

### 5.3. Les formations fluviatiles

Il s'agit essentiellement des épandages de l'Oued Zegrir. Sur la rive droite de la zone d'épandage, au Sud de la première Gara, le lit ancien comprend des alluvions consolidées et parsemées de champ de Nebka et des voiles. La limite franche entre les dépôts grossiers de la carrière et les dépôts fins de la palmeraie de Guerrara ; et ceux de Dayet El-Amied, laisse penser que l'Oued n'ait fonctionné que récemment dans ces deux cites, ce qui est confirmé par l'inexistence des terrasses dans la Daya et la non-évacuation des fragments calcaires issus de la fragmentation de la dalle (cas de Drin et Gertoufa et les glacis de l'Amied ).

### 5.4. Les formations superficielles

**Glacis supérieurs :** Les formations sont essentiellement sablo-limoneuses à graveleuses, tapissées de couverture caillouteuse qui leurs confère un aspect de Reg, l'épaisseur est considérable, la couleur est blanche pâle - ainsi qu'elle paraît sur l'image satellite. qui due aux cailloutis calcaires.)

*Glacis du golf de Guerrara (Amied)* : Les formations dépassent 14 m d'épaisseur avec une couleur rougeâtre, la texture est sablo-limoneuse et les surfaces sont légèrement parsemées de nodules de grès, mise à part les glacis de Drin qui marquent une formation sablo-limoneuse mêlée de gypse poudreux.

### 5.5. Les encroûtements

*Croûtes grésocalcaires* : Elles sont situées au Nord de la palmeraie de Guerrara, également à Saguiet El djanaia, elles apparaissent sous formes de dépôts béchiques constitués de nodules de grès cimentés par le calcaire. Elles sont d'une épaisseur variant de quelques centimètres à 1 mètre en aval des glacis supérieurs de Ras Echaabe.

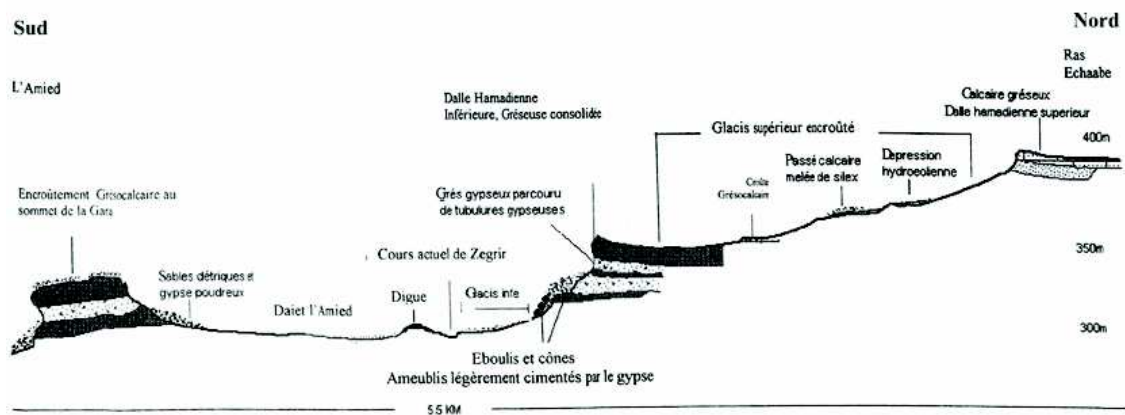


Figure II-6. Coupe schématique définissant les deux dalles Hammadiennes avec leurs formes et formations

AITEUR & HAMDANI (200)

**Croûtes gypseuses** : Se trouvent au-dessous des dépôts sableux entrecroisés et grésifiés, elles sont de couleur beige claire à l'affleurement, blanchâtres en coupe, assez compactées à leurs parties supérieures mais souvent pulvérulentes en dessous, L'épaisseur de la formation varie de 25cm à Saguiet El djanaia au Nord et 1m à Dayet ben feileh au Sud-Est.

## 6. Cadre hydrogéologique

### 6.1. Système Aquifère

La région de Guerrara fait partie du Système Aquifère du Sahara Septentrional et plus exactement du bassin de Melrhir. Ce système aquifère s'étend sur 1.100.000 km<sup>2</sup> entre l'Algérie, la Libye et la Tunisie. Il est constitué de deux principales couches aquifères : le Continental Intercalaire et le Complexe terminal qui renferment d'importantes réserves évaluées à 30.000×10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>d'eaux souterraines. Les nappes aquifères du Sahara se localisent dans des formations géologiques variables et peuvent être d'âges différents. Les réservoirs aquifères se trouvant, en général à de très grandes profondeurs, sont souvent captifs. Ils peuvent aussi être libres à certains endroits (OULD BABA SY, 2005).

### 6.2. Réseau hydrographique

Le Sahara actuel porte les vestiges d'un réseau hydrographique ancien qui témoigne d'écoulements de surface énergiques au cours des périodes humides du Quaternaire. Bien que ce réseau soit aujourd'hui plus ou moins colmaté par des apports éoliens ou des dépôts sédimentaires, il est encore possible de discerner une organisation hydrographique importante dont le fonctionnement a déterminé le modèle actuel (OULD BABA SY, 2005).

### L'Oued Zegrir

L'Oued Zegrir fait partie du Bassin du Mzab, englobant sous cette dénomination les quatre grands oueds qui le traverse, à savoir : le Zegrir, le Nsa, le Mzab et le Metlili.

Selon DUBIEF (1953) l'Oued Zegrir est limité à la hauteur de Guerrara, situé en majeure partie sur les affleurements du Miocène et du Pliocène continentaux, il est parsemé de nombreuses Dayas, parfois drainées par des oueds. La longueur de l'artère maîtresse, en prenant pour origine la tête de l'O. Ajerma, atteint 270 km à la Daya ben Feïla, limite normale des grandes crues. Si l'on tient compte des écoulements exceptionnels qui empruntent la vallée de l'oued Zgag, celle-ci est portée à près de 300 km.

### - Estimation du ruissellement de l'Oued Zegrir

Selon OULD BABA SY (2005), les pluies sahariennes peuvent donner lieu à des ruissellements importants observés, de nos jours, au Sahara. Une grande partie de ces eaux s'infiltré dans les lits des oueds ou s'étale dans les régions d'épandage avant de s'infiltrer dans les formations aquifères affleurantes. Le volume moyen ruisselé calculé par s'établit à  $13 \text{ Mm}^3/\text{an}$  pour le Zegrir (Tableau II-6).

Tableau II-6 : Le ruissellement moyen annuel calculé sur l'Oued Zegrir OULD BABA SY (2005)

Bassin-versant	Pmoy (mm)	IG Pente moyenne du bassin en m/km	Lr Lamé ruisselée moyenne annuelle en mm	Surface ( $\text{km}^2$ )	Vr Volume ruisselé ( $\text{Mm}^3/\text{an}$ )
O. Zegrir	108	2.97	3.06	4100	13

### - Les crues dans l'Oued Zgrir

Une étude réalisée sur les crues du bassin du Mzab par BRL (1998a) à estimée que le nombre de jours de crue pour l'Oued Zegrir pour la période allant de 1921 à 1937 est de 18 jours, et sont de 27 jours pour la période allant de 1950 à 1961 (Tableau II-7). Cette même étude à estimée qu'en moyenne, on peut compter sur deux jours de crue par an des débits qui peuvent atteindre  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  pour de fortes crues:.

Tableau II-7 : Nombre de jour de crue des oueds du bassin du Mzab (BRL, 1998a)

Bassin-versant	Superficie du bassin- versant ( $\text{Km}^2$ )	Nombre de jours de crue (total pour la période)	
		1921-1937	1950-1961
O. Zegrir	4100	18	27

## 7. Couverture pédologiques

Les principales données bibliographiques concernant les sols dans notre secteur d'étude sont issues des travaux de BAIT et al (1977), CDARS (1999), B.N.E.D.R. (2000). elles

montrent que les sols du lit des oueds de la région de Guerrara ont une texture limono-sableuse à sablo-limoneuse, leur salinité est faible, de même pour leur fertilité chimique, sauf pour des petites zones où la mauvaise gestion de l'eau et la texture argileuse permet d'avoir des sols salins.

Le récent travail de DJILI (2004) sur les sols de la plaine alluviale de Dayet El-Amied a permis de dégager trois types de sols selon la systématique WRB-FAO :

- **Arenosol, yermique** : Se rencontrent en amont et au sud du lit majeur de l'Oued Zegrir, dans le Sud-Ouest de la Daya d'El-Amied, et au niveau du glacis du Mio-Pliocène en dehors de lit d'oued Zegrir.
- **Fluvisol, Takyrique** : Représentent les sols de la palmeraie traditionnelle, et une grande partie de Dayet El-Amied.
- **Fluvisol, Calcari-Takyrique** : Occupe la partie centrale du bas fond de Dayet El Amied.

# Partie II Etude expérimentale

## Chapitre 3 Matériel et méthodes

### 1. Choix de la zone d'étude

Le choix de Dayet El-Amied s'est fait sur la base du projet de recherche « DAYACLIM » sur la « reconstitution des changements climatiques en Afrique du nord à partir des fluctuations du cycle hydrologique », en s'appuyant sur les trois critères suivants :

- L'épaisseur de la couche et du volume des archives doivent être sur une profondeur accessible sans forage.
- Dans sa grande partie, le matériel alluvial et le dépôt éolien qui y arrivent y sont bloqués
- Le système dans sa grande partie resté clos, c'est-à-dire exempt de toute contribution supplémentaire en carbone actif ou « mort ».

### 2. Répartition des profils

Trois profils ont été réalisés et répartis comme suit :

Tableau III-1 : Répartition des profils dans la zone d'étude

Profil	Végétation	Altitude (m)	Matériau parental	Topographie
P1	Palmeraie à <i>Phoenix dactylifera</i>	303	Grés rouges	Très légère pente
P2	Steppes buissonneuses claires à <i>Rhanterium suaveolens ssp. intermedium</i>	303	Grés rouges	Très légère pente
P3	Palmeraie à <i>Phoenix dactylifera</i> + mauvaises herbes	303	Grés rouges	Très légère pente

### 3. Méthodologie d'étude

#### 3.1. Documents de base

Il y a un manque flagrant dans la documentation sur la région de Guerrara, notamment en ce qui concerne les cartes à grande échelle, c'est pour cette raison qu'on s'est contenté de travailler sur des cartes à petite échelle. Les cartes et les photo-aériennes consultées sont :

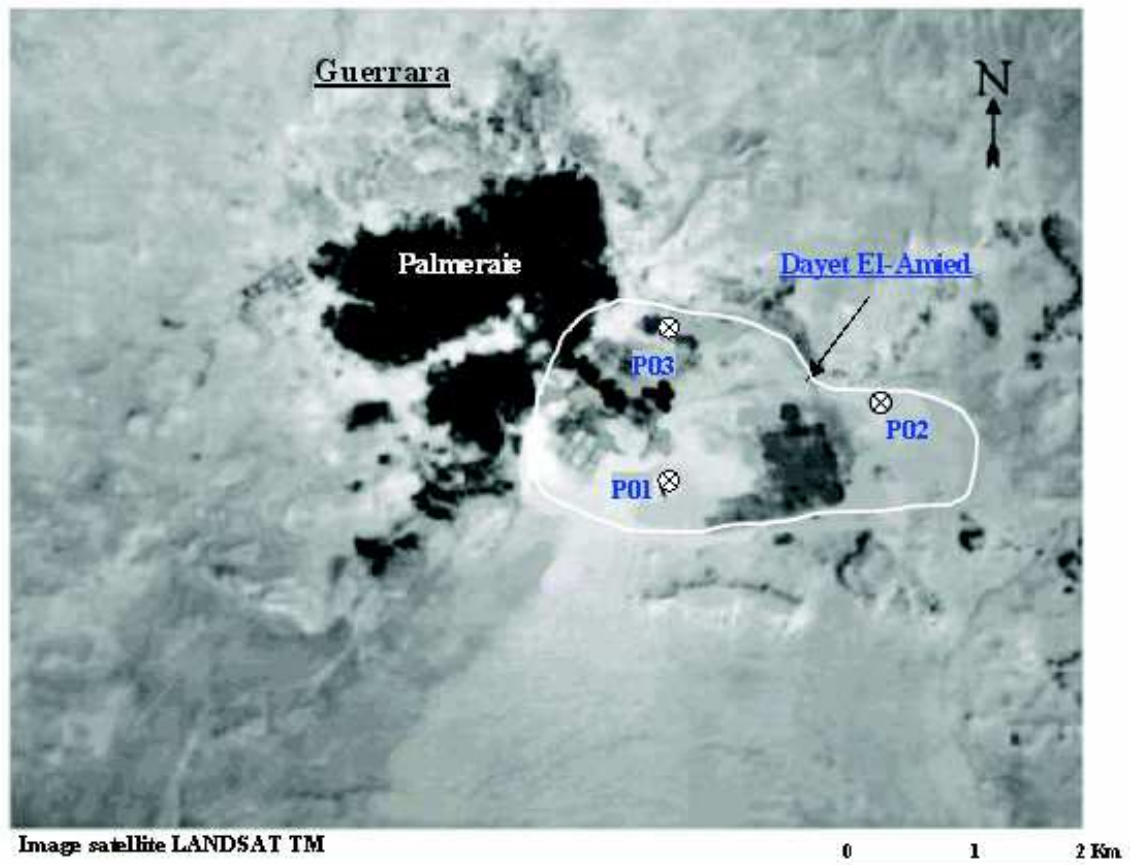


Figure III-1. Répartition des profils 1, 2 et 3 sur le site d'étude (Dayet El-Amied)

- Les photographies aériennes anciennes de Guerrara : 1/25000 (1959), 1/10000 (1980) et 1/60000 (1982).
- Carte topographique de Guerrara : 1/200 000 (1960).
- Carte géologique d'Alger sud : 1/500 000 (1952).
- L'image satellite LANDSAT TM de 30m de résolution, échelle 1/75.000, Ses coordonnées sous orbitales, PATH/ ROWest 1941037, la date d'acquisition : 18/01/2003.

### 3.2. In situ

L'exploitation des renseignements fournis par les photo-aériennes, nous ont permet de tracer un plan d'échantillonnage, suivant la méthode de la photo-interprétation de MAIGNIEN (1969); BONNEAU et SOUCHIER (1979) ; LEGROS et al, (1996).

La photo-aérienne de 1959 représentant une grande partie de Dayet El-Amied dans son état naturel, nous a permis de délimiter des unités homogènes du point de vue état



de surface (HAMDIAISSA et GIRARD, 2000) en tenant compte de l'influence du milieu, principalement l'action de Oued Zegrir.

Les observations sur le terrain ont été faites suivant les recommandations de MAIGNIEN (1969) et de BAIZE et JABIOL (1995), et ont été notées sur une fiche analytique, sur laquelle figure également un schéma exprimant les principaux caractères perceptibles sur le terrain.

### **3.3. Au laboratoire**

#### **3.3.1. Analyses physiques et chimiques**

Il faut noter que l'ensemble des analyses physiques et chimiques ont été réalisées au laboratoires d'analyses physico-chimiques de l'université de Ouargla dans le cadre de l'étude préliminaire des sols alluviaux du Daya d'El-Amied réalisé par DJILI (2004) pour le projet *DAYACLIM*. Avant d'entamer les analyses physiques et chimiques, les sols sont séchés à l'air libre pendant au moins une semaine.

##### **3.3.1.1. Granulométrie**

L'objet de cette analyse est de déterminer la texture en classant par catégorie de diamètre, les particules minérales du sol sur un diagramme des textures (Figure III-2). Elle est réalisée en deux étapes:

Réalisée avec la méthode internationale à la pipette de Robinson, dont la séparation des différentes classes de particule se fait par sédimentation (Loi de STOKES) et prélèvements à des temps échelonnés pour les fractions les plus fines

( $\leq 50 \mu\text{m}$ )

et par tamisage pour les fractions supérieures (AUBERT, 1978, AFNOR, 1999b).

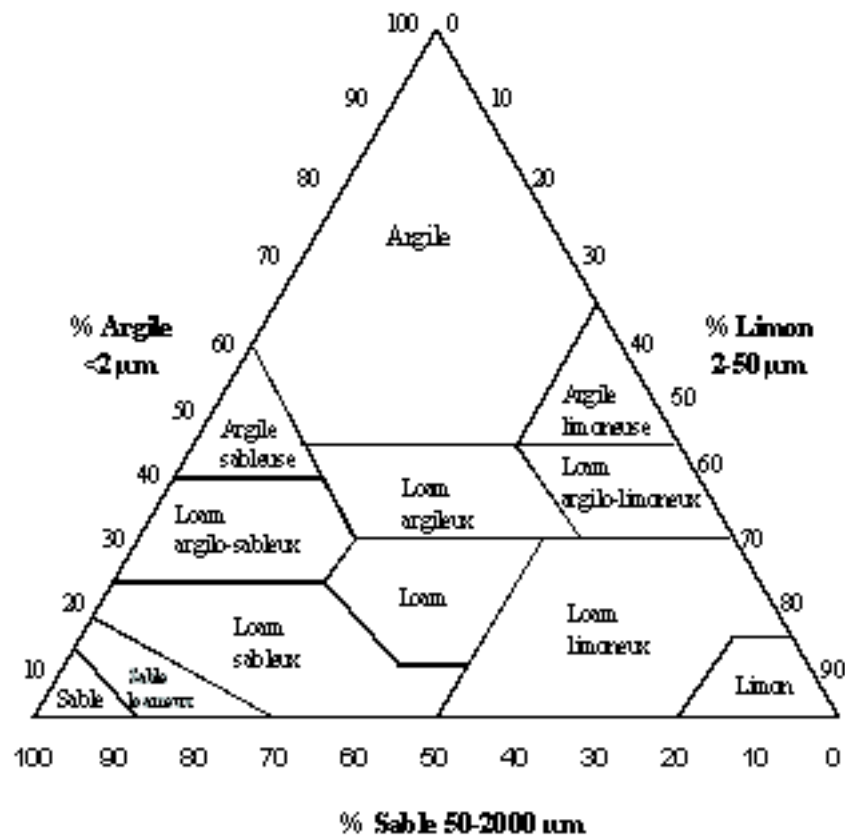


Figure III-2. Diagramme de classification détaillée des textures

(US Taxonomy 1976 et clés de la Taxonomie des sols, 1986) (in MATHIEU C. et PIELTAIN F., 1998)

### 3.3.1.2. Calcaire total

Déterminé par la méthode du calcimètre de Bernard, (méthode volumétrique). Les sols contenant de la dolomie ont été d'abord broyés finement pour faciliter par la suite l'attaque par l'acide chlorhydrique (AUBERT, 1978).

### 3.3.1.3. Matière organique

Elle est estimée après le dosage de carbone organique existant dans les échantillons par la méthode de Anne (1945), dont le principe est basé sur l'oxydation sulfochromique et titration par le sel de Mohr (AUBERT, 1978 ; AFNOR, 1999). Le résultat du dosage du carbone permet également d'évaluer la teneur en matière organique du sol :

$$\text{M.O (\%)} = \text{C (\%)} \cdot 1,72$$

### 3.3.1.4. Capacité d'échange cationique

La CEC est déterminée par l'analyse des bases échangeables par l'oxalate d'ammonium et l'analyse de l'hydrogène échangeables par l'acétate de calcium (acidité potentielle). Et ceci en mesurant de la concentration des ions ammonium libres dans le filtrat, par dosage de l'azote ammoniacal (AFNOR, 1999a).

### 3.3.1.5. Conductivité électrique

La méthode consiste à plonger dans un extrait 1/5, agitée pendant une demi-heure une électrode d'un conductivimètre (AUBERT, 1978 ; AFNOR, 1999).

### 3.3.1.6. pHeau

Il représente l'acidité actuelle, il est mesuré" par la voie électrométrique (pH-mètre) par enfouissement d'une électrode, dans une solution (1/5) de sol, après avoir agité pendant une demi-heure (AFNOR, 1999a).

### 3.3.1.7. Bilan ionique

Effectué sur des extraits 1/5. Il consiste à analyser les anions :  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{--}$  et les cations :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  (COUTINET, 1965 ; AUBERT, 1978 ).

Les anions  $\text{SO}_4^{2-}$  sont dosés par la méthode gravimétrique après précipitation sous forme de chlorure de baryum.

Les anions  $\text{Cl}^-$  sont dosés par la méthode Argentométrique de Mohr.

Les anions  $\text{HCO}_3^-$  sont dosés par titrimétrie au  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Les Cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  sont analysées après dilution ( $D = 50$ ) par spectrophotométrie d'absorption atomique de flamme (SAAF).

Les cations de  $\text{Na}^+$  sont analysés après dilution ( $D = 50$ ) par spectrophotométrie à émission atomique de flamme (SEAF).

### 3.3.2. Analyse chimique totale (Eléments totaux)

L'analyses chimique totale est réalisée aux laboratoires de l'office de recherche des gisements et mines de Boumerdes (ORGM). L'extraction consiste à la destruction complète des silicates par le fluorure d'hydrogène HF et la mise en solution de tous les éléments chimiques, quelles que soient leurs formes initiales. Les analyses ont portées sur l'ensemble des profils et sur la poudre totale (2 mm). Les éléments dosés sont : Si, P, Fe, Al, Na, K, Ti, Mn, Ca, Mg.

### 3.3.3. Diffraction aux rayons X

Les analyses minéralogiques ont été effectuées au Laboratoire de Caractérisation Post-Irradiation des Matériaux (Département Etudes Mécaniques et Essais sur Matériaux) du Centre de Recherche Nucléaire de Birine Ain Oussera.

#### 3.3.3.1. Techniques d'Analyses

Les analyses par diffraction à rayons X ont été réalisées avec un diffractomètre « X'PERT PRO MPD » de Philips en mode  $\theta$ - $\theta$ , équipé d'un goniomètre vertical de rayon 240 mm et muni d'un tube à rayons X à anticathode Cu K $\alpha$ ; ( $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$ ), compteur à scintillation, haute tension 40 kV, intensité 30 mA, avec un pas de  $0,03^\circ$  en  $2\theta$  et avec un temps d'acquisition de donnée 0.5s. Le détecteur interfacé est de type à gaz xénon.

Les analyses par DRX, aux températures élevées, ont été réalisées dans la chambre chaude HTK1200, à 110°C puis à 550°C sous atmosphère ambiante.

### **3.3.3.2. Préparation de la poudre totale (<2mm)**

La préparation de la poudre fine est obtenue après un passage de l'échantillon dans une broyeuse. Cette poudre est ensuite passée sous presse afin d'obtenir une fine lentille de 15 mm de diamètre contenant donc la poudre non orientée. Cette préparation peut ensuite être soumise aux rayonnements X.

### **3.3.3.3. Préparation des argiles (<2µm)**

La séparation est réalisée dans le laboratoire de physique du sol de l'INA. Ce processus a pour but de séparer les fractions fines (<2µm) de la masse de l'échantillon. Les échantillons ont été préparés suivant le protocole décrit par Robert & Tessier (1974). Ils ont été broyés à la main dans un broyeur à agate et tamisés pour récupérer la fraction inférieure à 50 µm.

La fraction inférieure à 2 µm a été obtenue par sédimentation après la destruction des carbonates en milieu tampon (acétate de sodium 1M + acide acétique 100%) et l'élimination de la matière organique par des traitements répétés à l'eau oxygénée. Une fois séparée, la fraction argileuse a été concentrée par floculation et saturée par une solution de MgCl<sub>2</sub> 1M.

La solution obtenue est centrifugée et lavée plusieurs fois avec de l'eau désionisée, jusqu'à ce que la suspension obtenue ait un pH neutre (7-8). Ensuite, les échantillons d'argile ont été lavés à l'eau distillée, mis en suspension et homogénéisés pour préparer les dépôts orientés sur des lames de verre (figure III.3).

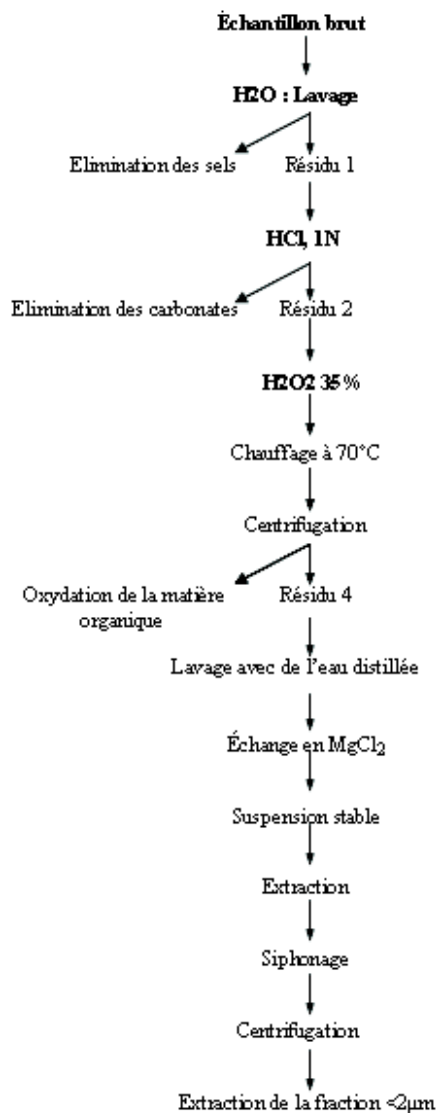


Figure III-3. Figure illustrant l'extraction de la fraction argileuse ( $<2\mu\text{m}</math>) selon la méthode de Robert & Tessier (1974).$

### 3.3.4. Méthode d'approche micromorphologique

#### Fabrication des lames minces

Les échantillons non remaniés ont été prélevés sur 5 horizons du profil 02. Les échantillons ont été imprégnés à la résine de polyester. Onze, grandes lames minces (13,5 x 6,5 centimètre), orientées verticalement, ont été confectionnées suivant la technique de GUILLORE (1985) au laboratoire de micromorphologie de l'UER DMOS de l'INA-PG (France). Des précautions spécifiques ont été prises pendant la fabrication de lames minces: séchage à 40°C, sciage à sec. La description des lames minces a été effectuée selon la nomenclature de BULLOCK *et al.*, 1985.

### 3.3.5. Microscopie électronique à balayage (MEB)

Pour l'étude exoscopique des grains de quartz, on a utilisé le MEB auquel est adjoint un micro-analyseur à énergie dispersive des rayons X (EDX) pour la micro-analyse chimique de la composition des grains. Les observations sont réalisées au niveau du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) et du Centre de Développement des Techniques Avancées (CDTA) de Baba Hassen Alger.

#### 4. Approche statistiques

---

Afin de regrouper les différents éléments partageant des informations similaires, une étude statistique fondée sur l'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour traiter les résultats. Cette méthode d'analyse traite exclusivement des caractères numériques jouant le même rôle, ce qui permettra une comparaison de données en toute objectivité. (DAGNELIE, 1975; BOUROCHE et SAPORTA, 1980; PHILIPPEAU, 1986).

Selon BLOUNDI (2005), l'ACP a deux objectifs majeurs : le premier est de déterminer des représentations graphiques planes, appelées cartes, qui permettent d'analyser au mieux les proximités et les écarts entre les différentes variables, en particulier, elles doivent permettre d'isoler les individus « atypiques » et de regrouper les individus « semblables ». Le deuxième objectif de l'ACP est de fournir des « résumés linéaires » des variables, c'est-à-dire de remplacer les variables initiales par des combinaisons linéaires de celles-ci.

#### 5. Classification des sols

---

Pour la classification de nos sols, on a utilisé la C.P.C.S. (1967), Soil Taxonomie U.S.D.A. (1975) et WRB-FAO (1998)

## Chapitre 4 Etude morphologique des sols

La description morphologique et les résultats des analyses physico-chimiques sont empruntés du travail réalisé par DJILI (2004) dans le cadre du projet de recherche « DAYACLIM » sur la « *reconstitution des changements climatiques en Afrique du nord à partir des fluctuations du cycle hydrologique* »

Il faut souligner que l'ensemble des profils étudiés sont composés d'un horizon de surface Ap et de plusieurs horizons C et C<sub>k</sub>. d'accumulation de Ca.

### 1. Description des profils

---

#### 1.1. Description du profil 1

Ce Profil est situé dans le sud de Dayet El-Amied, très proche des accumulations sableuses (voiles sableuses, Nebka et dunes).

- **Localisation** : Sud-Ouest du nouveau périmètres phœnicols d'El-Amied Guerrara)
  - **Date de description** : 11/05/2003.
  - **Altitude** : 303m
  - **Etat de surface** : Croûte de battance.
-

- **Végétation** : Palmeraie à *Phoenix dactylifera*
- **Topographie** : Plane avec une très légère pente.
- **Matériau parental** : Grés rouges

**P1Ap (0 – 30 cm)** : Sec, 5YR 5/6 (brun rougeâtre clair) à l'état humide, texture sableuse, structure polyédrique, localement lamellaire, porosité élevée, quelques fines racines mortes, faible effervescence à l'HCl, galeries d'insectes, activité biologique moyenne.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P1C1 (30 – 95 cm)** : Sec, 5 YR 6/8 (Orange terne) à l'état humide, sable loameux, structure particulière, très friable, bonne porosité, taches blanches probablement de gypse, pas d'effervescence à l'HCl, pas de racines.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P1C2 (95 – 115 cm)** : Frais, 5 YR 5/6 (Brun rougeâtre clair) à l'état humide, texture limono-sableuse, structure prismatique, quelques racines, faible effervescence à l'HCl, dans la limite supérieure on observe des graviers de 0,5 à 2 cm de diamètre et de forme arrondis (probablement d'origine hydrique) sur une couche de 2 à 9 cm d'épaisseur (cette couche est localisée), bonne porosité.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P1C3 (115 – 210 cm)** : Frais, 5 YR 6/8 (Orange terne) à l'état humide, sable loameux, structure particulière, très friable, bonne porosité, microlité (2 à 3 couches), pas d'effervescence à l'HCl, pas de racines.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P1C4 (210 – 230 cm)** : Frais, 5 YR 5/6 (Brun rougeâtre clair) à l'état humide, Sable loameux, structure continue, prismatique, bonne porosité, microlité (en trois couche), faible effervescence à l'HCl, (phase de sédimentation très lente, phase de pédogenèse légère).

**Transition distincte et limite régulière.**

**P1C5 (> 230 cm)** : Frais, 5 YR 6/8 (Orange terne) à l'état humide, sableux, structure particulière, friable, bonne porosité, plusieurs niveaux microlités, pas d'effervescence à l'HCl, pas de racines.

## 1.2. Description du profil 2

Ce Profil est situé en aval de Dayet El-Amied dans un sol non cultivé, dans un état naturel comme, appelé localement « Djrif ».

- **Localisation** : Dans le Nord-Est de Dayet El-Amied près du chenal d'étiage.
- **Date de description** : 12/05/2003.
- **Altitude** : 303m
- **Végétation** : Steppes buissonneuses claires à *Rhanterium suaveolens* ssp. *Intermedium*
- **Etat de surface** : Croûte de battance et voiles sableuse.
- **Topographie** : Plane avec une très légère pente.
- **Matériau parental** : Grés rouges

**P2Ap (0 – 38 cm)** : Sec, 5YR 5/8 (brun rougeâtre clair) à l'état humide, sableux, friable, structure particulière, microlité, bonne porosité, quelques racines fines, activité biologique moyenne, pas d'effervescence à l'HCl.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P2C1k (38 – 100 cm)** : Frais, 5 YR 5/6 (brun rougeâtre clair) à l'état humide, sable loameux, structure polyédrique, bonne porosité, vive effervescence à l'HCl, accumulation calcaire en pseudomycelium, accumulation d'argile par infiltration, taches de réduction du fer.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P2C2 (100 – 125 cm)** : Frais, 5 YR 5/8 (Brun rougeâtre clair) à l'état humide, sableux, structure particulaire, friable, bonne porosité, pas effervescence à l'HCl.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P2C3 (125 – 142 cm)** : Frais, 5 YR 5/6 (brun rougeâtre clair) à l'état humide, limon sableux, microlité (2 à 3 couches), structure lamellaire, bonne porosité, faible effervescence à l'HCl, accumulation d'argile, calcaire diffus et pseudomycelium.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P2C4 (142 – 235 cm)** : Frais, 5 YR 5/8 (brun rougeâtre clair) à l'état humide, sableux, structure particulaire, bonne porosité, pas d'effervescence à l'HCl, manchons verticaux de calcaire, quatre niveaux microlités de quelques millimètre d'épaisseur, effervescence à l'HCl localisée dans ces niveaux.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P2C5 (235 – 250 cm)** : Frais, 5 YR 5/6 (Brun rougeâtre clair) à l'état humide, sable loameux, structure polyédrique, bonne porosité, faible effervescence à l'HCl, infiltration d'argile.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P2C6 (250 – 272 cm)** : Frais, 5 YR 5/8 (brun rougeâtre clair) à l'état humide, sable, structure particulaire, très friable, bonne porosité, pas d'effervescence à l'HCl.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P2C7 (272 – 292 cm)** : Frais, 5 YR 5/6 (brun rougeâtre clair) à l'état humide, sable loameux, structure lamellaire à polyédrique, bonne porosité, microlitage alterné entre couche brunes terne et beige claire, très faible effervescence à l'HCl, taches liées probablement à l'oxydo-réduction du fer, bande marron, calcaire en pseudo-mycelium, point d'agrégats très claire due probablement à un appauvrissement d'argile localisé, cutanes d'argile dans les surfaces d'agrégats.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P2C8 (> 292 cm)** : Frais, 5 YR 5/8 (brun rougeâtre clair) à l'état humide, sableux (sable fin), structure particulaire, friable continu, avec des niveaux microlités, très faible effervescence à l'HCl, bonne porosité.

### 1.3. Description du profil 3

Ce Profil est localisé dans des parcelles non irriguées depuis une longue période (moins d'une année), sous des palmiers dattiers adultes.

- **Localisation** : dans l'ancien périmètre phœnicicols d'El-Amied (Guerrara).
- Date de description : 12/05/2003
- Altitude : 303m
- **Végétation** : Palmeraie à *Phoenix dactylifera* + mauvaises herbes



- **Etat de surface** : Parcelle non irriguée, avec quelques mauvaises herbes
- **Topographie** : plane avec une très légère pente.
- **Matériau parental** : Grés rouges

**P3Ap (0 – 30 cm)** : Frais, 5 YR 4/6 (Brun rougeâtre) à l'état humide, limon-sableux, structure polyédrique, bonne porosité, vive effervescence à l'HCl, riche en racines de taille moyenne de palmiers dattier et de mauvaises herbes, débris végétaux décomposés, poreux.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P3C1k (30 – 95 cm)** : Frais, 7,5 YR 4/6 (Brun) à l'état humide, loameux, structure polyédrique, bonne porosité, très forte effervescence à HCl.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P3C2 (95 – 145 cm)** : Frais, 5 YR 5/8 (brun rougeâtre clair) à l'état humide, sable, structure particulaire, friable, bonne porosité, pas d'effervescence à l'HCl, fort enracinement, niveau de microlitage.

**Transition distincte et limite nette.**

**P3C3k (145– 200 cm)** : Frais, 5 YR 5/4 (brun rougeâtre terne) à l'état humide, sable loameux, polyédrique, bonne porosité, moyenne effervescence à l'HCl, quelques nodules calcaires dispersés, calcaire en pseudomycelium, pas de racines, quelque galeries d'insectes.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P3C4 (200 – 330 cm)** : Frais, 5 YR 5/6 (Brun rougeâtre clair) à l'état humide, sable fin, structure particulaire, bonne porosité, très peu de racines, pas d'effervescence à l'HCl.

**Transition distincte et limite régulière.**

**P3C5k (> 330 cm)** : Frais, graveleux, 30 % de gravier (0,5 à 3 cm de diamètre) de forme arrondies et de nature siliceux, dolomitique et calcaire, dans une matrice de couleur à l'état humide 5 YR 5/6 (brun rougeâtre clair), texture sableuse, particulaire, faible d'effervescence à l'HCl, très poreux.

## 2. Discussion sur la morphologie des profils

---

Les trois profils présentent des stratifications bien visibles, avec des transitions distinctes. Il s'agit de successions d'horizons de texture tantôt sableuse et tantôt sablo-loameuse à limoneuse, exception faite pour l'horizon P3C5k qui présente une texture sablo-graveleuse. Cette alternance peut être expliquée par une source d'apport hydro-éolienne.

Cette composition texturale reflète, d'une part les conditions géomorphologiques de la région de Guerrara (glacis, buttes, formations dunaires,...) et géologiques (Quaternaire continental, alluvions, regs, terrasses,...) d'autres part les circonstances de l'alluvionnement (tempêtes de vent, crues, vitesse d'écoulement du oued Zegrir), ces caractéristiques concordent avec celles citées dans la bibliographie sur les sols alluviaux désertiques.

On rencontre dans les horizons P3C1k, P3C3k et P3C5k, des accumulations localisées de fines couches d'argile. Au niveau du profil 2 notamment dans les horizons P2C1k et P2C7, des taches de couleur rouilles et grises sont observées, celles-ci confirment les conditions d'hydromorphie temporaire liées aux crues à durée limitée dans le temps (1 à 3 jours).

La structure particulière dans la majorité des horizons est caractéristique des sols alluviaux, mais elle varie dans certains horizons de polyédrique à lamellaire. Elle est polyédrique à compacte dans les horizons (P3Ap, P3C1k, P3C3k), ceci peut être dû à leurs teneurs relativement élevée en calcaire total (>13.5%).

La couleur dominante est le brun rouge claire entre le 5YR 5/6 et 5YR 5/8 (15 horizons sur 21), le brun rouge pour l'horizon P3Ap, le brun pour l'horizon P3C1k et brun rouge terne pour l'horizon P3C3k, cette nuance dans la couleur par rapport au rouge brun claire est due probablement aux teneurs en fer total et en calcaire total des sols.

### **3. Résultats analytiques**

---

#### **3.1. Présentation des résultats**

Les résultats sont consignés sur les tableaux IV-1 et IV-2.

#### **3.2. Discussion des résultats des analyses**

L'analyse granulométrique montre la prédominance de la fraction sableuse sur l'ensemble du profil 1, avec un taux supérieure à 70 % du poids total de la prise d'essai, sauf pour l'horizon P1C2 ou les limons présentent plus de 60%, la texture varie de sableuse à loam-limoneuse (tableau.IV-1).

Le profil.2 présente une texture très sableuse, notamment de sable fin (tableau. IV-1), probablement d'origine éolienne qui a subit un remaniement par les eaux des crues. L'horizon P1C2 fait exception avec une texture riche en limons grossiers (54.4%), indice d'un apport hydrique. Des accumulations d'argiles très localisées sont observées dans les horizons sablo-loameux.

Au niveau du profil.3 et dans les horizons P3C2 et P3C4, les sables fins prédominent avec des teneurs supérieures à 78%. L'horizon de surface présente la teneur la plus élevée en argile avec 10,4 % (tableau. IV-1). Les teneurs en calcaire total reste très faible elles varient entre 1,17 et 8,25 % dans l'ensemble des horizons des profils 1 et 2. Le calcaire se présente sous forme de pseudomycelium, Dans le profil.3, la teneur en calcaire varie avec la texture, elle est très faible dans les horizons sableux (3,78 à 5,34 %), moyenne dans les horizons sablo-loameux, ou on enregistre le taux le plus élevé dans l'horizon P3C1k (20,14 %).

Les horizons P2C1k, P3Ap, P3C1k, P3C3k, et P3C5k, présentent des teneurs relativement élevées en calcaire total et en limons grossiers, sans trace de lessivage, Selon SINGER (1980), ce phénomène s'explique par des pluies occasionnelles, peu fréquentes et limitées dans le temps. Les fortes évapotranspirations des régions assèchent les sols, empêchant ainsi le mouvement des éléments dans le sol.

L'analyse de la capacité d'échange cationique n'a été réalisée que pour le profil.2 et 3. Comme pour le calcaire, la CEC varie avec la texture. Elle est très faible dans les horizons sableux ( $3 \leq \text{CEC} \leq 6,01 \text{ cmol}^+/\text{Kg}$ ), et moyenne dans les horizons loam à loam-limoneux, en effet, la valeur la plus élevée ( $17 \text{ cmol}^+/\text{Kg}$ ) est obtenue dans l'horizon loameux (P3C1k) du profil.3. cette faible teneur peut être expliquer par les faibles teneurs en argile et en matière organique.

Les teneurs en matière organique sont faibles à très faibles sur l'ensemble des profils, ces faibles teneurs s'expliquent par les conditions favorables à une minéralisation rapide de la matière organique, du fait des températures élevées de la région.

La conductivité électrique est inférieure à 0,23 dS/m dans l'ensemble des profils (Figure IV-1 à IV-3), ce qui traduit une faible teneur en sels solubles. Cette faible salinité peut être expliquée par le bon drainage de ces sols et la nature peu salée des eaux de crues. Une étude d'OULD BABA SY (2005) a permis de mettre en évidence des salinités faibles (moins de 2 g/l) dans les zones d'alimentation du Mزاب. Ceci témoigne de l'infiltration des eaux de pluie et de ruissellement.

La concentration ionique est faible, le profil salin ne présente aucun signe de lessivage ou d'ascendance par capillarité de même pour la concentration ionique. Ceci s'explique par les faibles teneurs en argile, en matière organique et la forte porosité des sols (sableux à loam-sableux). Le faciès géochimique est sulfaté calcique pour le profil 1 et 2 et sulfaté calcique à chloruré sodique pour le profil 3. Le pH est légèrement à fortement alcalin ( $7,81 < \text{pH} < 8,52$ ) pour l'ensemble des profils.

	Horizon	Profondeur (cm)	Granulométrie (%)					Texture	Calcaire total (%)	M.O. (%)	C.E.C. (cmol+/kg)
			A	Lf	Lg	Sf	Sg				
Profil 1	P1Ap	0-30	0,4	6,6	1,0	82,0	10,0	Sable	4,11	0,75	-
	P1C1	30-95	2	2,5	0,3	84,5	10,7	Sable	3,62	0,82	-
	P1C2	95-115	2,1	7,9	54,4	19,4	16,1	Loam loameux	5,07	0,64	-
	P1C3	115-210	4,5	2,5	17,5	61,6	14,0	Sable loameux	3,02	0,14	-
	P1C4	210-230	3,4	9,1	0,2	76,9	10,5	Sable loameux	3,90	1,81	-
	P1C5	>230	4,5	1,3	0,7	71,9	21,8	Sable	3,08	0,16	-
Profil 2	P2Ap	0-38	1,3	3,3	0,3	71,9	23,4	Sable	2,05	0,69	4,10
	P2C1k	38-100	1,6	8,2	27,2	56,6	6,4	Loam sable	8,25	1,10	9,50
	P2C2	100-125	7	2,5	4,8	65,7	20,0	Sable loameux	1,90	0,58	7,85
	P2C3	125-142	1,6	7,9	12,3	70,4	7,8	Sable loameux	5,42	0,34	7,35
	P2C4	142-235	3	0,3	1,3	67,5	28,0	Sable	1,17	0,78	4,90
	P2C5	235-250	4,7	10,4	1,1	76,1	7,8	Sable loameux	3,77	0,52	9,70
	P2C6	250-272	2	6,3	1,2	80,5	10,0	Sable	2,05	0,20	6,01
	P2C7	272-292	1,6	12,9	0,7	71,3	13,4	Sable loameux	3,29	0,26	7,55
P2C8	>292	0,5	4,5	0,3	81,0	13,7	Sable	3,39	0,32	4,17	
Profil 3	P3Ap	0-30	10,4	35	3,3	40,4	11,2	Loam	13,56	1,52	16,30
	P3C1k	30-95	1,9	47	31,8	17,8	1,6	Loam loameux	20,14	1,65	17,00
	P3C2	95-145	0,8	5	0,3	78,5	15,5	Sable	3,78	0,26	3,00
	P3C3k	145-200	1,8	15	17,6	64,6	1,4	Loam sableux	14,52	0,29	9,00
	P3C4	200-330	3,3	2,5	0,6	90,6	3,1	Sable	5,34	0,11	4,50
	P3C5k	>330	0,4	3	2,0	40,4	54,2	Sablo-graveleux	9,32	0,21	-

Tableau IV-1 : Résultats des analyses physico-chimiques des profils 1, 2 et 3

	Horizon	Profondeur (cm)	CE (dS/m)	PH	Anions (cmol+/kg)				Cations (cmol+/kg)			
					Cl	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Profil 1	P1Ap	0-30	0,16	8,4	0,200	0,367	-	0,599	0,600	0,275	0,258	0,097
	P1C1	30-95	0,15	8,4	0,334	0,234	-	1,091	0,604	0,276	0,335	0,071
	P1C2	95-115	0,23	7,8	0,467	0,200	-	2,012	1,149	0,470	0,446	0,105
	P1C3	115-210	0,11	8,4	0,200	0,200	-	0,514	0,498	0,251	0,217	0,060
	P1C4	210-230	0,13	8,2	0,234	0,267	-	0,428	0,532	0,260	0,218	0,072
	P1C5	>230	0,1	8,5	0,200	0,200	-	0,385	0,634	0,290	0,214	0,076
Profil 2	P2Ap	0-38	0,15	8,4	0,167	0,234	-	1,109	0,757	0,238	0,360	0,111
	P2C1k	38-100	0,12	8,1	0,200	0,334	-	0,813	0,756	0,265	0,375	0,099
	P2C2	100-125	0,07	8,5	0,167	0,234	-	0,684	0,508	0,236	0,338	0,079
	P2C3	125-142	0,11	8,4	0,200	0,267	-	0,428	0,625	0,256	0,371	0,109
	P2C4	142-235	0,07	8,4	0,134	0,267	-	0,856	0,637	0,312	0,339	0,128
	P2C5	235-250	0,13	8,1	0,033	0,250	-	0,942	0,542	0,247	0,254	0,104
	P2C6	250-272	0,06	8,5	0,033	0,317	-	1,027	0,731	0,260	0,287	0,089
	P2C7	272-292	0,08	8,4	0,010	0,284	-	0,770	0,593	0,247	0,226	0,091
P2C8	>292	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Profil 3	P3Ap	0-30	0,16	7,9	0,167	0,434	-	0,770	0,761	0,292	0,444	0,154
	P3C1k	30-95	0,14	7,8	0,050	0,450	-	0,514	0,526	0,252	0,389	0,097
	P3C2	95-145	0,08	8,3	0,067	0,300	-	0,770	0,645	0,334	0,480	0,115
	P3C3k	145-200	0,11	7,8	0,167	0,317	-	0,652	0,5590	0,298	0,406	0,079
	P3C4	200-330	0,14	8,1	0,017	0,184	-	0,514	0,575	0,262	0,424	0,099
	P3C5k	>330	0,16	7,9	0,167	0,434	-	0,770	0,761	0,292	0,444	0,154

Tableau IV-2 : Résultats des analyses de la solution du sol (Profils 1, 2 et 3)

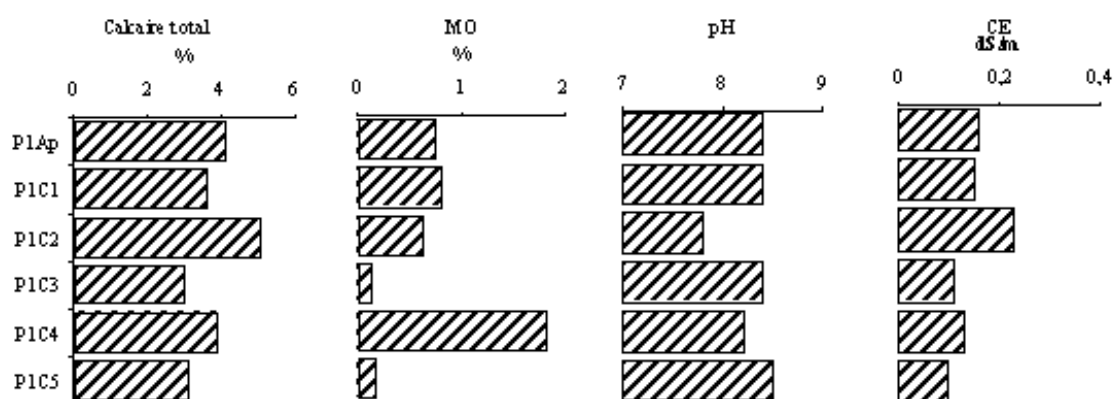


Figure IV-1. Variation du calcaire total, MO, CE, et pH en fonction de la profondeur (Profil.1)

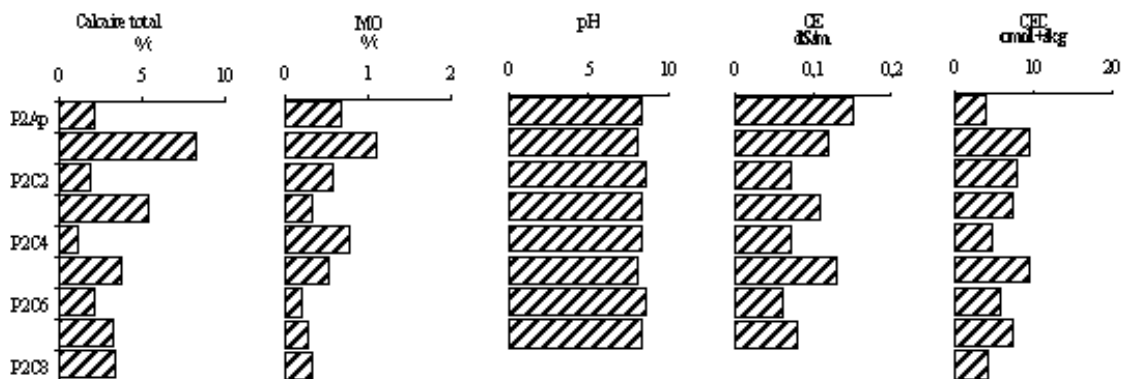


Figure IV-2. Variation du calcaire total, CEC, MO, CE, et pH en fonction de la profondeur (Profil.2)

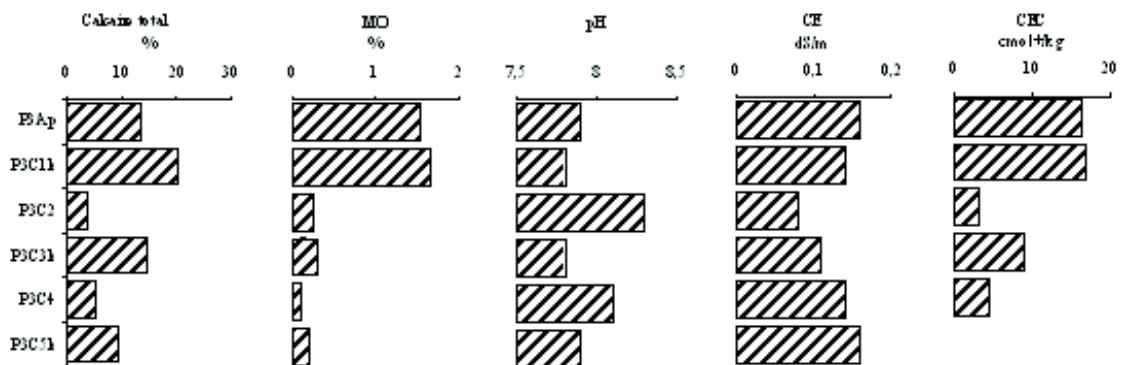


Figure IV-3. Variation du calcaire total, CEC, MO, CE, et pH en fonction de la profondeur (Profil.3)

#### 4. Classification des sols

Les caractéristiques morphologiques et les résultats physico-chimiques des profils étudiés, nous ont permis de les classer selon les systèmes de classification comme suit :

Profil	Système de classification		
	CPCS (1967)	USDA (1998)	FAO (1998)
1	Classe : Sols peu évolués Sous classe : d'apport Groupe : alluviaux	Grand groupe des Torrifluvents	Fluvisol, Takyrique.
2	Sous groupe : peu humifère non calcaire		
3	Classe : Sols peu évolués Sous classe : d'apport Groupe : alluviaux Sous groupe : peu humifère calcaire		Fluvisol, calcari-Takyrique.

## Chapitre 5 Etude minéralogique et géochimique des sols

### 1. Introduction

L'étude minéralogique, conjuguée à l'étude géochimique de la plaine alluviale de Dayet El-Amied a deux buts principaux :

Le premier but est de préciser l'origine des sédiments, et de mettre en lumière les processus d'altération des minéraux primaires et la néoformation des minéraux secondaires.

Le deuxième but est de faire des interprétations d'ordre paléoclimatiques. En effet, les argiles sont le fruit de l'altération chimique dont l'intensité est fortement contrôlée par le climat. De ce fait, les argiles peuvent être utilisées comme traceur climatique, puisque résultant de l'altération des sols (CHAMLEY, 1989 in TRENTESAUX, 2005). L'analyse des éléments majeurs qui peut nous fournir des informations concernant les variations d'intensité des processus d'altération chimique, induites par des modifications climatiques.

L'analyse des éléments majeurs (analyse chimique totale), est réalisée sur la poudre totale (<2mm) pour l'ensemble des profils (3) étudiés. L'analyse minéralogique de la poudre totale (<2mm) et de la fraction argileuse (<2µm) est limitée au seul profil 2 vue sa situation dans un milieu naturel, moins influencé par l'action anthropique

### 2. Minéralogie

#### 2.1. Minéralogie de la poudre totale (Fraction <2mm)

##### 2.1.1. Identification des minéraux

Tableau V-1 : Valeurs des positions en Å et du facteur correctif pour les différents minéraux (THOREZ et al., 2000)

Minéral	Position (Å)	Facteur correctif spécifique
Calcite Dolomite Quartz Phyllosilicates Feldspaths potassiques	3105 283 265 249 224 194	1.9

La détermination des composants au plan qualitatif, se fait sur base de la réflexion la plus intense (figure V-1) dont l'intensité intervient dans la quantification relative.

Les résultats d'analyse (Figure V-1) indiquent la présence d'un cortège minéralogique global composé de carbonates et de silicates :

- **Carbonates** : la calcite et la dolomite.

**Calcite** : Elle a une teneur variant entre 0.56% et 13.09% tout au long de la coupe.

**Dolomite** : Les teneurs en dolomite sont inférieures à 0.44%, excepté pour l'horizon P2C1k qui atteignent 4.11%. selon PERTUISOT (1975), trois conditions favorisent la précipitation de ce minéral à savoir : un milieu riche en Mg, des pH variants entre 8 et 9, et des températures élevées, conditions remplies dans la plaine alluviale de Guerrara.

- **Silicates** : le quartz, les feldspaths potassiques et les phyllosilicates.

**Quartz** : C'est le principal minéral observé dans la poudre totale. Sa teneur varie entre 71.91% et 96.93% sur l'ensemble de la coupe.

**Phyllosilicates** : Montrent des teneurs variant entre 0.55% et 9.37% le long de la coupe. Elles seront étudiées dans partie analyse des argiles.

**Feldspaths potassiques** : Ils ont des teneurs variant entre 0.09% et 2.36% le long de la coupe à l'exception de l'horizon P2C3 avec un pic de 4.73%.

### 2.1.2. Analyse semi-quantitative de la poudre totale (<2mm)

Il n'existe aucune méthode universelle permettant de quantifier les différents composants minéraux, argileux ou non argileux dans une poudre désorientée. Celle que nous avons utilisée est celle proposée par THOREZ et al. (2000), qui consiste à mesurer l'intensité caractéristique des minéraux identifiés et de la corriger par un facteur correctif spécifique (Tableau V-1). On totalise les résultats des multiplications (intensité X facteur correctif) pour les différents minéraux identifiés ; par simple règle de trois, on établit ensuite leurs pourcentages respectifs dans le matériau (Tableau V-2).

### 2.1.3. Rapports Calcite/Détritisme et d100/d101 du quartz

Le rapport calcite/détritisme, (détritisme = (Quartz+Feldspaths-K+Phyllosilicates) reflète les changements de climats et d'érosion (COMMENT, 2006). Une augmentation du contenu carbonaté reflète généralement des apports d'origine hydrique importants (crues). Au contraire, une augmentation des apports détritiques indique une origine d'apport différente (éolienne).

Dans le tableau V-2, les valeurs du rapport calcite/détritisme montrent une alternance entre les horizons sableux (P2Ap, P2C2, P2C4, P2C6, P2C8) et les horizons sablo-loameux (P2C1k, P2C3, P2C7), avec des teneurs plus élevées dans ces dernières, indiquant des

apports hydriques importants, exception faite pour l'horizon P2C5 qui reste faible, ceci est dû à sa faible teneur en calcite.

Selon MOUCHET (1995), la distinction quartz détritique/quartz néoformé s'effectue directement sur les diffractogrammes; de par leur habitus allongés, les néoformations de quartz créent des anomalies d'intensité avec, dans le cas de la quartzite, un renforcement de la raie 100. Le rapport des intensités d100/d101, qui est de 0.3 pour du quartz totalement désorienté, selon PERSOZ (1982) cité par MOSAR (1988), peut donc être un critère de la présence de néoformations lorsqu'il dévie fortement de cette valeur.

Dans nos échantillons (Tableau V-2), les valeurs d100/d101 varient entre 0.19 et 0.32, et sont proches de 0.3, ce qui veut dire que l'origine du quartz est essentiellement détritique, indice d'une faible pédogenèse.

HORIZON	%					CALCITE/DETRITIS ME	QUARTZ
	Quartz	Calcite	Dolomite	phyllosilicates	Feldspaths-K		
P2Ap	95,22	1,98	0,14	2,57	0,09	0,020	0,23
P2C1k	71,91	13,09	4,11	9,21	1,69	0,158	0,32
P2C2	94,82	1,44	0,13	2,65	0,96	0,015	0,26
P2C3	85,20	6,67	0,19	3,21	4,73	0,072	0,21
P2C4	96,93	1,08	0,02	0,55	1,41	0,011	0,24
P2C5	95,60	0,56	0,05	2,10	1,69	0,006	0,26
P2C6	94,03	2,75	0,05	2,08	1,09	0,028	0,19
P2C7	82,08	5,75	0,44	9,37	2,36	0,061	0,28
P2C8	96,85	1,28	0,14	1,43	0,30	0,013	0,22
Moyenne	90,29	3,84	0,59	3,69	1,59	0,043	0,25

Tableau V-2 : Résultats DRX pour la poudre totale (fraction <2mm)



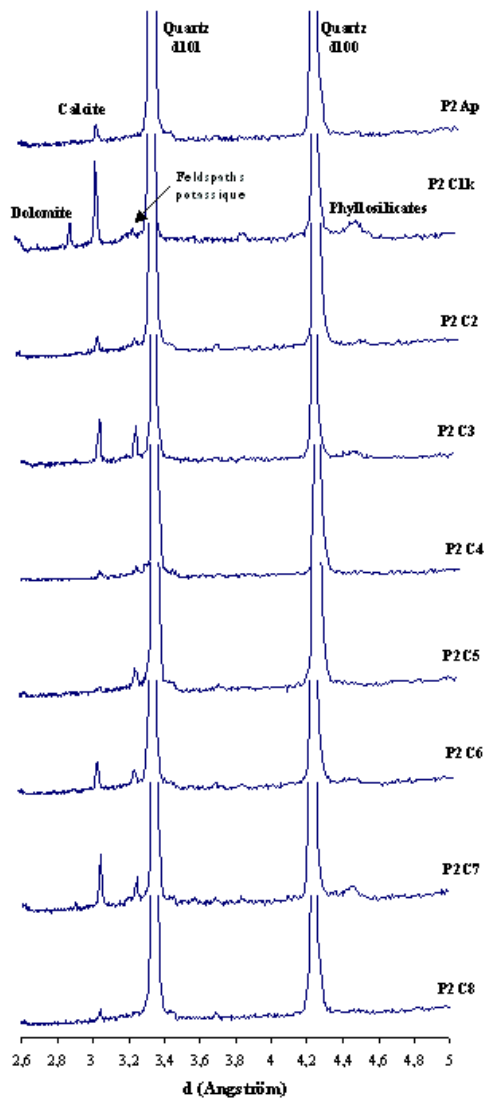


Figure V-1. Diffractogrammes (pâte désorientée), de la poudre totale (<2mm) pour le profil.2.

## 2.2. Minéralogie de la fraction argileuse (<2µm)

### 2.2.1. Identification des minéraux argileux

L'identification des minéraux argileux est effectuée à partir de la réflexion basale (principalement (001) mais aussi (002) pour la chlorite), après les traitements successifs suivants (tableau V-3 et figures V-2 à V-11) :

1. Pas de traitement (état dit normal ou naturel = N) : Séchage à l'air libre, c'est le diagramme de référence.
2. Traitement à l'éthylène glycol (composé organique = EG) : Les lames sont placées pendant une nuit dans un dessiccateur à atmosphère d'éthylène glycol. Ce traitement permet l'identification des minéraux argileux gonflants comme les smectites.

3. Chauffage à 110°C : Le chauffage (4h) certaines halloysites naturelles ont, avant le chauffage à 110°C, une teneur en eau plus élevée que la kaolinite et donne une réflexion à 10 Å qui diminue de façon irréversible à environ 7,2 Å au séchage (DE KIMPE, 1984), ce qui nous permet d'identifier les kaolinites des halloysites.
4. Chauffage à 550°C : Le chauffage (4h) détruit les kaolinites et nous permet d'identifier les chlorites qui conservent un pic à 14 Å.

### 2.2.2. Résultat de la diffractométrie

La lecture de ces quatre enregistrements permet une détermination qualitative des minéraux argileux (ROBERT, 1975, CAILLÈRE et al., 1982, DIXON et WEEB, 1989, PEDRO, 1994). Afin d'affiner cette interprétation, les diagrammes de diffraction ont fait l'objet d'une analyse par traitement numérique grâce au logiciel « HIGH-SCORE ».

Les spectres de diffraction de l'ensemble des échantillons (Figure V-2), montrent les réflexions suivantes :

- Un pic de réflexion voisin de 7,16 Å, très net et qui disparaît après chauffage à 550°C, correspondant à la kaolinite. Selon DE KEMPE (1984), l'espacement d001 proche de 7.15 Å et les pics bien définis est indicateur d'une kaolinite bien cristallisée
- Une réflexion aux alentours de 10 Å qui ne varie pas avec les tests de comportement, correspondant à l'illite.
- Un pic de réflexion au alentour de 10.4 Å qui disparaît après chauffage à 550°C, correspondant à la palygorskite.
- Un pic de réflexion voisin de 14,2 Å correspondant à la chlorite. Le pic d002>d001, et sa destruction à 550° caractérise les chlorites à couche hydroxyde organisée (DE KEMPE, 1984).
- Apparition d'un pic entre 17 Å et 18.2 Å après le test de gonflement qui est attribué aux smectites, cette réflexion se rétracte aux environs de 10 Å après chauffage à 550°C. Selon ROBERT (1975), ce gonflement à l'éthylène glycol qui est presque total (17,8 Å), correspond aux smectites vraies.

Minéral	Séché à l'air	Saturé à l'éthylène glycol	Chauffage	
			100°C	550°C
<b>Illites</b>	9,5-10,3 Å	9,5-10,3 Å	9,5-10,3 Å	9,5-10,3 Å
<b>Smectites</b>	15-16 Å	16,8-20 Å	~10 Å	~10 Å
<b>Chlorites</b>	14-15 Å	14-15 Å	14-15 Å	Destruction
<b>Kaolinites</b>	7-7,2 Å	7-7,2 Å	7-7,2 Å	Destruction
<b>Palygorskite</b>	~10,5 Å	~10,5 Å	~10,5 Å	Destruction

Tableau V-3 : Espace inter-feuillet en Å pour des réflexions basales Argiles saturées Mg<sup>++</sup>. D'après ROBERT (1975) et BRINDLEY & BROWN (1980)

Les résultat de l'analyse DRX, montre que le cortège argileux des sols de la plaine de Dayet El-Amied est composé de palygorskite, illite, chlorite, smectite et de kaolinite. Ce cortège argileux correspond à celui obtenu par HAMDIAISSA (1995) dans une étude sur le fonctionnement des sols de la cuvette de Ouargla.

### 2.2.3. Analyse semi-quantitative des minéraux argileux

Les pourcentages relatifs aux micas, kaolinite, chlorite, palygorskite et de smectite sont calculés pour chaque échantillon en utilisant la méthode proposée par HOLTZAPFELL (1985). D'autres informations sur la nature des micas et de la chlorite peuvent être obtenues en établissant des diagrammes triangulaires mettant en relation différents pics des micas (M001, M002, M005) et de la chlorite (C001, C002, C003).

Tableau V-4 : Valeurs des positions en Å et du facteur correctif pour les différents argiles (figure A-1, annexe) Holtzapfell, 1985

Minéral	d ( Å )	Facteur correctif spécifique
Illite	10.10 14.40 7.10	10540.52.001.5
Chlorite Kaolinite Palygorskite Smectite		

### 2.2.4. Résultats de l'analyse semi-quantitative

Les résultats de l'analyse semi-quantitative sont consignés dans le tableau V-5

- La **Palygorskite** est la plus abondante, les teneurs dépassent les 42.94% et atteignent les 61.44% dans l'horizon P2C8. C'est une argile fibreuse typique des zones arides.
- Les **Micas**, correspondent à l'illite, les teneurs se situent entre 19% et 36.12%. Ce sont des argiles de type 2/1, elles proviennent de l'altération mécanique des roches ignées et métamorphiques et permettent d'évaluer l'importance du détritisme.
- La **Kaolinite** montre des teneurs faibles variant de 7.24% à 9.91% pour l'ensemble de la coupe avec une moyenne de 8.78%. C'est une argile de type 1/1, elle se forme principalement sous des conditions climatiques tropicales à subtropicales sous lesquelles les précipitations et l'altération chimique sont intenses.
- La **Chlorite** les teneurs varient entre 1,52% à 8.39% pour l'ensemble de la coupe avec une moyenne de 4.77%. Argile de type 2/1/1, elle provient de l'altération mécanique des silicates ferromagnésiens sous des conditions arides avec un climat froid.
- Enfin la **Smectite**, elle a des teneurs variant entre 2.53% et 8.94% avec une moyenne de 6.05%. Argile de type 2/1, elle provient de l'altération chimique des roches volcaniques et indique des conditions climatiques semi-arides avec une saisonnalité bien marquée alternant des périodes humides et sèches.

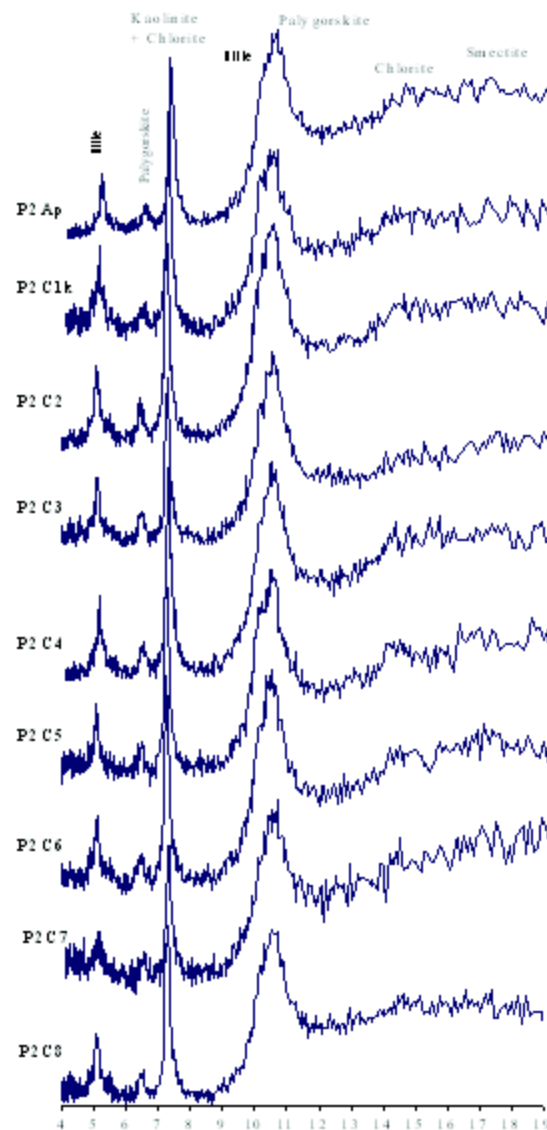


Figure V-2. Diffractogrammes des pâtes orientées pour les argiles (<2 $\mu$ m) - Profil.2

Légende

\* N = Sans traitement ; EG = traitement à l'éthylène glycol ; 110, 550 : chauffage à 110°C et à 550°C

K : Kaolinite ; C : Chlorite ; I : Illite ; P : Palygorskite ;

Sm : Smectite

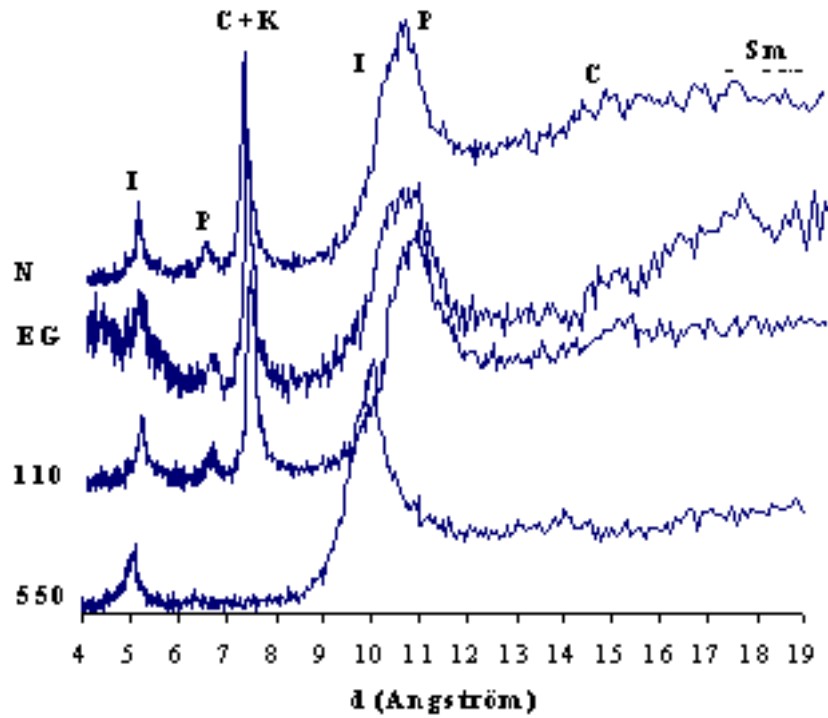


Fig.V-3. Test de comportement des argiles (Horizon P2Ap)

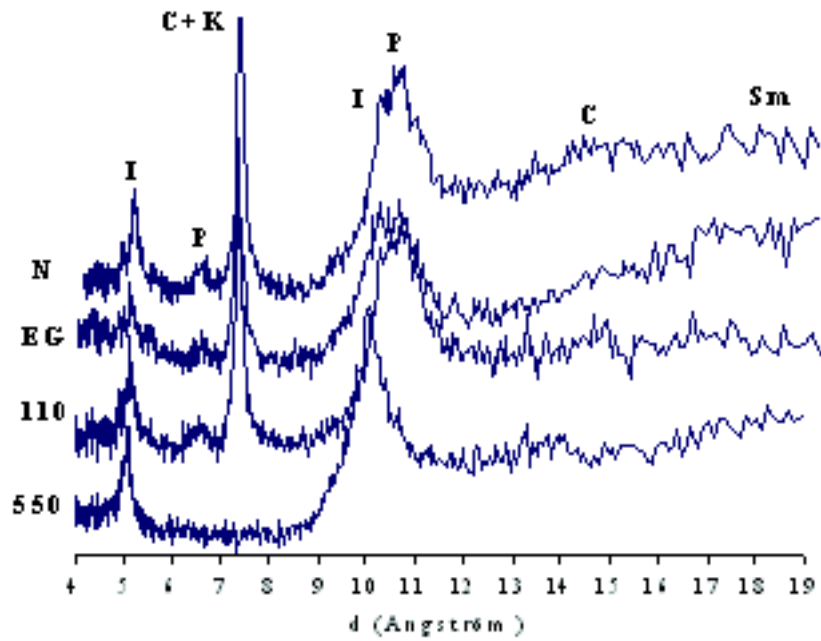


Fig.V-4. Test de comportement des argiles (Horizon P2C1k)

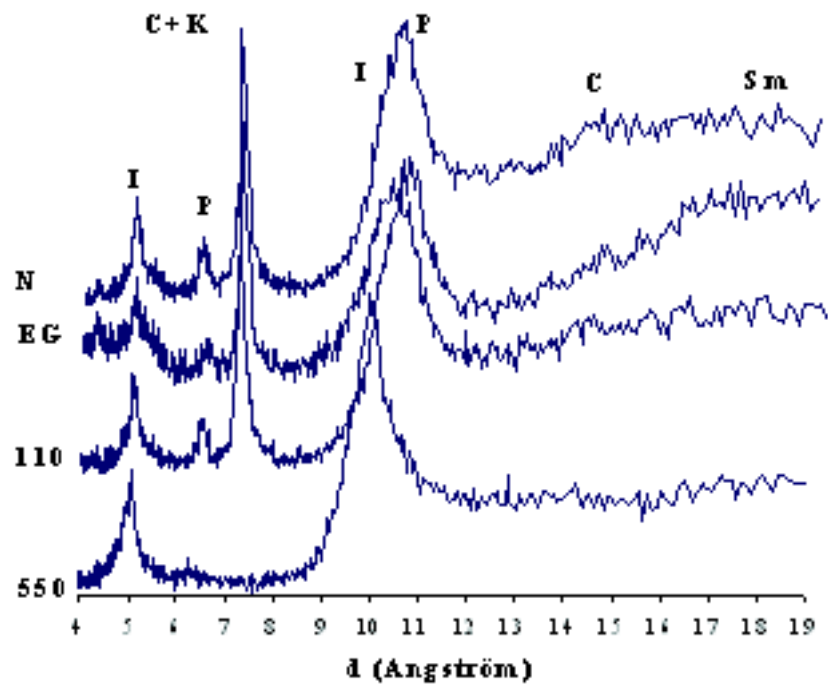


Fig.V-5. Test de comportement des argiles (Horizon P2C2)

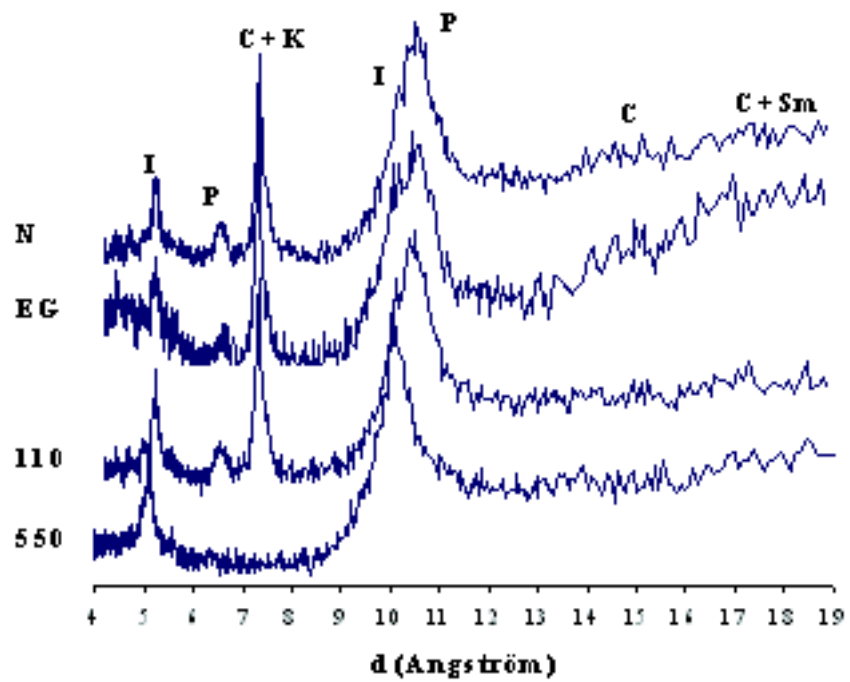


Fig.V-6. Test de comportement des argiles (Horizon P2C3)

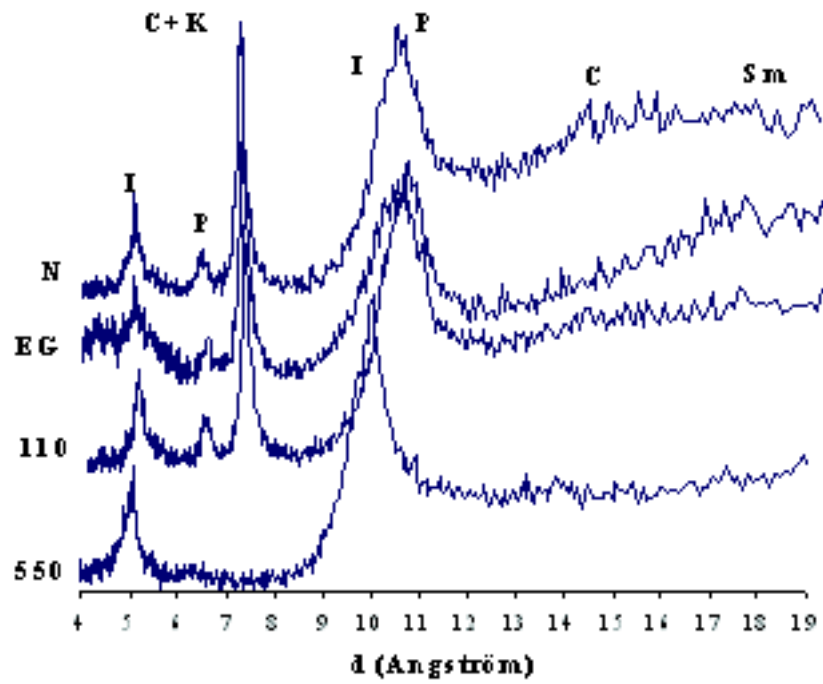


Fig.V-7. Test de comportement des argiles (Horizon P2C4)

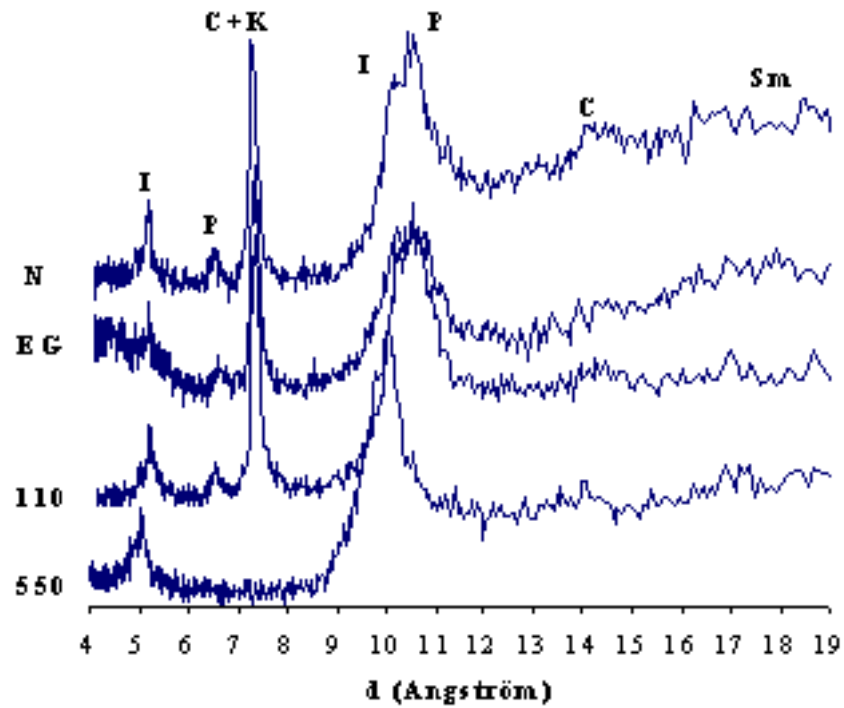


Fig.V-8. Test de comportement des argiles (Horizon P2C5)

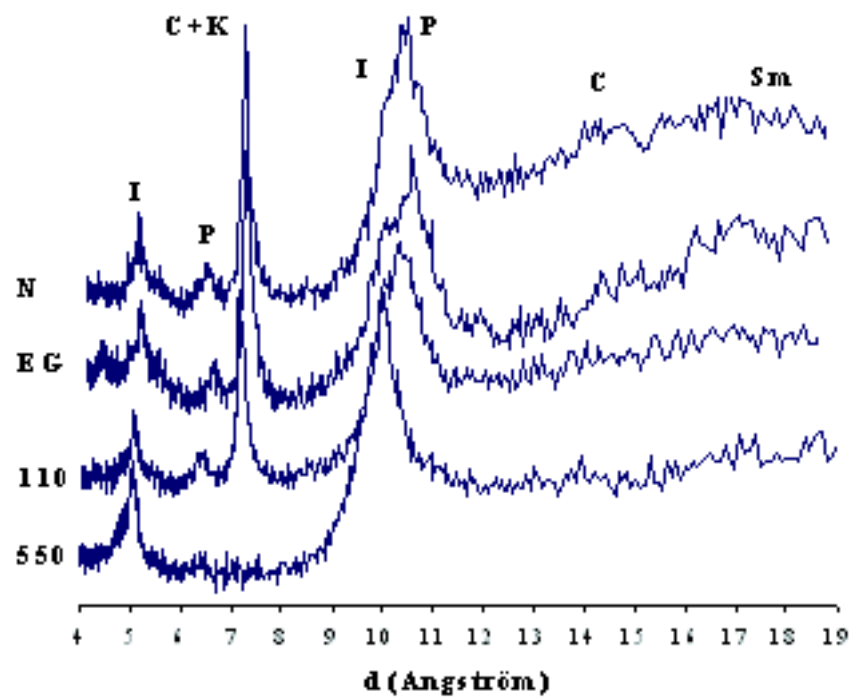


Fig.V-9. Test de comportement des argiles (Horizon P2C6)

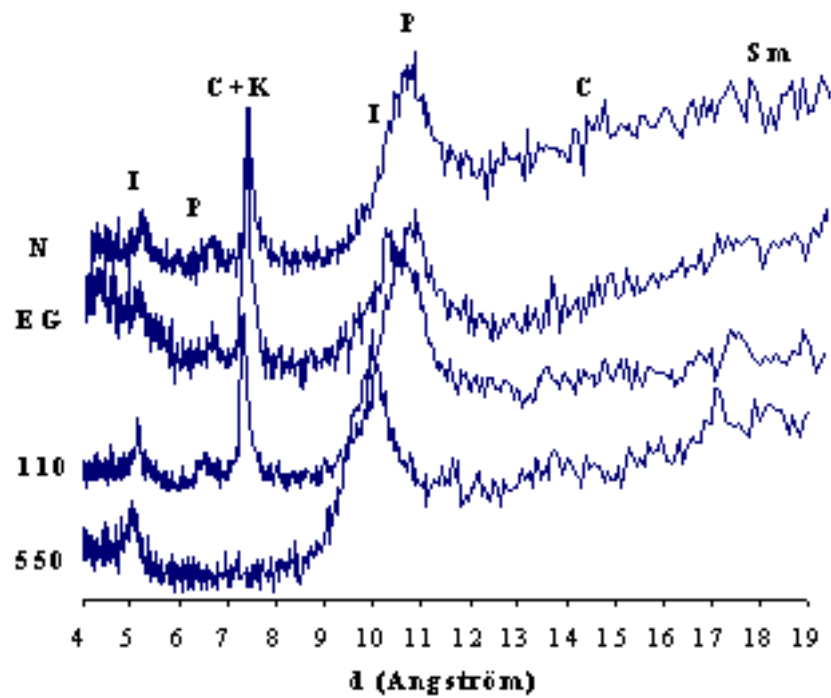


Fig.V-10. Test de comportement des argiles (Horizon P2C7)



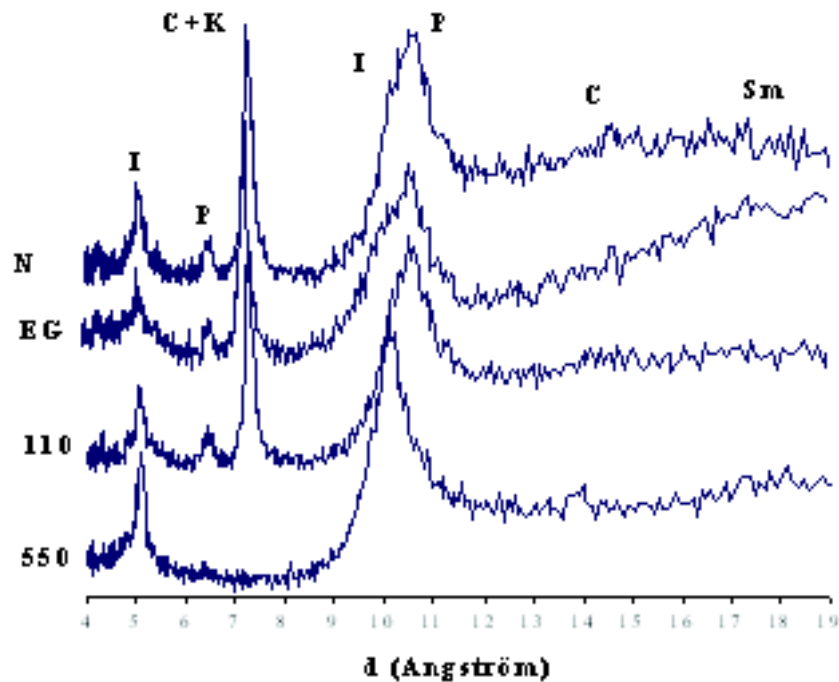


Fig.V-11. Test de comportement des argiles (Horizon P2C8)

Horizon	%				
	Palygonite	Illite	Kaolinite	Smectite	Chlorite
P2Ap	47,59	28,55	8,33	7,14	8,39
P2C1k	42,94	36,70	9,26	6,93	4,14
P2C2	56,90	23,00	9,31	6,66	4,14
P2C3	49,62	28,95	7,24	6,77	7,39
P2C4	59,38	22,11	9,79	2,53	6,21
P2C5	46,68	30,37	9,91	8,95	4,10
P2C6	61,22	19,13	8,61	6,38	4,63
P2C7	58,20	29,10	7,63	3,55	1,52
P2C8	61,41	21,63	8,98	5,58	2,39
<b>Moyenne</b>	<b>53,77</b>	<b>26,62</b>	<b>8,78</b>	<b>6,05</b>	<b>4,77</b>

Tableau V-5: Proportions relatives des argiles identifiées ( $<2\mu\text{m}$ ) dans le profil 2.

## 2.2.5. Détermination de la tendance et de la cristallinité de l'illite

### 2.2.5.1. Tendance des illites

REY et KÜBLER (1983), ont montré qu'on peut utiliser les intensités du premier, deuxième et du cinquième pic de l'illite rapportées à leur somme, afin de représenter les différentes familles de micas sur un diagramme ternaire.

L'étude de ces diagrammes ternaires n'équivaut pas à une analyse chimique mais reflète uniquement des tendances. Selon la nature des cations présents dans leurs réseaux cristallins, il existe 4 sortes de micas : La biotite, l'illite, la muscovite et la phengite (figure V-12 et V-13).

Les analyses révèlent que les illites des neuf échantillons étudiés, sont à tendance Muscovite (figure V-13), cette dernière correspond à des micas sans substitutions de H<sub>2</sub>O par K et de Fe par Al. Cette muscovite est le résultat de l'altération de la chlorite par perte de Mg ce qui traduit une origine détritique, sa présence permet donc d'exclure une formation authigénique des minéraux argileux dans le sol.

### **2.2.5.2. Cristallinité et degré d'altération de l'illite**

La cristallinité de l'illite (indice de cristallinité IC) proposé par KÜBLER (1964) est définie par la largeur en degrés 2 $\theta$  à mi-hauteur du pic (001) à 10 Å de l'illite. De nombreux travaux (WEAVER, 1960 ; DUNOYER, 1969; ESQUEVIN, 1969; FREY, 1970; KÜBLER et al., 1979) ont montré que cet indice varie avec l'altération subie par le sol et qu'il est donc un bon indicateur de l'intensité de l'altération.

Le diagramme de THOREZ (1986), représenté par la proportion des intensités des pics d002/d001 de l'illite sur l'axe vertical, et par l'indice de cristallinité de l'illite sur l'axe horizontal, permet de définir à la fois la cristallinité et l'intensité de l'altération de l'illite (tableau V-6).

La valeur du rapport des pics d002/d001 est un indicateur du changement du rapport (Fe+Mg)/Al, mais elle reste très discutable (ESQUEVIN, 1969 et HUNZIKER et al., 1986).

**Tableau V-6 : Indice de cristallinité et rapport I002/I001 pour le profil 2**

Horizon	P2Ap	P2C1k	P2C2	P2C3	P2C4	P2C5	P2C6	P2C7	P2C8
Indice de cristallinité (mm)	2.15	1.50	1.25	1.05	1.00	1.20	2.01	2.03	2.00
I002/I001	0.40	0.73	0.46	0.52	0.68	0.43	0.54	0.42	0.50

Le diagramme de THOREZ (1986) (figure V-12), confirme la tendance muscovite de l'illite pour les neuf échantillons, avec de faibles indices de cristallinité (IC<3mm), correspondant à des Illites dite « fermées », faiblement altérées et par conséquent de provenance d'origine détritique.

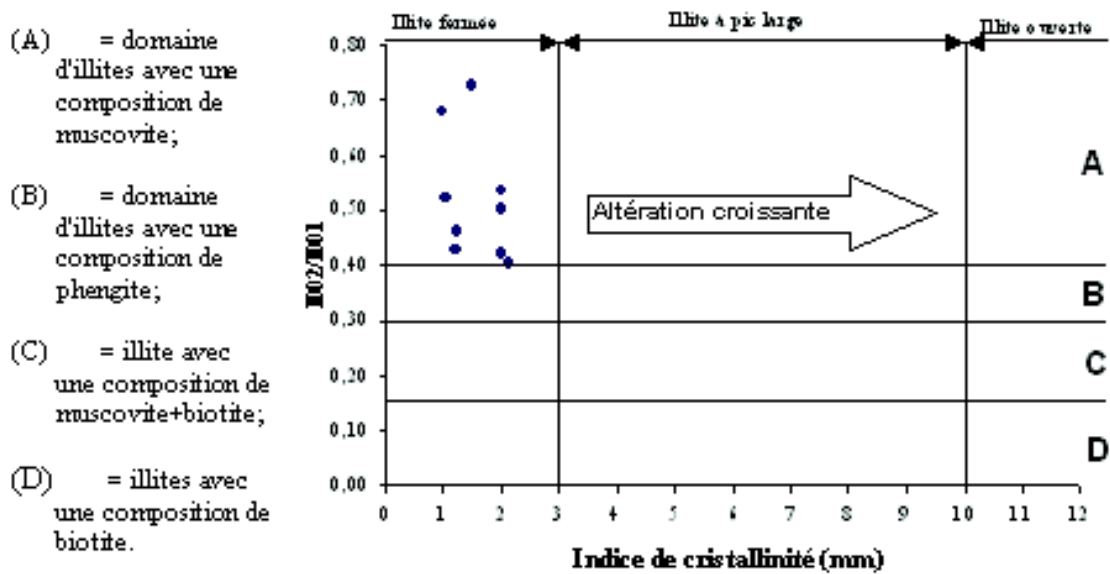


Figure V-12. Le diagramme de THOREZ (1986)  
Cristallinité de l'illite en fonction de l'altération pour le Profil 2

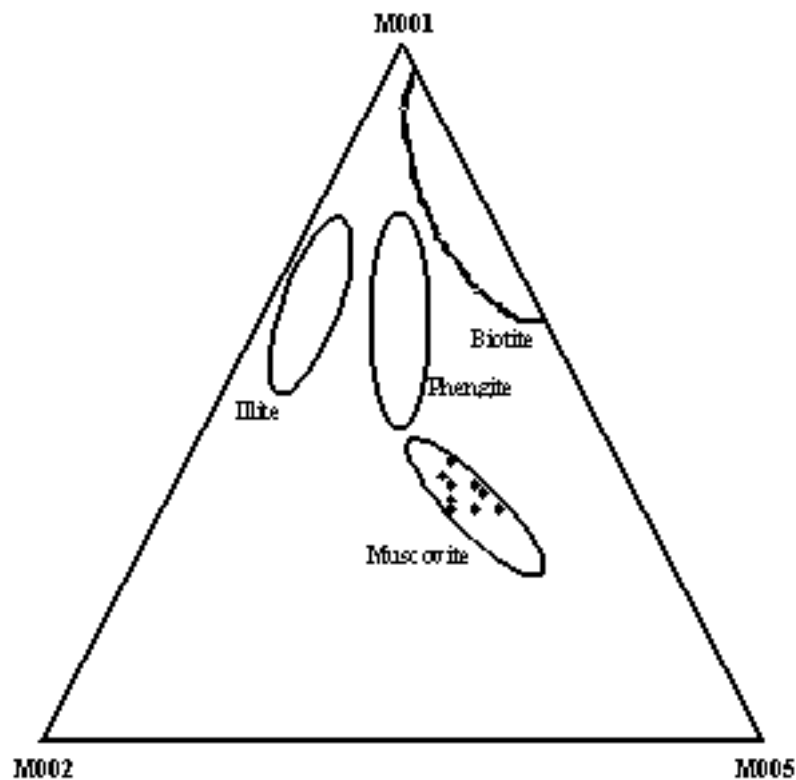


Figure V-13. Diagramme ternaire des Micas pour la fraction  $< 2\mu\text{m}$  (profil 2).

### 2.2.6. Détermination de la nature des chlorites

L'étude de l'intensité des pics (001) à 14 Å, (002) à 7 Å et (003) à 4.7 Å, permet d'apprécier la composition chimique des chlorites en les reportant dans des diagrammes triangulaires (OINUMA et al., 1972) (figure V-14). Il faut cependant noter que ce diagramme n'est valable

que pour des conditions d'analyses bien particulières et ne semble s'appliquer qu'aux uniques échantillons étudiés par son auteur.

Néanmoins en appliquant cette méthode à des analyses de chlorites décrites dans la littérature et dont on connaît la composition chimique et l'intensité des pics de réflexion aux rayons X (SHIROZU, 1958; BROWN et BAILEY, 1962; LISTER et BAILEY, 1967; BRINDEY et BROWN, 1980), on peut généraliser l'interprétation que donne OINUMA (1972) en admettant que le pôle à 14 Å représente la tendance Mg, le pôle à 7 Å la tendance Fe et le pôle à 4.7 Å la tendance Al.

Les résultats obtenus dans le diagramme ternaire (Figure V-14), montrent les points qui migrent au sommet du triangle (ABD), indiquant des chlorites riches en Fe-Mg avec un excès de Fer dans les couches silicatées.

L'intensité des pics d001 est  $< 15$  Å et les pics  $d_{002} > d_{001}$  dans l'ensemble des échantillons, ceci implique que la chlorite est dioctaédrique avec une couche hydroxyde organisée (DE KEMPE, 1984). La décomposition des chlorites à 550°C et les faibles affaissements de la base des pics 001 est un indice d'une chlorite faiblement altérée, cette faible altération est due au caractère ferromagnésien de cette chlorite, qui selon HAVELICEK (1999), résiste mieux à l'altération que les micas.

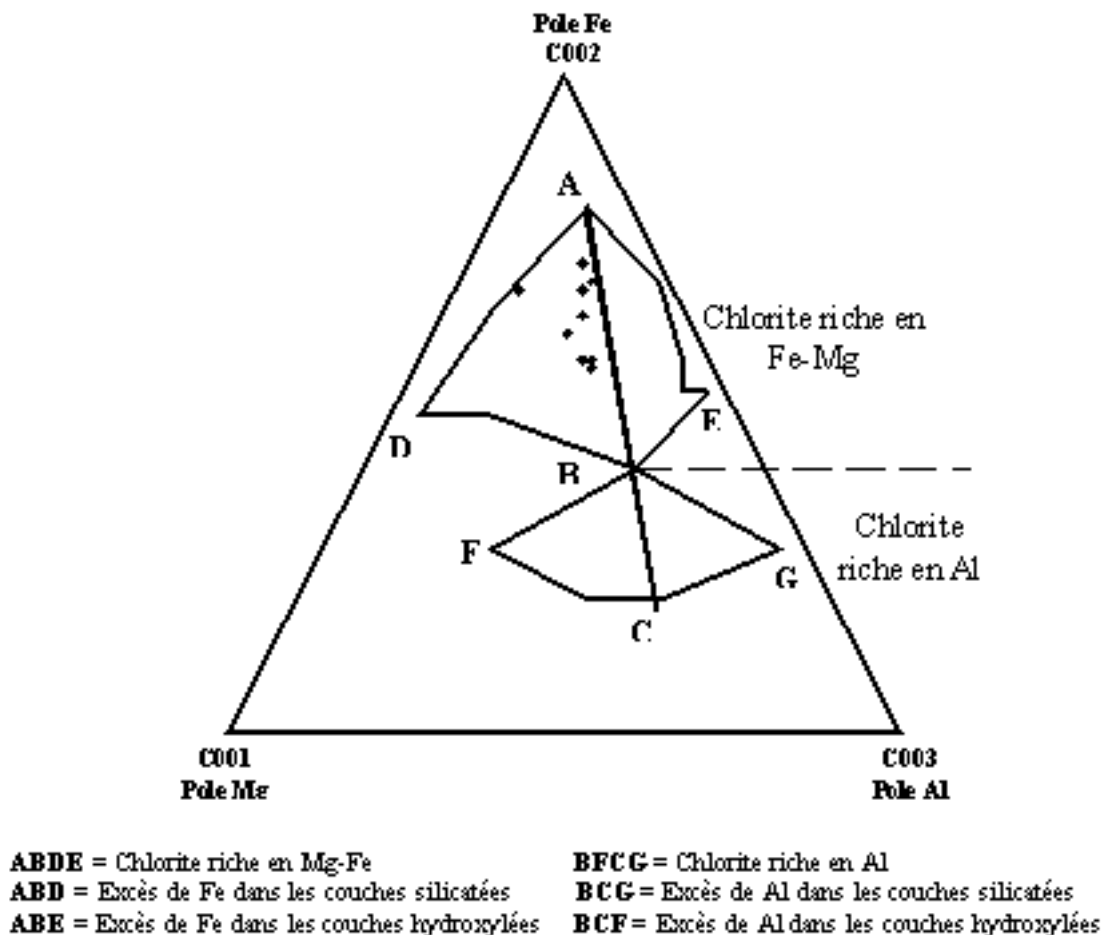


Figure V-14. Diagramme ternaire des chlorites de la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  (Profil 2), selon la méthode de OINUMA et al. (1972).

### 2.3. Discussion sur la minéralogie (Profil 2)

Les résultats de la diffraction sur les échantillons désorientés (poudre totale <2mm), confirment les résultats de l'analyse physico-chimique, ils montrent la prédominance du quartz sur l'ensemble du profil, avec des pics dans les horizons sableux.

Le quartz présente une corrélation positive et très significative ( $r=0.888$ , tableau A-12 en annexe) avec la fraction sables grossiers, alors qu'il est négativement corrélé avec le reste des minéraux. Quant à la calcite, elle est positivement corrélée avec la fraction limoneuse et le calcaire total ( $r=0.441$  pour les limons et  $r= 0.880$  pour le calcaire total).

Les teneurs en calcite, dolomite et phyllosilicates sont nettement plus élevés dans l'horizon P2C1k que le reste des horizons. Ces teneurs sont dues à l'immobilisation des éléments suite aux forts déficits hydriques de la région (P-ETp=-125mm de moyenne annuelle).

Les rapports des intensités  $d_{100}/d_{101}$  du quartz (tableau V-2) sont proches de 0.3, ce qui signifie l'absence de néoformation (THOREZ et al., 2000), signifiant ainsi des apports d'origine détritique. Les rapports calcite/détritisme que nous avons obtenus reflètent un contenu carbonaté plus élevé dans les horizons sablo-loameux que dans les horizons sableux, indice d'apports d'origine hydrique pour les premiers horizons et éolienne pour les seconds.

L'assemblage minéralogique que nous avons obtenu pour la fraction argileuse (<2 $\mu$ m) correspond à celui donné par HAMDIAISSA (1995) pour la région de Ouargla. L'analyse des spectres du cortège argileux, montre qu'il s'agit d'argiles héritées du matériau parental gréseux du mio-pliocène.

Ainsi, le bon état de cristallinité de l'illite et de la kaolinite, est un indicateur d'une faible altération et d'une origine allochtone des sédiments. La nature ferromagnésienne de la chlorite est un indice de son origine allochtone (POCHON, 1978, cité par HAVELICEK, 1999). La smectite présente un gonflement à l'éthylène glycol presque total (environ 17.8Å), selon ROBERT (1975) c'est un comportement de smectite vraies, donc peu altérée, indice de l'origine détritique de celle-ci.

La faible CEC (<10 cmol+/kg) de nos sols, s'explique par la nature des argiles obtenues, qui sont dominées par les argiles primaires (palygorskite et l'illite) qui représentent à elles seules une moyenne de plus de 80% de moyenne pour l'ensemble des argiles (tableau V-5).

La palygorskite présente plus de 53.77% de moyenne, elle constitue selon BOLLE et al. (1999), un marqueur de climat chaud et aride sur les masses continentales. Elle évolue dans le même sens que le quartz, suggérant ainsi une même voie d'apport que ce dernier (éolien). Ainsi, des teneurs élevées en palygorskite traduisent un climat plus sec et aride, par conséquent, les horizons sableux qui sont les plus riches en palygorskite, seraient formés pendant des périodes plus sec que dans les horizons sablo-loameux.

## 3. Analyse chimique totale (Eléments majeurs)

### 3.1. Résultats de l'analyse

Les résultats sont consignés dans le tableau V-8, et montrent la prédominance du SiO<sub>2</sub> avec des teneurs variant entre 50.69 % (P3C1k) et 94.85% (P2C8), suivi par Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO,

CaO et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, les autres éléments ne dépassent pas les 1.16 %, il s'agit de K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (exception faite pour K<sub>2</sub>O dans l'horizon P3C1k avec 2.07%).

Ces résultats concordent avec ceux de l'analyse minéralogique (DRX). Ainsi, le SiO<sub>2</sub> correspond en grande partie au quartz, l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aux phyllosilicates, le K<sub>2</sub>O confirme la présence des feldspaths potassique et de l'illite, le MgO marque la présence de la dolomite, de la chlorite et de la smectite (BAIZE, 1988), le CaO marque la présence de la calcite, enfin le Titane ; qui est un élément extrêmement résistant à l'altération pédologique, il a tendance à s'accumuler de façon relative dans les horizons appauvris ou altérés, il peut se trouver aussi associé en impureté à la kaolinite (BAIZE, 1988).

### 3.2. Variation des éléments majeures

Les concentrations en éléments majeurs, évoluent toutes dans le même sens, comme le montrent les corrélations très hautement significatives ( $r > 0.900$ ) résumées dans le tableau V-7. Exception faite pour le SiO<sub>2</sub> qui est négativement corrélé aux autres éléments, confirmant ainsi la double voie d'apport des sédiments s en place (hydro-éolien).

**Tableau V-7: Corrélations entre les éléments de l'analyse chimique totale**

<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	-0,955							
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-0,989	0,974						
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-0,991	0,986	0,996					
<b>K<sub>2</sub>O</b>	-0,997	0,967	0,985	0,993				
<b>TiO<sub>2</sub></b>	-0,987	0,990	0,990	0,999	0,993			
<b>MnO</b>	-0,924	0,996	0,951	0,966	0,940	0,973		
<b>CaO</b>	-0,986	0,903	0,952	0,957	0,983	0,955	0,861	
<b>MgO</b>	-0,997	0,974	0,993	0,998	0,998	0,996	0,949	0,975
	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>MnO</b>	<b>CaO</b>
			3	3				

HORIZON		SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	PAF
Profil 1	P1Ap	89,95	0,031	0,80	2,20	<0,05	0,62	0,207	0,026	2,44	2,24	0,39
	P1C1	91,38	0,036	0,61	2,07	0,14	0,63	0,215	0,028	2,25	3,20	0,33
	P1C2	88,20	0,043	0,87	2,58	<0,05	0,67	0,225	0,025	2,79	4,02	0,45
	P1C3	92,63	0,030	0,73	1,45	<0,05	0,44	0,120	0,020	1,84	2,53	0,20
	P1C4	89,33	0,035	0,94	2,49	<0,05	0,66	0,235	0,028	2,30	3,50	0,45
	P1C5	92,63	0,028	0,69	1,67	<0,05	0,53	0,184	0,024	1,65	2,32	0,20
Profil 2	P2Ap	93,71	0,030	0,90	1,54	<0,05	0,35	0,180	0,025	1,20	1,84	0,15
	P2C1k	81,43	0,074	1,81	5,00	<0,05	0,98	0,328	0,038	3,42	6,08	0,90
	P2C2	94,05	0,014	0,90	1,49	<0,05	0,36	0,166	0,014	1,04	1,92	0,15
	P2C3	87,89	0,053	1,20	3,13	<0,05	0,64	0,239	0,028	2,37	3,86	0,53
	P2C4	96,25	0,023	0,56	1,04	<0,05	0,24	0,136	0,016	0,61	1,18	0,03
	P2C5	88,47	0,036	1,16	3,05	<0,05	0,64	0,225	0,025	1,97	3,88	0,54
	P2C6	91,85	0,023	0,90	2,20	<0,05	0,47	0,186	0,023	1,30	2,70	0,28
	P2C7	90,22	0,038	1,44	2,70	<0,05	0,53	0,225	0,028	1,47	3,14	0,48
P2C8	94,85	0,026	0,76	1,60	<0,05	0,35	0,170	0,020	0,69	1,70	0,13	
Profil 3	P3Ap	73,90	0,072	2,38	5,53	0,09	1,16	0,346	0,043	5,95	9,18	1,30
	P3C1k	50,69	0,138	4,32	10,75	0,25	2,07	0,589	0,067	11,37	17,52	2,76
	P3C2	91,86	0,035	0,83	1,86	<0,05	0,56	0,226	0,027	1,97	2,76	0,30
	P3C3k	75,75	0,046	1,66	4,33	0,60	1,13	0,314	0,033	6,90	8,50	1,11
	P3C4	88,62	0,034	1,01	2,43	<0,05	0,76	0,219	0,025	2,78	3,68	0,42
	P3C5k	61,04	0,037	0,73	1,39	<0,05	0,31	0,121	0,031	18,84	17,02	0,67

Tableau V-8 : Résultats de l'analyse chimique totale

### 3.2.1. Variation de la teneur en SiO<sub>2</sub>

Le but de l'étude de cet élément est d'une part, d'en observer l'évolution, et d'autre part, de caractériser la où les formes sous lesquelles il se présente dans nos horizons.

Dans nos échantillons le SiO<sub>2</sub> se présente sous forme de quartz dans l'ensemble des horizons, sa teneur varie entre 50.69% dans l'horizon P3C1k et 96.25% dans l'horizon P2C4. On distingue clairement que la courbe d'évolution de la teneur en SiO<sub>2</sub> covarie avec les alternances horizons sableux/horizons sablo-loameux (figure V-15). Les teneurs sont plus élevées dans les horizons sableux.

### 3.2.2. Evolution du paramètre Q

Selon PLUQUET (2000), le paramètre Q représente la proportion de silice terrigène non feldspathisable, il est donc le reflet de la teneur en quartz du sédiment. Il est calculé à partir des résultats en atomes, et qui se définit de la manière suivante :

$$Q = \frac{Si}{[3 - (Na + K + 2Ca/3)]}$$

Q présente une évolution analogue à celle de la silice (Figure V-15). Par conséquent, les variations de la teneur en silice représentent en réalité les variations de la teneur en quartz du sédiment. Les teneurs élevées en Si dans les horizons sableux reflètent des apports plus importants de grains de quartz éoliens, liés aux vents fréquents durant toute l'année. Notant que les vents dominants sont de Nord-Ouest (SELTZER, 1946), pour les vents efficaces sont (apport de sables) sont du secteur sud.

### 3.2.3. Variations de la teneur en $Al_2O_3$

La teneur en Al (Tableau V-8) présente une variabilité comprise entre 1.04% (P2C4) et 10.75% (P3C1k). L'évolution de cet élément est négativement corrélée à celle de la Si, avec les teneurs les plus élevées dans les horizons sablo-loameux.

Le rapport  $SiO_2 / Al_2O_3$  (Tableau V-10) varie en fonction des alternances horizons sableux/horizons sablo-loameux (Figure V-16). Les valeurs les plus basses reflètent les horizons les plus riches en limons. Les teneurs les plus élevées sont obtenues dans les horizons sableux. Ce rapport s'avère dépendant de la dilution par la silice ( $SiO_2$ ) détritique, il ne met pas en évidence les variations imputables à l'altération chimique.

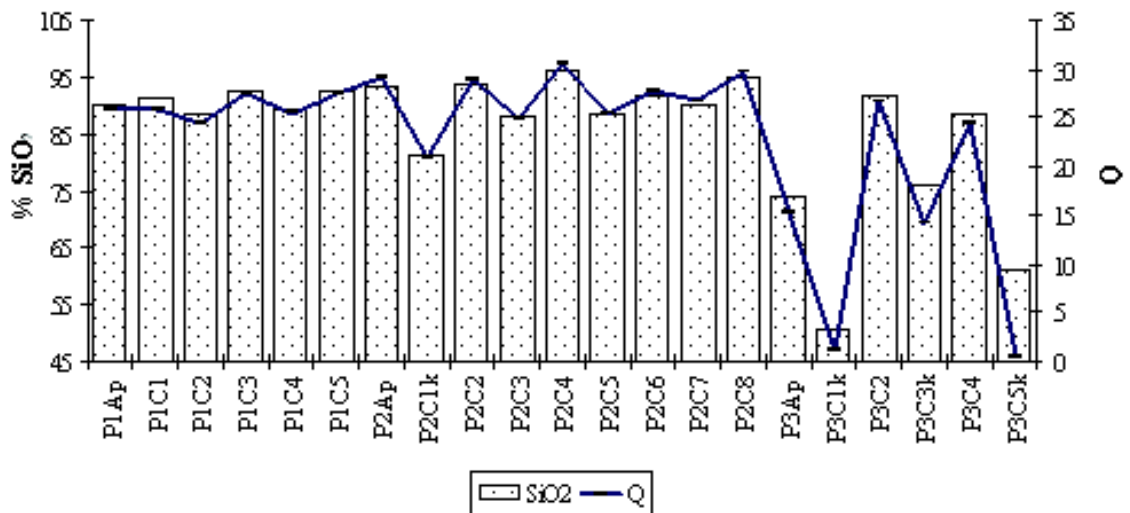


Figure V-15. Variation de la teneur en silice et du paramètre Q en fonction de la profondeur



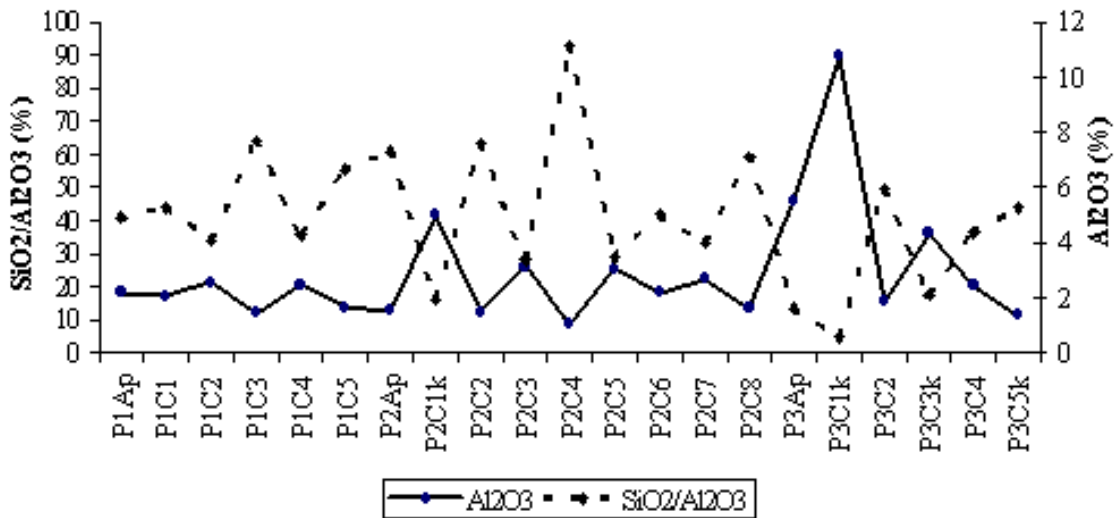


Figure V-16. Evolution de la teneur en  $Al_2O_3$ , et du rapport  $SiO_2/Al_2O_3$  en fonction de la profondeur

### 3.2.4. Variations de la teneur en $K_2O$

On a choisi de présenter ici les variations géochimiques de la teneur en potassium, car il s'agit d'un élément très présent dans les argiles primaires (illites en particulier), mais aussi très mobile lors de l'altération chimique. Il peut donc nous apporter des informations complémentaires à l'égard de l'étude de la fraction argileuse.

Le rapport  $K_2O/Al_2O_3$  (Figure V-17) est élevé lorsque la fraction argileuse est constituée de minéraux primaires (illite-mica) et faible lorsque la fraction argileuse est constituée de minéraux secondaires (kaolinite-smectite). Le tableau V-10 montre des valeurs de  $K_2O/Al_2O_3$  relativement stables et faibles, variant entre 0.19 et 0.31, confirmant les résultats de l'analyse minéralogique du profil 2 (Tableau V-5) qui montre la prédominance des minéraux primaires (Illite, chlorite et palygorskite) sur les minéraux secondaires (Kaolinite et smectite), indice d'une faible altération chimique.

### 3.2.5. Evolution des index d'altération chimiques

L'index d'altération CIA se définit par le rapport molaire suivant (PLUQUET, 2000 et ARNAUD, 2003) :

$$CIA = \frac{[Al_2O_3]}{[Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO]} \times 100$$

Cet index doit nous permettre de faire la part dans les sédiments de ce qui est lié à l'altération chimique, par rapport à ce qui peut être imputable à l'érosion physique (ARNAUD, 2003).

L'index CIA présente des teneurs élevées entre 71.45 et 82.92, ce qui reflète la domination de l'altération d'origine physique. La variation du CIA oscille entre les horizons sableux et les horizons sablo-loameux (Tableau V-10).

## 3.3. Sources des sédiments

### 3.3.1. Evolution du paramètre B

Le paramètre B se définit à partir de la somme Fe+Ti+Mg (PLUQUET, 2000) calculé à partir des résultats en atomes. Son étude permet de mettre en évidence la proportion de minéraux ferro-magnésiens présents dans le sédiment.

Les variations du paramètre B indiquent en théorie des modifications dans les apports sédimentaires (modifications de source ou de voie d'apport). Cependant, il présente ici des variations opposées à celles de Si (Figure V-18). Indiquant ainsi la présence de deux voies d'apports. On considère que les particules éoliennes sont principalement composées de silice, dans ce cas, seuls les apports hydriques sont susceptibles de fournir des minéraux ferro-magnésiens.

### 3.3.2. Caractérisation des sources sédimentaires

Pour la caractérisation de la source sédimentaire, ARNAUD (2003) a proposé l'utilisation de la proportion d'aluminium dans le sédiment total, comme marqueur du flux détritique total. Cette caractérisation est affinée en cherchant les fractions granulométrique (A, LF, LG, SF, SG) et le CaT les mieux corrélées à l'aluminium ( $Al_2O_3$ ).

Tableau V-9 : Corrélations entre  $Al_2O_3$  - Granulométrie et Calcaire total

	A	LF	LG	SF	SG	Calcaire total
$Al_2O_3$	0,11	0,93	0,47	-0,59	-0,50	0,88

Les résultats montrent une corrélation positive et hautement significative pour les limons fins ( $r = 0.93$ ), idem pour le calcaire total ( $r = 0.88$ ) et significative pour les limons grossiers ( $r = 0.47$ ). A l'inverse la corrélation est négativement significative pour les sables fins et grossiers (respectivement  $r = -0.59$  et  $-0.50$ ), la fraction argileuse reste faiblement corrélée ( $r=0.11$ ).

Ainsi, ces résultats montrent que les fractions limons fins, limons grossiers et le calcaire total correspondent à la fraction détritique d'apport hydrique, par contre les sables fins et grossiers sont liés à une origine d'apport éolienne. Enfin, la faible corrélation de la fraction argileuse, peut être expliquée par un apport à la fois d'origine éolien et hydrique.

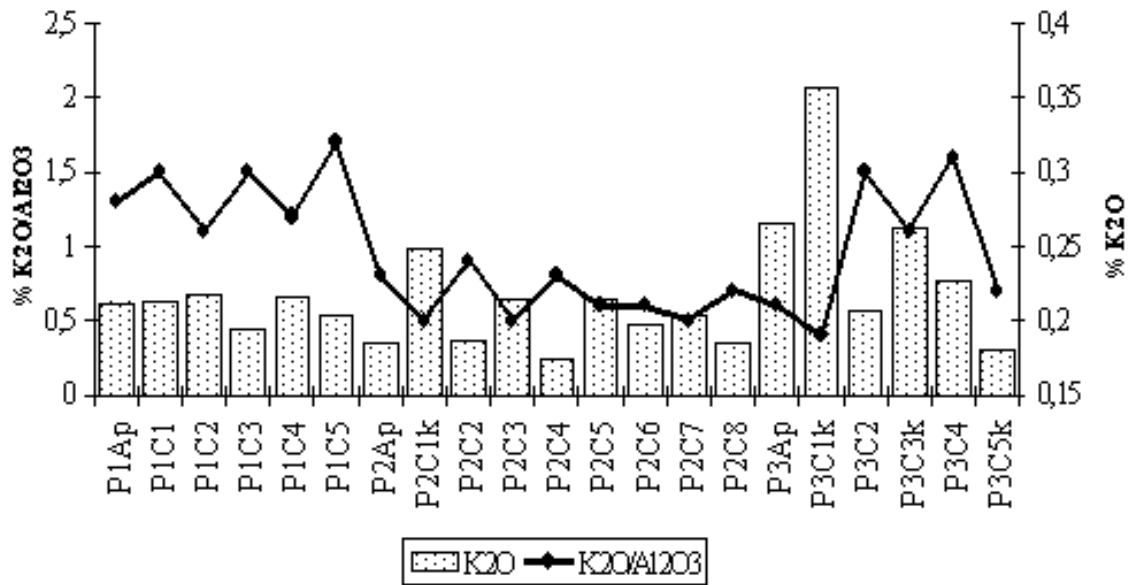


Figure V-17. Evolution du rapport  $K_2O/Al_2O_3$  en fonction de la profondeur

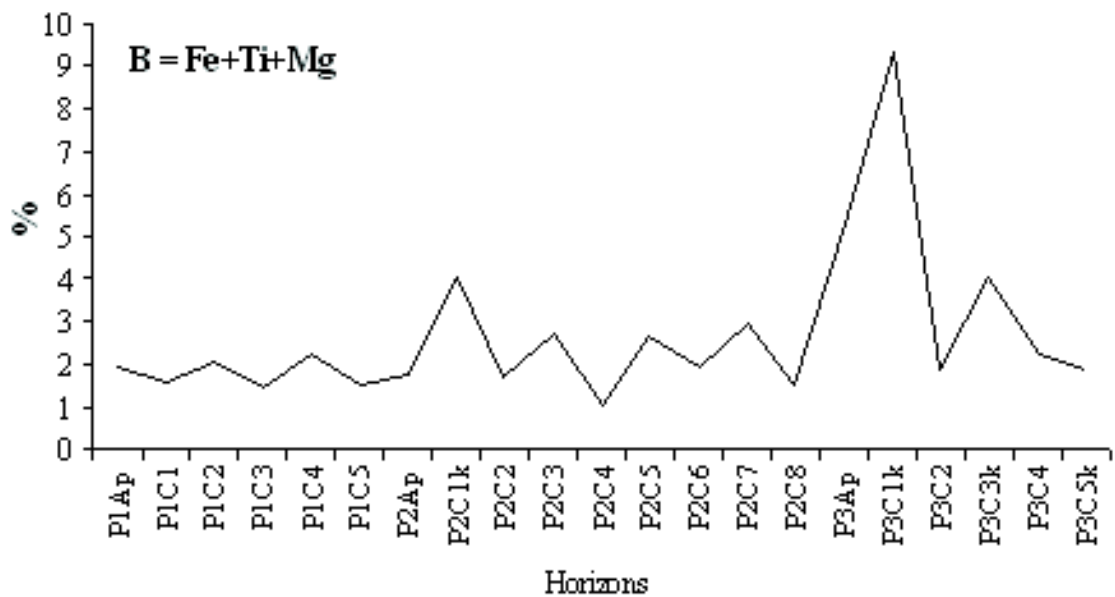


Figure V-18. Evolution du paramètre  $B$ , en fonction de la profondeur

### 3.4. Discussion sur la géochimie

L'étude du paramètre  $B$  défini par PLUQUET (2000), présente des variations opposées à celles du  $SiO_2$  (Figure V-18), indiquant ainsi, la présence d'une double voie d'apport (éolienne et hydrique).

La caractérisation de la source sédimentaire, proposée par ARNAUD (2003), montre que les fractions LF, LG et le Calcaire total correspondent à la fraction détritique d'apport d'origine hydrique, par contre les sables fins et grossiers sont plutôt liés à une origine d'apport éolienne.

Le paramètre Q présente une évolution analogue à celle du  $\text{SiO}_2$  (Figure V-16). Par conséquent, les variations de la teneur en silice reflètent en réalité les variations de la teneur en quartz des sédiments.

Le rapport  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Tableau V-10), s'avère trop dépendant de la dilution par la silice ( $\text{SiO}_2$ ) détritique, il ne met pas en évidence les variations imputables à l'altération chimique.

Les valeurs de  $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  relativement stables et faibles, variant entre 0.19 et 0.31, confirment les résultats de l'analyse minéralogique du profil 2 (Tableau V-5) qui montrent la prédominance des minéraux primaires (Illite, chlorite et palygorskite) sur les minéraux secondaires (Kaolinite et smectite), signifiant ainsi la prédominance de l'altération physique. Cette dernière est confirmée par les index d'altération CIA qui présentent des teneurs élevées entre 71.45 et 82.92 (Tableau V-10), ce qui reflète la domination de l'altération d'origine physique.

Horizon	Q	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Si/Al	K/Al	Na/Al	$\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	B	CIA	
Profil.1	P1Ap	25,86	40,89	36,11	0,44	0,03	0,28	1,93	76,66
	P1C1	25,88	44,14	38,99	0,48	0,09	0,30	1,56	72,89
	P1C2	24,52	34,19	30,19	0,41	0,03	0,26	2,11	78,18
	P1C3	27,56	64,03	56,55	0,47	0,05	0,30	1,48	74,83
	P1C4	25,42	35,88	31,68	0,42	0,03	0,27	2,22	77,81
	P1C5	27,59	55,47	48,99	0,50	0,04	0,32	1,50	74,22
Profil.2	P2Ap	29,09	60,85	53,74	0,36	0,05	0,23	1,76	79,38
	P2C1k	20,79	16,29	14,38	0,31	0,01	0,20	4,09	82,92
	P2C2	29,03	63,12	55,75	0,38	0,05	0,24	1,72	78,42
	P2C3	24,86	28,08	24,80	0,32	0,02	0,20	2,70	81,94
	P2C4	30,58	92,55	81,74	0,36	0,07	0,23	1,04	78,20
	P2C5	25,50	29,01	25,62	0,33	0,02	0,21	2,64	81,55
	P2C6	27,80	41,75	36,87	0,34	0,03	0,21	1,91	80,88
	P2C7	26,76	33,41	29,51	0,31	0,03	0,20	2,98	82,32
	P2C8	29,69	59,28	52,36	0,34	0,04	0,22	1,50	80,00
Profil.3	P3Ap	15,26	13,36	11,80	0,33	0,02	0,21	5,30	81,56
	P3C1k	1,07	4,72	4,16	0,30	0,03	0,19	9,32	82,25
	P3C2	26,74	49,39	43,62	0,47	0,04	0,30	1,86	75,30
	P3C3k	14,15	17,49	15,45	0,41	0,19	0,26	4,01	71,45
	P3C4	24,46	36,47	32,21	0,49	0,03	0,31	2,26	75,00
	P3C5k	0,46	43,91	38,78	0,35	0,05	0,22	1,86	79,43

Tableau V-10 : Paramètre de l'altération pour les Profils 1, 2 et 3

# Chapitre 6 Etude micromorphologique et morphoscopique des sols

## 1. Introduction

En micromorphologie la caractérisation de l'assemblage des constituants élémentaires des sols est fondée sur la description de leur micro organisation observée sur des lames minces en microscopie optique ou en microscopie électronique à balayage.

Onze échantillons à structure conservée ont été prélevés dans six horizons du Profil 2. Ces horizons ont fait l'objet d'une caractérisation micromorphologique, complétée par la technique de l'analyse d'images de lames minces pour l'étude morphométrique de l'espace poral (HALLAIRE et COINTEPAS, 1993). La terminologie employée pour la description micromorphologique, est celle proposée par DUCHAUFOR (1977) et BULLOCK et al. (1985) en s'aidant de la traduction élaborée par STOOPS (1983).

## 2. Description micromorphologique des horizons

### 2.1. Description de l'horizon P2C3

Trois lames ont été confectionnées pour cet horizon afin de décrire l'ensemble des caractères pédologiques, les lames sont orientées verticalement, du haut vers le bas.

#### 2.1.1. Microstructure et porosité

Du fait de sa texture sablo-loameuse, cet horizon présente une microstructure particulière quartzreuse. La majorité des grains est revêtue par une fine couche brune d'un mélange argilo-calcitique, leurs taille varie entre 100 $\mu\text{m}$  et 300 $\mu\text{m}$ . La structure granulaire de ce sol, donne forme à une porosité texturale d'entassement, les vides ont une taille variant entre 50 $\mu\text{m}$  et 350 $\mu\text{m}$ , et présentent près de 35% de la surface totale de la lame. Ces vides sont aléatoirement orientés.

#### 2.1.2. Le fond matriciel

- **Matériel grossier** : Constitué essentiellement de grains de quartz (>80%), à contours semi-arrondis.
- **Matériel fin** : De couleur brunâtre constitué essentiellement d'un mélange d'argile, de limons fins et de calcite (micrite), sous forme de revêtements, il représente moins de 20%.
- **Biréfringence** : Cristallitique.
- **Rapport g/f (limite 10 $\mu\text{m}$ )** : 8/2.
- **Distribution relative des matériaux grossiers et fins** : Assemblage de type chitonique.

#### 2.1.3. Traits pédologiques

- Accumulations texturales
  - *Siltanes* (Photos V-3): Observées dans l'ensemble de l'horizon, peu nombreuses, réparties aléatoirement, elles correspondent à des accumulations texturales limoneuses, colmatant les vides majeurs.

- *Accumulations argilo-calcitique* : se rencontrent sous forme micro-lamellaires.
  - *Squelettanes* (Photos V-1) : Observés au sein des accumulations argilo-calcitique.
  - *Revêtements* calcitique des parois des vides et autour des grains, composés de cristaux micritique de couleur brune.
- **Nodules calcitiques** : De couleur sombre-gris, observés sur l'ensemble de l'horizon, aléatoirement distribués, ces nodules sont de type géodique à noyaux creux, de taille n'excédant pas les 50 µm.

## 2.2. Description de l'horizon P2C4

Deux lames ont été confectionnées pour cet horizon.

### 2.2.1. Microstructure et porosité

Microstructure granulaire quartzeuse, la taille des grains est assez hétérogène, elle varie entre 30µm et 450µm. La porosité est texturale d'entassement, le diamètre des vides dépasse à certains endroits les 500µm, la surface totale des vides est estimée à 40%. Orientation aléatoire.

### 2.2.2. Le fond matriciel

- **Matériel grossier** : Constitué à 90% de grains de quartz, à contours sub-angulaires plus ou moins émoussés.
- **Matériel fin** : Il représente moins de 10%, de couleur brunâtre, composé pour l'essentiel d'argile, de limons fins et de calcite (micrite).
- **Biréfringence** : Faible.
- **Rapport g/f (limite 10µm)** : 9/1.
- **Distribution relative des matériaux grossiers et fins** : Assemblage monique.

### 2.2.3. Traits pédologiques

- Accumulations texturales
  - *Siltanes* : plus abondants que dans le précédent horizon, leurs répartition est aléatoire.
  - Quelques vides colmatés par le matériau fin.
  - *Revêtements* calcitique de quelques parois des vides et de grains, ces revêtements sont composés de cristaux de micritique et mico-sparite de couleur brunâtre.
- **Nodules calcitiques** : De couleur sombre-gris, observés sur l'ensemble de l'horizon, aléatoirement distribués, ces nodules sont de type géodique, moins nombreux que dans le précédent horizon.

## 2.4. Description de l'horizon P2C5

### 2.4.1. Microstructure et porosité

Microstructure granulaire. Comme les précédents horizons les grains de quartz sont enveloppés par une couche fine d'argile, leurs taille varie entre 50µm et 400µm. La porosité est texturale, la taille des vides varie entre 25 et 350µm., aléatoirement orientés, leurs surface totale est estimée à 30%.

#### 2.4.2. Le fond matriciel

- **Matériel grossier** : plus de 85% de grains de quartz, à contours semi-arrondis à sub-angulaires émoussés.
- **Matériel fin** : Il représente moins de 15%, à constitution essentiellement d'argile, de limons fins et de calcite (micrite).
- **Biréfringence** : Cristallitique.
- **Rapport g/f (limite 10µm)** : 5/1.
- **Distribution relative des matériaux grossiers et fins** : L'assemblage est de type monique.

#### 2.4.3. Traits pédologiques

##### Accumulations texturales

- **Siltanes** : nombreuses, réparties aléatoirement.
- Nombreux vides colmatés par le matériau fin (micro-sparites et micrites).
- **Squelettanes** : nombreux au sein des accumulations argilo-calcitique.
- Abondance des revêtements calcitique des parois des vides et des grains.
- **Nodules calcitiques** : Aléatoirement distribués, de couleur sombre-gris, de type géodique et de taille inférieure à 50 µm.

#### 2.5. Description de l'horizon P2C6

##### 2.5.1. Microstructure et porosité

Présente les même caractéristiques que l'horizon P2C4. Avec une plus grande hétérogénéité des grains, la surface totale des vides est d'environ 42%. Sans orientation.

##### 2.5.2. Le fond matriciel

- **Matériel grossier** : Grains de quartz à plus de 90%, à contours sub-angulaires plus ou moins émoussés.
- **Matériel fin** : Il représente moins de 10%, constitué d'argile, de limons fins et de calcite (micrite).
- **Biréfringence** : Faible.
- **Rapport g/f (limite 10µm)** : 9/1.
- **Distribution relative des matériaux grossiers et fins** : Monique.

##### 2.5.3. Traits pédologiques

##### Accumulations texturales

- **Siltanes** : moins nombreuses, réparties aléatoirement. Peu de vides remplis par le matériau fin
- Quelques revêtements calcitiques brunâtre autour des grains.

- **Nodules calcitiques** : Aléatoirement distribués, de couleur sombre-gris, et de type géodique et typique, taille inférieure à 50 µm.

## 2.6. Description de l'horizon P2C7

### 2.6.1. Microstructure et porosité

La microstructure est particulière. Les grains de quartz sont revêtus d'une fine couche argilo-calcaire, ont une taille variant entre 50µm et 300µm. La porosité est texturale, la taille des vides varie entre 80µm et 450µm, leurs surface totale ne dépasse pas les 32%. Aléatoirement orientés.

### 2.6.2. Le fond matriciel

- **Matériel grossier** : Constitué essentiellement de grains de quartz (75%), à contours sub-arrondis.
- **Matériel fin** : Composé d'argile, de limons fins et de calcite (micrite), il représente moins 25%.
- **Biréfringence** : Cristallitique.
- **Rapport g/f (limite 10µm)** : 3/1.
- **Distribution relative des matériaux grossiers et fins** : Assemblage chitonique.

### 2.6.3. Traits pédologiques

- Accumulations texturales
  - *Siltanes* : nombreuses, réparties aléatoirement.
  - Nombreux vides remplis par le matériel fin
  - Nombreux revêtements calcitique colmatant les parois des vides et des grains, composés de cristaux micritique de couleur brunâtre.
- **Nodules calcitiques** : Moins nombreux, aléatoirement distribués, de couleur sombre-gris, de type géodique de taille inférieure à 50 µm.

## 2.7. Description de l'horizon P2C8

### 2.7.1. Microstructure et porosité

Présente les même caractéristiques que les horizons P2C4 et P2C6, les vides occupent plus de 45% de la surface totale.

### 2.7.2. Le fond matriciel

- **Matériel grossier** : Constitué de grains de quartz (95%), contours sub-angulaires plus ou moins émoussés.
- **Matériel fin** : Il représente moins de 5%, à composition d'argile, de limons fins et de calcite (micrite).
- **Biréfringence** : Indifférenciée.
- **Rapport g/f (limite 10µm)** : 20/1.
- **Distribution relative des matériaux grossiers et fins** : Monique.

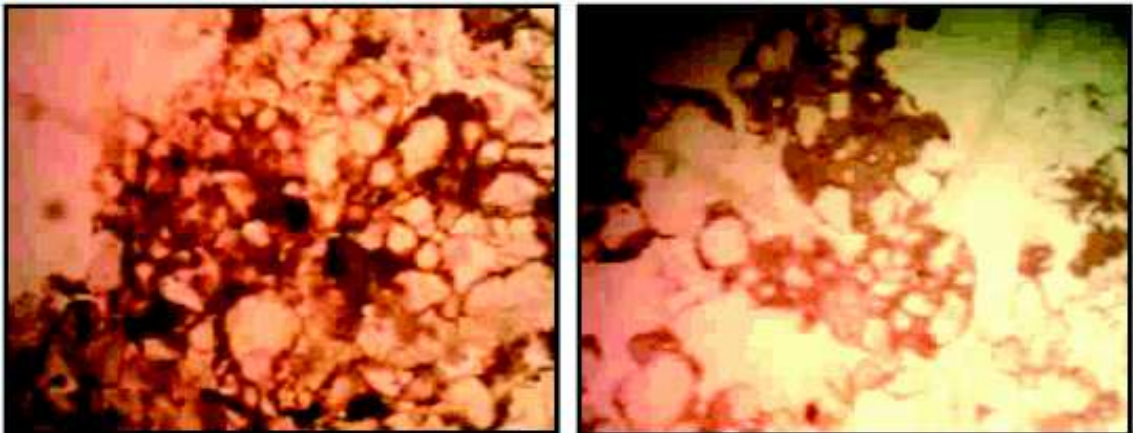
### 2.7.3. Traits pédologiques



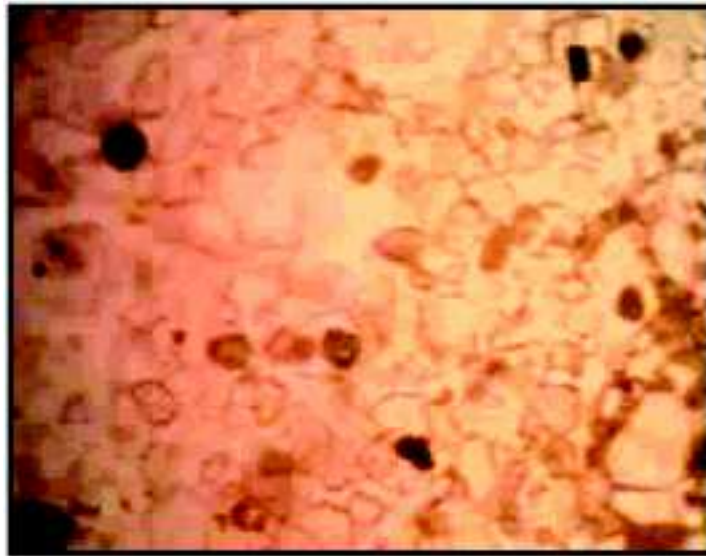
- Accumulations texturales
  - *Siltanes* : nombreuses, aléatoirement réparties.
  - *Revêtements calcitiques* autour des grains et des parois des vides, de couleur brunâtre.
- **Nodules calcitiques** : Nombreux, de couleur sombre-gris, distribués aléatoirement, de type géodique et typique de taille inférieur à 70  $\mu\text{m}$ .

Horizon (Lame)	Traits pédologiques		Surface des vides (%)	Microstructure		Abondance du squelette quartzique	Type d'assemblage	Rapport g/f
	Type	Abondance		Type	Porosité			
P2C3	Siltanes	++	35	Particulaire	Texturale	78%	Chitonique	8/2
	Squelettanes	++						
	Nodules calcitiques	+++						
P2C4	Siltanes	+++	40					
	Nodules calcitiques	++						
P2C5	Siltanes	+++	30					
	Squelettanes	++						
	Nodules calcitiques	++						
P2C6	Siltanes	+	42					
	Nodules calcitiques	+						
P2C7	Siltanes	++	33					
	Nodules calcitiques	++						
P2C8	Siltanes	++	45					
	Nodules calcitiques	++						

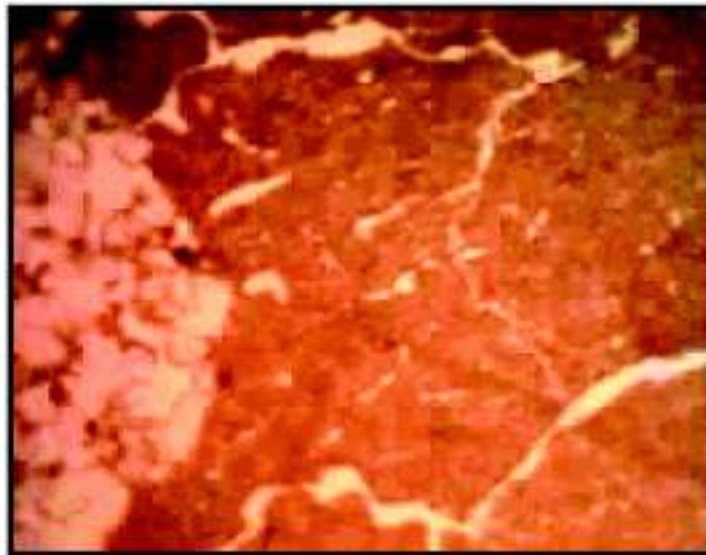
Tableau VI-1 : Caractérisation micromorphologique du profil 2.



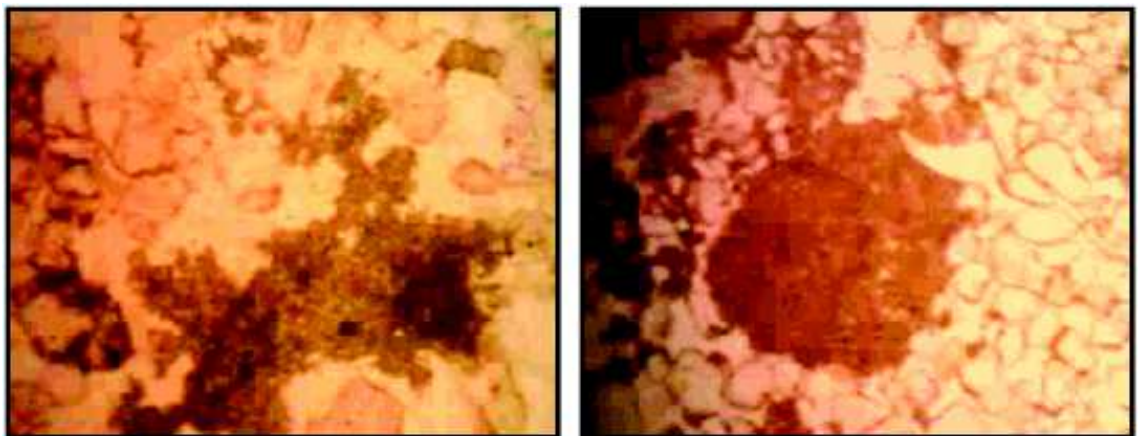
Photos VI-1. Images de squelettanes au niveau de la mince couche l'argile P2C3 (G. X4)



*Photo VI-2. Nodules calcitiques (points sombres) – horizon P2C4 (G. X4)*



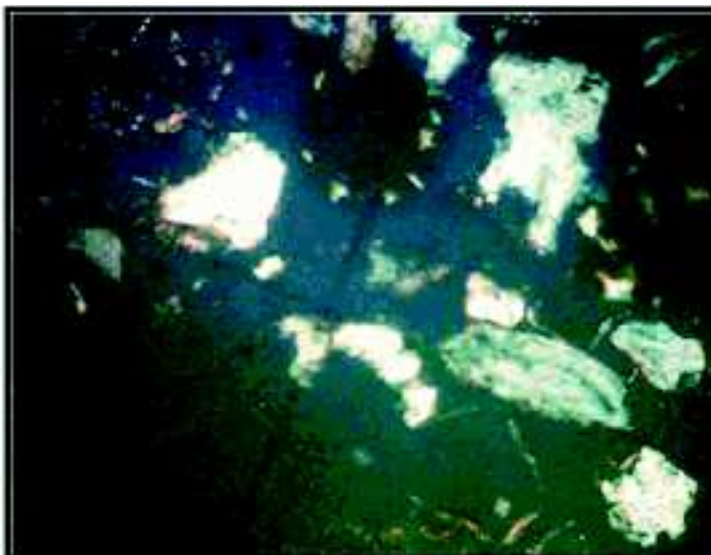
*Photo VI-3. Vides fissurales dans la couche fine d'argile - horizon P2C3 (G. X4)*



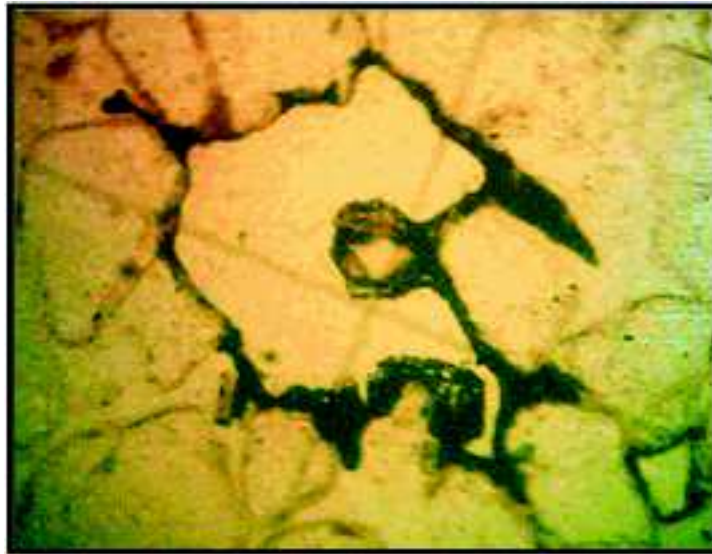
*Photos VI-4. Photo siltanes – à gauche horizon P2C8, a droite P2C3 (G. X4)*



*Photo VI-5. Biréfringence cristalline, microlites Horizon P2C5 – (G. 10X)*



*Photo VI-6. Traces d'altération sur les grains de quartz - Horizon P2C4 – (G. 10X)*



*Photo VI-7. Colmatage de la paroi du vide et du grain au centre de l'image Horizon P2C6 – (G. 10X)*



*Photo VI-8. Biréfringence cristalline, microlites Horizon P2C7 – (G. 10X)*

### **3. Discussion sur la micromorphologie**

---

L'étude micromorphologique montre la prédominance des sables fins (quartz de diamètre variant de 50 à 200 $\mu$ m), sur l'ensemble des horizons étudiés, de forme sub-arrondie à sub-angulaire, ce qui suggère une origine éolienne, et une même source d'apport; comme indiqué par l'invariance de leurs composition minéralogique (Tableaux V-2 et V-5 du chapitre 5), RAGHAVAN et COURTY (1987) ont arrivé à la même conclusion en travaillant sur des pédo-sédiments dans le désert de Thar en Inde.

Dans les horizons riches en sable, beaucoup de microsparites et de micrites calcaires de forme arrondie (nucléique), ont été observées probablement détachées par désintégration mécanique de nodules déjà préexistantes des plaines et dunes environnantes, ensuite entraînées par voie éolienne, leurs couleur sombre-gris de bas

biréfringence (Photo VI-5) enroulées et retravaillées, hypothèse d'un transport d'origine éolien (FEDOROFF et COURTY, 1985).

Au niveau des horizons sablo-loameux, plus riches en calcaire les nodules micritiques observées résultent de l'évapotranspiration après percolation des limons (ROGNON et al., 1987), ce qui indique un climat plus humide.

La forme arrondie des nodules calcitiques (Photo VI-2) dans les horizons sablo-loameux est le résultat d'un transport hydrique, liée aux crues de l'Oued Zegrir, plusieurs auteurs (YAALON et WIEDER, 1976 et FEDOROFF et al., 1987) ont confirmé cette hypothèse. FEDOROFF et al. (1987) explique que le transport et dépôt de ces nodules calcitiques correspond à une phase d'érosion caractérisée par une intense distribution irrégulière des pluies.

La texture sableuse et hautement favorable à l'infiltration et à la percolation, engendrent le déplacement du matériel fin (argile, limons fins et calcite), et la formation de micro-couches litées de couleur légèrement plus claire que le reste de l'horizon, au sein desquelles se forment des accumulations texturales de type squelettanes (Photos VI-1). D'après VALENTIN (1985) cette structure granulaire et hautement favorable aux pores médians est favorable à l'illuviation des argiles sous climat aride et semi-aride.

Des accumulations texturales limoneuses sous forme de Siltanes (Photo VI-4) ont été observées, en position de revêtement des vides et des grains, et colmatant des vides majeurs, ceux-ci indiquent des percolations rapides et importantes pendant les périodes humides (crues).

Les revêtements autour des grains s'explique selon YAALON et WIEDER (1976) par la haute perméabilité de ces sols, favorisant l'infiltration rapide de l'eau, la force de capillarité attire les particules d'argiles suspendues et les limons fins en les déposant autour des grains de sable. Selon VALENTIN (1985), les connections par l'argile entre grains sont rares, et ceci à cause de la porosité élevée et des flux rapides de l'eau, résultats d'occasionnelles intenses pluies (crues).

## **4. Morphoscopie et exoscopie des grains de quartz (Profil 2)**

---

Le choix d'étudier les grains de quartz plutôt que les autres éléments, est d'une part ce sont presque exclusivement eux qui ont été étudiés dans la littérature (CHATELIN, 1972 ; BEAUDOU et CHATELIN, 1979 ; FLAGEOLET, 1981 ; SOUBIES et GOUT, 1987 ; FRITSCH, 1988 ; ROCHELEAU, 1997 ) et d'autre part, ils gardent une bonne mémoire des événements du fait de leurs grande résistance à l'altération.

### **4.1. Description morphoscopique des horizons (Profil 2)**

L'étude morphoscopique permet d'observer sous une loupe binoculaire, l'état d'usure, la sphéricité et l'aspect de surface des grains de quartz une fois lavés à l'eau.

Sous loupe binoculaire, dans les horizons sablo-loameux (P2C1k, P2C3, P2C5, P2C7, la majeure partie des grains de quartz, une fois lavés à l'eau présentent un éclat luisant, des formes sub-arrondis, émoussés, avec 30 grains sur 50 observés, alors qu'ils représentent moins de 18 grains sur 50 dans les horizons riche en sable grossier (P2Ap, P2C2, P2C4, P2C6, P2C8).

Contrairement, les grains mats et picotés sont nettement plus abondants dans les horizons P2C6 et P2C8, riches en sables grossiers (plus de 32 grains sur 50), alors qu'ils

représentent moins de 15 sur 50 pour les horizons riches en limons. Occasionnellement, des grains non usés hyalins sont observés dans les horizons P2Ap et P2C2, avec moins de 5 grains sur 50.

#### **4.2. Description exoscopique des horizons (profil 2)**

L'exoscopie permet d'étudier à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB), les traces acquises à la surface des grains lors de leurs évolutions dans les différents environnements, en vue de retracer les principales étapes d'évolution subies par les quartz lors du transport, et permettre de définir le milieu de dépôt final d'un sédiment. L'adjonction au MEB d'un analyseur à énergie dispersive de rayons X (EDAX), nous a permis de déterminer la composition chimique des particules.

Dans les horizons sableux, on a observé des traces de chocs de forme irrégulières, de taille variable et à orientation aléatoire (Photo VI-12). L'intensité des chocs varie, elle est plus dense (Photo VI-10) dans les horizons riches en quartz mats (P2C4, P2C6 et P2C8) que dans P2Ap et P2C2. Dans les horizons P2C6, P2C7, P2C8, on a observé des grains à surface nue, avec absence de traces de chocs. La majorité des grains est voilée par une fine couche d'un mélange de silice amorphe et d'argile (Photo VI-13). Ces pellicules recouvrant les surfaces des grains, sont prises en charge au sol et compactées par roulement/saltation (COUDE-GAUSSEN et ROGNON, 1983).

Au niveau des horizons sablo-loameux, les traces de chocs observées, présentent un gradient d'émoussé et de polissage (Photo VI-9). Comme pour les horizons sableux les grains de quartz sont recouverts de particules fines de silice amorphes et d'argile.

#### **4.3. Discussion sur la morphoscopie et l'exoscopie**

Les observations morphoscopiques et exoscopiques montrent une différence nette entre les horizons sableux et les horizons sablo-loameux. La morphoscopie ainsi que l'évolution texturale de la surface des grains est différente. Dans les horizons sableux, les traces de chocs en creux (Photo VI-9) à la surface des grains avec bords francs traduisent un transport d'origine éolien (FLAGEOLET, 1981). Le caractère picoté des grains dans les horizons P2Ap et P2C2, est indicateur d'une éolisation dans un milieu à basse énergie. La présence de grains hyalins sub-anguleux à anguleux indique un apport d'origine éolien récent et à courte distance probablement au départ des dunes et buttes témoins alentours.

Les horizons P2C4, P2C6 et P2C8, montrent des chocs en creux plus denses (grains mats) et plus profonds (Photo VI-10), ce qui traduit une éolisation plus énergique que dans les précédents horizons, ce qui explique l'intensité des chocs sur les grains. Occasionnellement, des grains nus avec faces lisses observés dans les horizons P2C6, P2C7, P2C8, indiquant qu'ils n'ont subi ni altération ni transport, ce qui nous laisse supposer qu'ils sont le résultat d'un probable début de néoformation due à une sursaturation en silice amorphe. L'étude des pics d100/d101 du quartz par DRX, écarte cette hypothèse.

Dans les horizons sablo-loameux (P2C1k, P2C3, P2C5, P2C7), les grains sont essentiellement à bords sub-anguleux à sub-arrondis, luisants aux bords plus ou moins polis, indice d'une évolution dans un milieu hydrique, avec une activité alluviale de moyenne énergie. La desquamation sur la surface des grains (Photo VI-11), caractérisée par des fragments esquilleux plus ou moins détachés (Photo VI-11) est le résultat d'une immobilisation des grains (CABANA, 1998).

D'après les résultats de l'EDAX (Tableau VI-2), ces pellicules sont composées essentiellement d'un mélange de silice et d'alumino-silicatés ferreux (argile), et

accessoirement de micas, feldspaths-K (K), dolomite (Mg), Calcite (Ca) et le titane. Selon COUDE-GAUSSSEN et ROGNON (1983), la coloration de cette pellicule par du Fer abondant explique la rubéfaction des quartz désertiques. Pour la fraction argileuse (P2C6) le rapport  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  est de 2.47 correspondants aux argiles selon les critères de classification minérale pour les particules à chimie homogène déduits de microanalyses effectuées au MEB.

Eléments	Pourcentage en poids des éléments									Argile P2C6
	P2Ap	P2Clk	P2C2	P2C3	P2C4	P2C5	P2C6	P2C7	P2C8	
<b>O</b>	43,79	44,53	43,43	44,91	44,07	44,01	49,60	47,46	45,41	63,46
<b>Mg</b>	2,15	2,59	1,90	1,71	1,26	2,56	1,90	2,11	1,36	2,24
<b>Al</b>	5,39	7,73	5,48	7,19	4,25	10,17	9,40	7,80	6,51	6,96
<b>Si</b>	44,52	35,35	45,84	38,36	46,97	31,57	32,77	33,25	40,87	15,18
<b>K</b>	0,82	1,76	0,87	1,48	0,89	1,86	1,25	1,64	1,39	1,10
<b>Ca</b>	1,32	3,60	0,70	2,30	0,65	2,73	1,64	3,07	0,99	-
<b>Ti</b>	0,00	0,30	0,00	0,39	0,00	0,50	0,25	0,35	0,44	1,00
<b>Fe</b>	2,01	4,15	1,78	3,65	1,91	6,60	3,19	4,32	3,03	2,34
<b>SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8,26	4,57	8,36	5,34	11,05	3,10	3,49	4,26	6,28	2,47

Tableau VI-2 : Micro-analyses (EDAX) des grains pour le profil 2

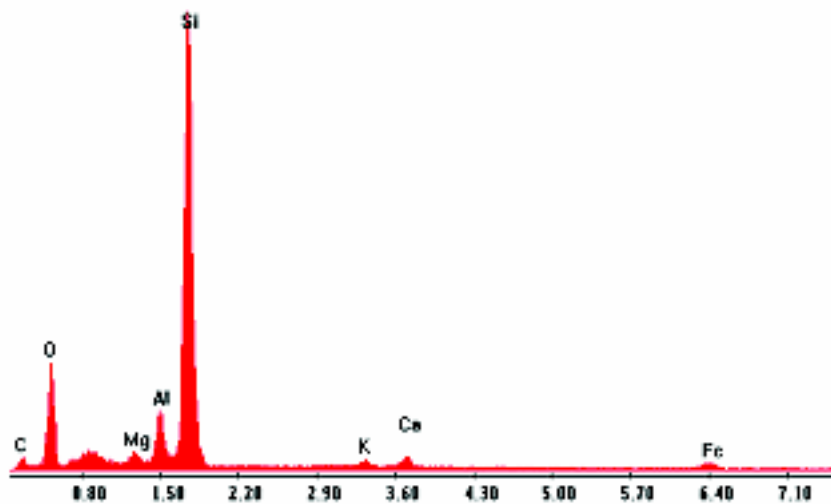


Figure VI-1. Spectre EDAX d'un grain de quartz (P2Ap)



Photo VI-9. Grain de quartz présentant des traces de chocs de formes irrégulières (P2Ap)

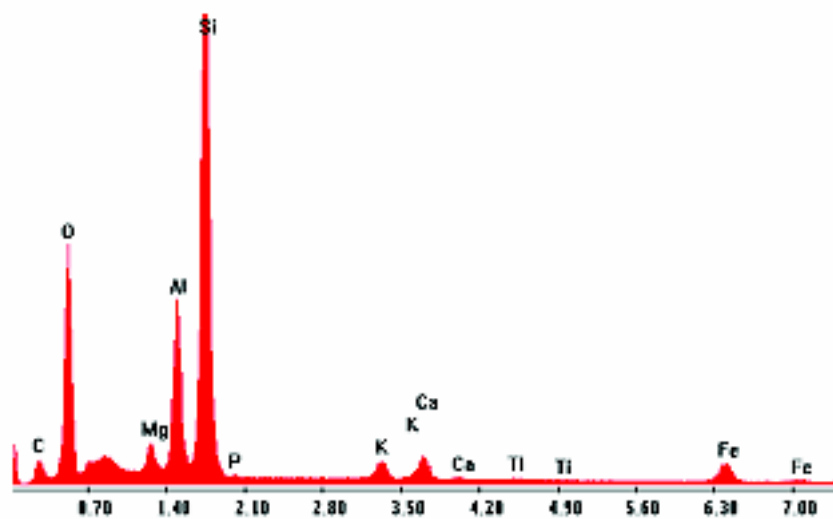


Figure VI-2. Spectre EDAX d'un grain de quartz (P2C6)



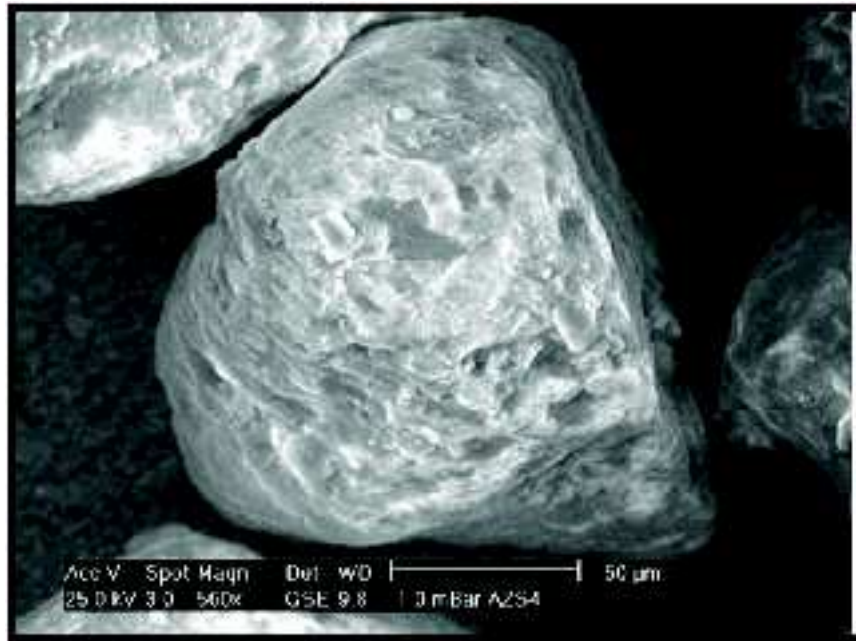


Photo VI-10. Grain de quartz présentant des traces de chocs de formes irrégulières denses et profondes (P2C6)

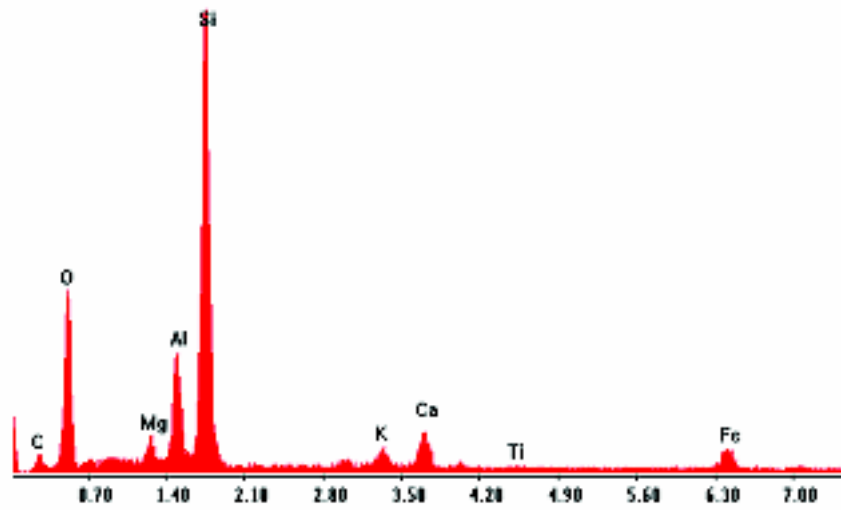


Figure VI-3. Spectre EDAX d'un grain de quartz (P2C7)



Photo VI-11. Desquamation sur la surface d'un grain de quartz avec fragments esquilleux (P2C7)

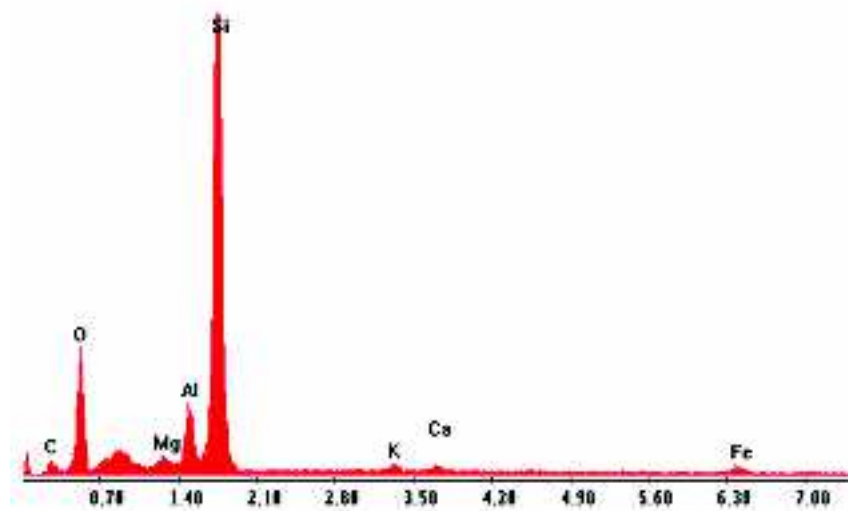


Figure VI-4. Spectre EDAX d'un grain de quartz (P2C2)

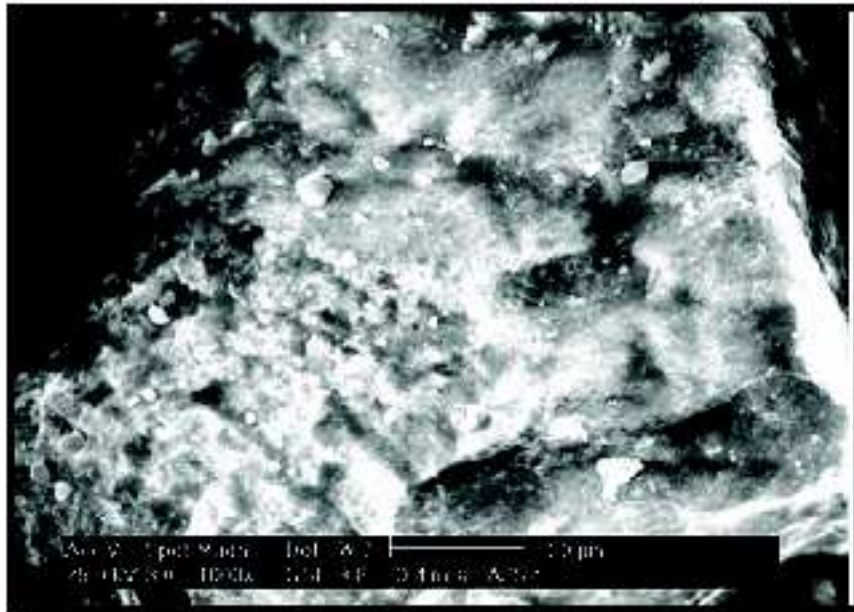


Photo VI-12. Surface d'un grain du quartz présentant des traces de chocs en creux et de formes irrégulières denses et profondes (P2C2)

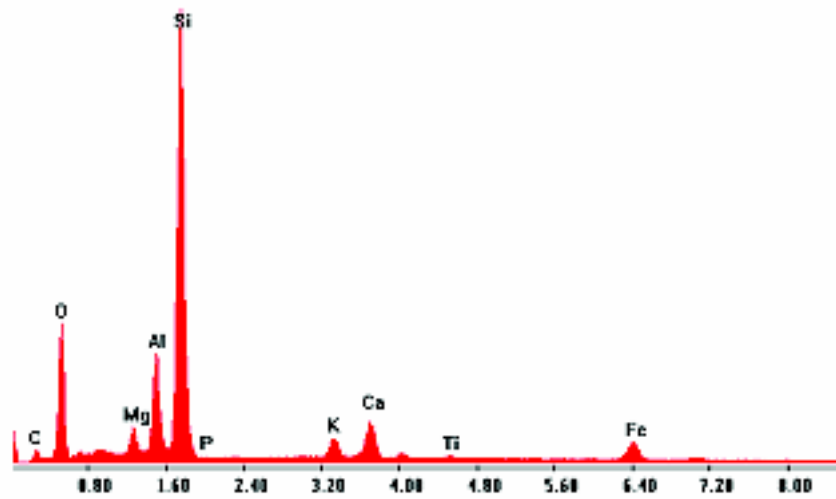


Figure VI-5. Spectre EDAX d'un grain de quartz (P2C1k)

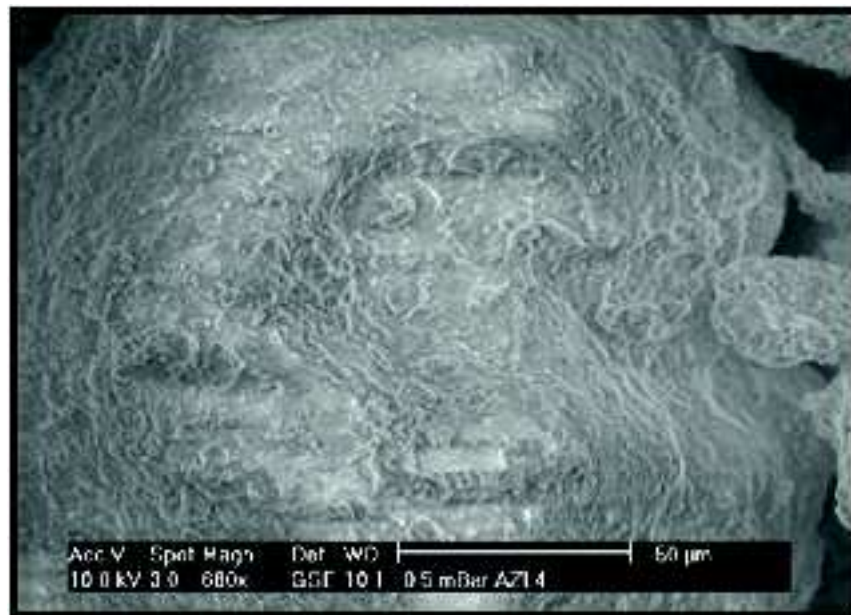


Photo VI-13. Grain de quartz recouverts de particules fines de silice amorphes et d'argile (P2C1k)

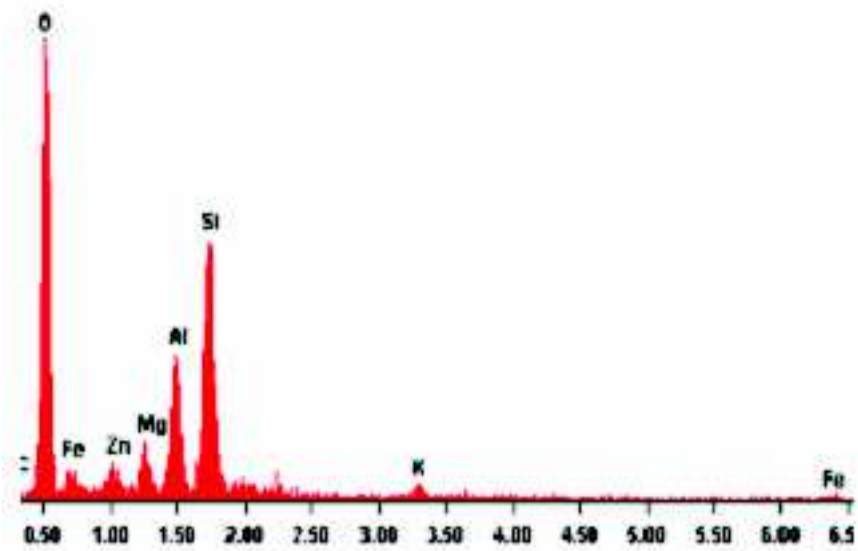


Figure VI-6. Spectre EDAX de la poudre d'argile (P2C6)

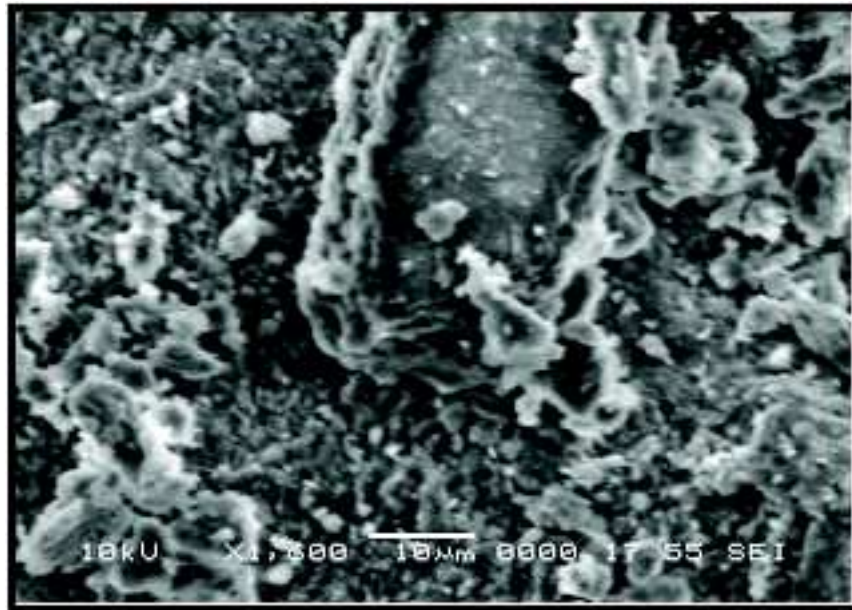


Photo VI-14. Image de poudre d'argile (P2C6)

## Chapitre 7 Synthèse

### 1. Approche statistique

La synthèse des propriétés physico-chimiques, minéralogique et géochimique est réalisée par le biais de l'Analyse factorielle en Composantes Principales (ACP). Cette analyse permet de mettre en évidence des associations entre les différents éléments étudiés, et regrouper les différents éléments partageants des informations similaires. Le calcul de l'ACP et de la matrice de corrélations est réalisé avec le programme «**Kyplot 2.0 beta**».

Afin d'étudier l'ensemble des variables, deux ACP ont été réalisés, la première ACP englobe les trois profils, sans prendre en compte les variables minéralogiques (limitées au profil 2). La deuxième ACP est réalisée pour le profil 2, et concerne les variables minéralogiques et les éléments majeurs.

#### 1.1. ACP des propriétés physico-chimiques et géochimiques

L'ACP est effectuée sur la base des résultats des 21 horizons constituant les trois profils, et sur les 18 variables suivantes : A, LT, ST, CaT, MO, CEC, CE, pH, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, CaO et MgO.

##### 1.1.1. Matrice des corrélations

La matrice des corrélations illustre les relations entre les variables (éléments) et leur poids sur les axes de l'ACP (composantes principales), les résultats sont consignés dans le tableau VII-1.

##### 1.1.2. Diagonalisation

En calculant le pourcentage de variance exprimé par chaque composante principale, on remarque que 83.62% de la variance totale du système est exprimée par les 3 premières composantes. Un bon cas de figure est d'obtenir plus de 75% de la variance totale sur les 3 premiers axes (VERRECHIA, 2004 cité par COMMENT, 2006).

La composante principale 1 (figure VII-1) exprime 61,03% de la variance totale (tableau VII-1), elle est chargée positivement par LT, CaT, MO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO et MgO, et négativement chargée par ST et SiO<sub>2</sub>. La composante principale 2, elle explique 13,34% de la variance totale, et exprime positivement le comportement de A et la CEC et de manière négative CaO et MgO.

Composantes	% Variance propre	% Variance cumulée	
Comp. 1	61,03	61,03	83.62% de variance expliquée
Comp. 2	13,34	74,37	
Comp. 3	9,25	83,62	
Comp. 4	5,36	88,98	
Comp. 5	4,02	93,00	

Tableau VII-1. Cumul du pourcentage de variance expliquée par chaque composante.

Les horizons P1Ap, P1C1, P1C3, P1C4, P1C5, P2Ap, P2C2, P2C4, P2C5, P2C6, P2C7, P2C8, P2C2, P3C2, P3C4 semblent les mieux exprimer la composante 1 (figure VII-2) de manière négative, ces horizons sont liés aux teneurs en sables totaux (>50µm) et SiO<sub>2</sub> et présentent des valeurs élevées dans ces horizons. Les horizons P1C2, P2C1k, P1C2, P3C3k, P3C1k, P3C5k, expriment la composante 1 positivement. Ces horizons sont liés essentiellement aux limons totaux (>2µ et <50µm) et différents éléments majeurs à l'exception du SiO<sub>2</sub>.

### 1.1.3. Interprétation

Cette ACP a permis de définir 2 groupes :

**Le groupe I** (SiO<sub>2</sub>, ST), montre une prédominance de la fraction sableuse notamment de la fraction sable fin sur la majorité des horizons (P1Ap, P1C1, P1C3, P1C4, P1C5, P2Ap, P2C2, P2C4, P2C5, P2C6, P2C7, P2C8, P2C2, P3C2, P3C4). La nature silicique des sables totaux (>50µm) est confirmée par son évolution similaire avec SiO<sub>2</sub>.

**Le groupe II** (LT, CaT, MO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO), qui montre des valeurs élevées dans les horizons P1C2, P2C1k, P3AP et P3C3k. L'horizon P3C1k montre le taux le plus élevé en limons grossiers, ce qui reflète un apport d'origine hydrique conséquent, donc une période climatique plus humide.

Le calcaire total est fortement et positivement corrélé aux limons totaux ( $r=0.74$ ) alors qu'il est négativement corrélé aux sables totaux ( $r=-0.74$ ); ce qui nous laisse déduire que l'origine du calcaire total et de la fraction limoneuse ont une origine différente de celle des sables, elle est d'origine hydrique pour les limons et éolienne pour la fraction sableuse, confirmant ainsi le résultat de la caractérisation de la source sédimentaire étudiée dans l'analyse géochimique.

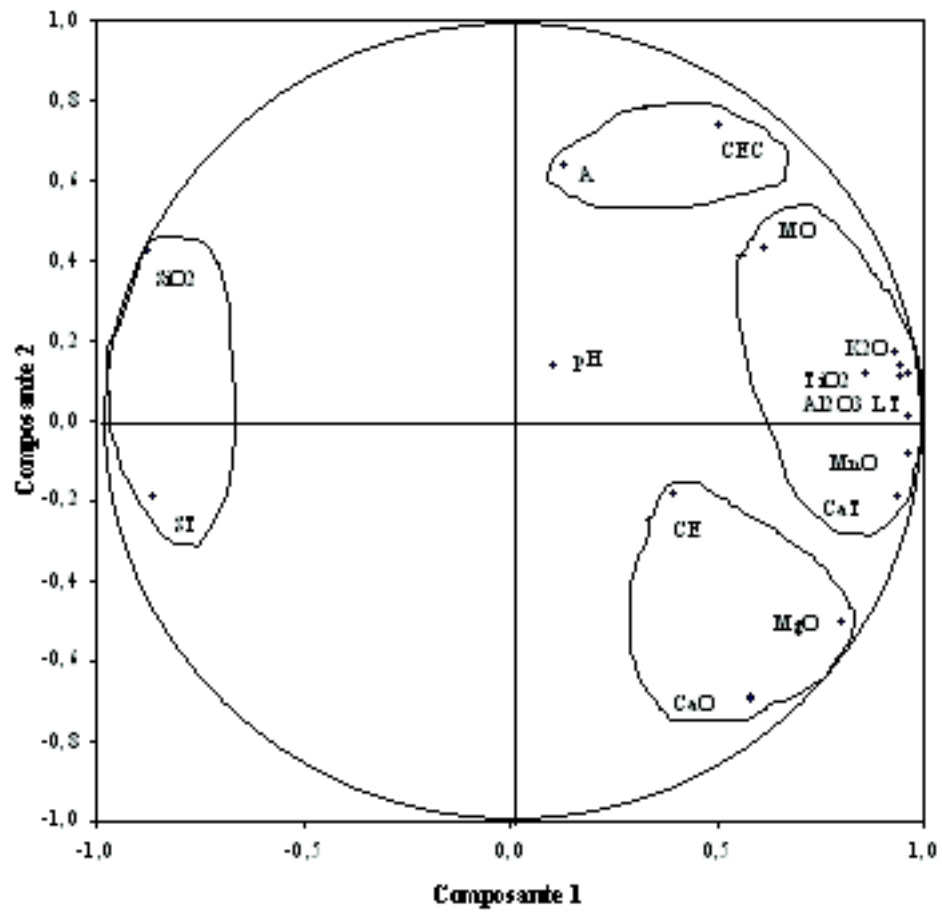


Figure VII-1. Cercle des corrélations des variables pour l'axe 1 et 2

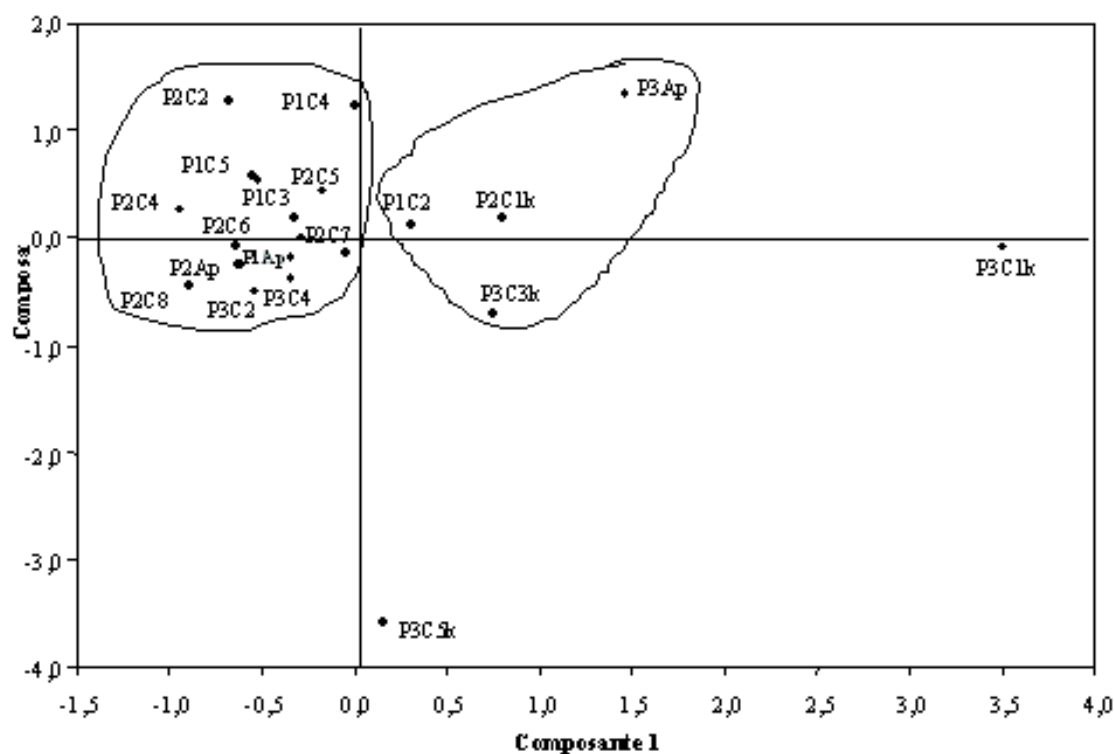


Figure VII-2. Cercle des corrélations des individus pour l'axe 1 et 2

Malgré la forte porosité de ces sols, les valeurs du calcaire total restent élevées dans les horizons sablo-loameux, ce qui traduit leurs immobilisation, cette faible mobilisation des carbonates de calcium en zones arides est confirmée par DJILI et DAOUD (2000).

## 1.2. ACP des propriétés minéralogiques et géochimiques

L'ACP est réalisée sur la base des résultats du Profil 2, et sur les 18 variables suivantes : Smectite, quartz, palygorskite, kaolinite, chlorite illite, calcite, dolomite feldspaths-K, phyllosilicates,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$  et  $\text{MgO}$ .

### 1.2.1. Matrice des corrélations

Les résultats sont portés dans le tableau VII-2.

### 1.2.2. Diagonalisation

Le calcul du pourcentage de variance exprimé par chaque composante principale montre 88.96% de la variance totale du système est exprimée par les 3 premières composantes (Tableau VII-2).



Composantes	% Variance propre	% Variance cumulée	
Comp. 1	69,47	69,47	88,96% de variance expliquée
Comp. 2	10,80	80,26	
Comp. 3	8,70	88,96	
Comp. 4	4,56	93,52	
Comp. 5	3,17	96,69	

Tableau VII-2. Cumul du pourcentage de variance expliquée par chaque composante.

La composante principale 1 est chargée positivement (figure VII-3) par la smectite, kaolinite, chlorite illite, calcite, dolomite feldspaths-K, phyllosilicates, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, CaO et MgO. Et négativement par SiO<sub>2</sub>, quartz et palygorskite. La composante principale 2 exprime le comportement de la smectite, chlorite et de la kaolinite et de manière positive.

Les horizons P2C1k, P2C3, P2C7, semblent les mieux exprimer la composante 1 (figure VII-4) de manière positive, cette observation semble assez logique, ces horizons sont liés à la teneur en limons grossiers qui présentent les valeurs les plus élevées notamment dans l'horizon P2C1k.

Les horizons P2Ap, P2C2, P2C4, P2C6, P2C8, expriment la composante 1 de manière négative. L'horizon P2C5 semble caractériser la composante 2 positivement, les valeurs des smectites, chlorites et kaolinites dans cet horizon sont les plus élevées.

### 1.2.3. Interprétation

Grâce à l'ACP et à l'observation des horizons, 3 groupes peuvent être définis :

**Le groupe I** (illite, calcite, dolomite feldspaths-K, phyllosilicates, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, CaO et MgO), montre des valeurs élevées dans les horizons sablo-loameux (P2C1k, P2C3, P2C7), des pics importants sont observés dans l'horizon P2C1k, due à des apports d'origine hydriques très important pendant une période très pluvieuse, et fortes crues.

**Le groupe II** (SiO<sub>2</sub>, quartz, palygorskite), qui montre des valeurs élevées dans les horizons sableux (P2Ap, P2C2, P2C4, P2C6, P2C8). La palygorskite est négativement corrélée au MgO, indiquant une origine détritique. Son évolution dans le même sens que le quartz, reflétant un apport d'origine éolien, donc liée à l'aridité du climat.

**Le groupe III** (Kaolinite, chlorite et smectite), le tableau des corrélations montre que ces 3 argiles sont faiblement corrélées aux reste des éléments, ce qui laisse supposer l'hypothèse d'une néoformation sur place, mais la bonne cristallinité de la kaolinite et de l'illite et la faible altération de la chlorite et de la smectite, éloigne cette hypothèse, donc ces argiles ne peuvent être qu'allochtone, et d'apport par voie à la fois éolienne et hydrique.

## 2. Approche micromorphologique et morphoscopique

La prédominance des sables fins de forme sub-arrondie à sub-angulaire suggère un apport d'origine éolien. Dans les horizons sableux, les traces de chocs en creux à la surface des grains avec bords francs traduisent un transport d'origine éolien (FLAGEOLET, 1981), le

caractère picoté des grains dans les horizons P2Ap et P2C2, est indicateur d'une éolisation dans un milieu à basse énergie.

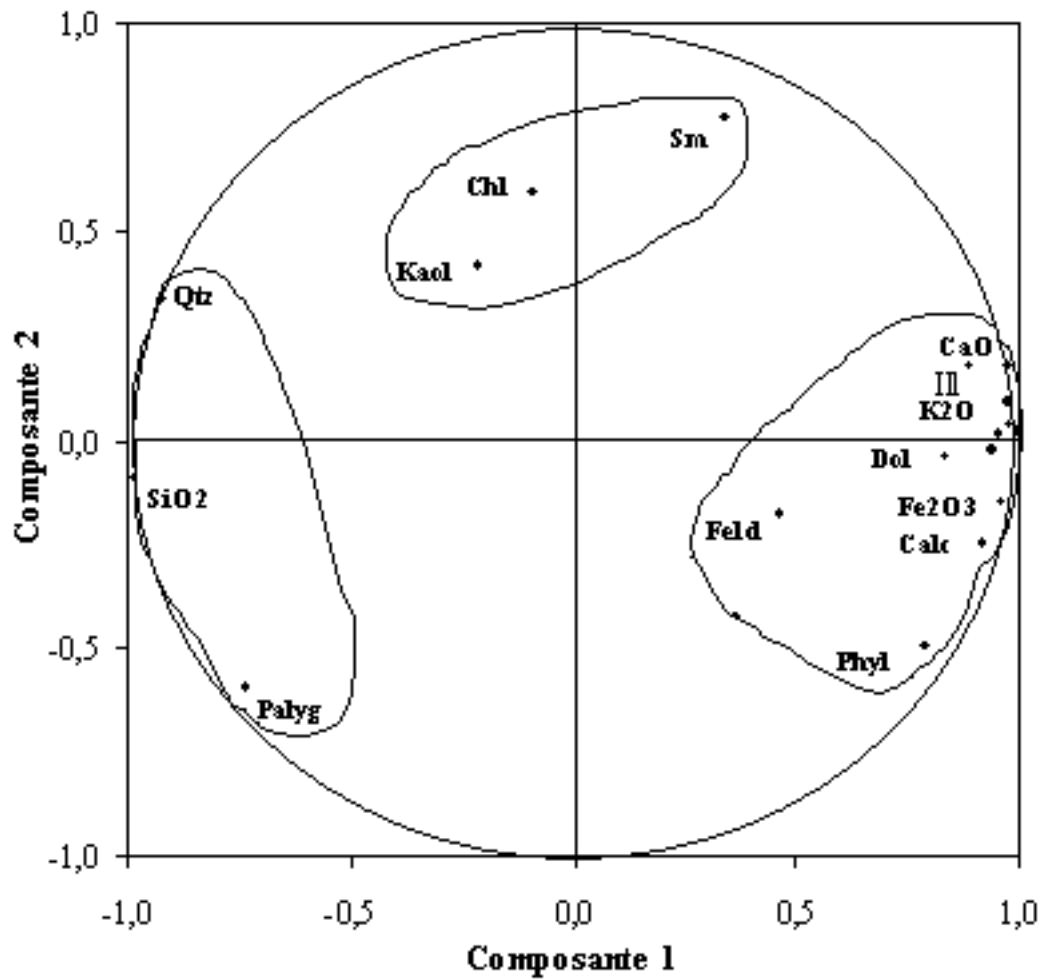


Figure VII-3. Cercle des corrélations des variables pour l'axe 1 et 2

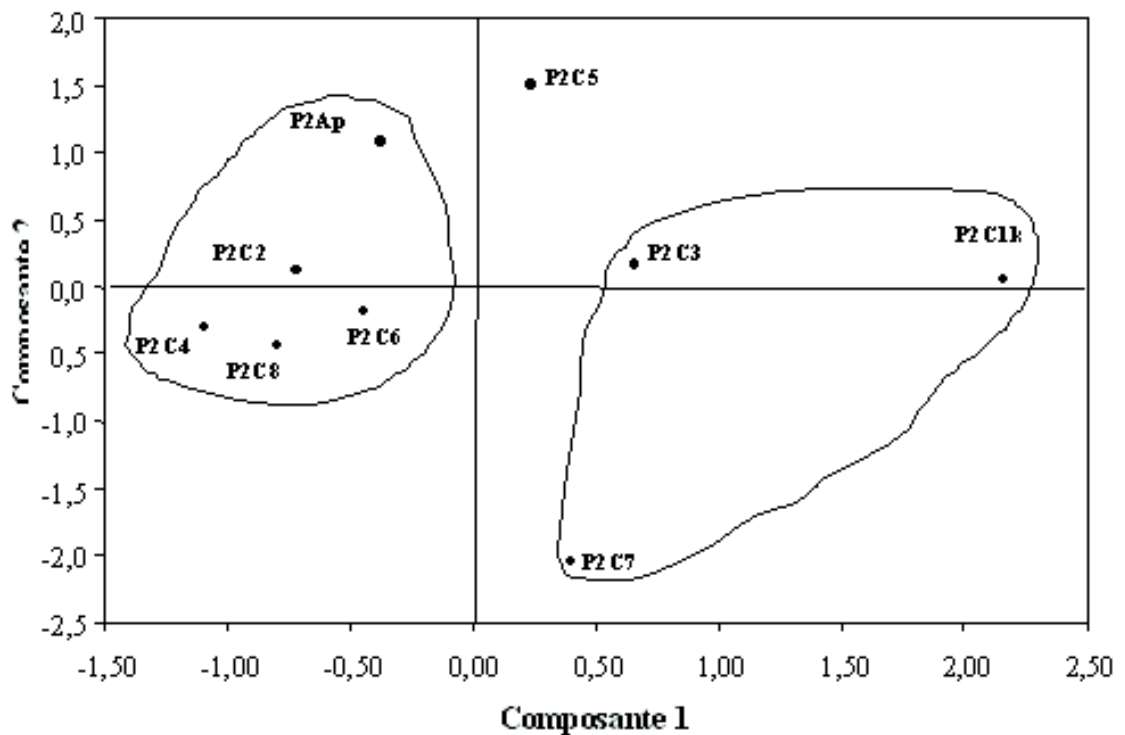


Figure VII-4. Cercle des corrélations des individus pour l'axe 1 et 2

Dans les horizons sablo-loameux (P2C1k, P2C3, P2C5, P2C7), les grains sont essentiellement à bords sub-anguleux à sub-arrondis, luisants aux bords plus ou moins polis, indice d'une évolution dans un milieu hydrique, avec une activité fluviale de moyenne énergie. La forme arrondie des nodules calcitiques est le résultat du transport hydrique, liée aux crues de l'Oued Zegrir, la pédoturbation dans le sol a été invoquée aussi par YAALON et WIEDER (1976) pour expliquer la forme arrondie des nodules calcitiques.

La desquamation sur la surface des grains, caractérisée par des fragments esquilleux plus ou moins détachés est le résultat d'une immobilisation des grains (CABANA, 1998). Des accumulations texturales limoneuses sous forme de Siltanes ont été observées, en position de revêtement des vides et des grains, et colmatant des vides majeurs, ceux-ci indiquent des percolations rapides et importantes pendant des périodes humides (crues).

### 3. Approche paléoenvironnementale

Les minéraux argileux répertoriés, sont d'origine héritée, ils conservent la mémoire de leur origine, à ce titre on peut considérer que ces minéraux reflètent les influences combinées de la lithologie (essentiellement de grès rouges) et du climat régnant sur la zone source. Ainsi, cette étude nous a apportée de précieuses indications sur les conditions paléoclimatiques et hydrologiques marquées par une alternance de climats arides et climats semi-arides.

**Les périodes arides** : Pendant lesquelles les horizons sableux et plus précisément la fraction sables fins, qui ont conservé des caractères éoliens très marqués. En effet les valeurs élevées en palygorskite dans ces horizons est un indicateur de climats secs. Les formes sub-angulaires à sub-arrondies des grains de quartz et les traces de chocs sous forme de croissants sur les grains témoignent de leur origine éolienne.

**Les périodes semi-arides** : Phases pendant lesquelles les horizon sablo-loameux résultent des remaniements in-situ des dépôts éoliens avec les alluvions apportés pendant les crues par des flux hydriques de l'Oued Zegrir. Les formes arrondies des nodules calcitiques , et les formes subarrondies a bords polis des grains de quartz observés au MEB et les accumulation texturales observées au microscope polarisant sont témoins d'un transport d'origine hydrique.

---

# Conclusion générale

Les différents indices minéralogiques et micromorphologiques développés dans cette étude, présentent une signification paléoclimatique, expliquant la succession des horizons sableux et sablo-loameux par l'alternance d'épisodes climatiques arides et semi-arides.

Les horizons sableux présentent des valeurs plus élevées en palygorskite, signifiant ainsi leurs accumulation sous un climat plus aride que dans les horizons sablo-loameux.

Pendant les périodes arides, l'augmentation de l'aridité a pour résultat la stimulation de l'activité éolienne (CURMI, 1987). Ainsi, les apports d'origine éoliens dominent et donnent naissance aux horizons sableux, en transportant préférentiellement la fraction sableuse (>50µm).

Durant les périodes semi-arides, l'activité éolienne diminue, alors que l'activité hydrique (crues) augmente, renforçant ainsi les flux hydriques, qui favorisent le transport des limons (notamment limons fins) et du calcaire total et donnant naissance aux horizons sablo-loameux.

L'étude micro-morphologique et morphoscopique confirment les résultats de l'étude minéralogique. Les formes sub-angulaires à sub-arrondies des grains de quartz, et les traces de chocs avec bords francs observées au MEB à la surface des grains, confirment leurs origine éolienne.

L'observation des lames minces au microscope polarisant, montre une rareté des connections par les argiles entre les grains, VALENTIN (1985) l'explique par des pluies occasionnelles et intenses. Les fortes évapotranspirations de la région de Guerrara assèchent rapidement les sols, réduisant ainsi le mouvement vertical des solutions du sol, ce qui explique la faible mobilisation des éléments dans ces sols.

La présence de formes arrondies des nodules calcitiques, et les grains sub-arrondies avec des bords plus ou moins polis observés au MEB, sont des indices d'un transport d'origine hydrique. Les accumulations texturales, en position de revêtements des vides (siltanes et squelettanes), est le résultat de percolations rapides, et importantes (DUCHAUFOR, 1977) signe d'un climat plus humide (semi-aride).

L'altération chimique reste faible, comme le montre la prédominance des argiles primaires (illite, chlorite et palygorskite) avec une moyenne de plus de 85% du cortège argileux. Cette faible altération est confirmée par les indices d'altération « CIA » élevés. Le bon état de cristallinité du cortège argileux, et les rapports des pics d100/d101 du quartz, indiquent une origine allochtone des dépôts alluviaux de la plaine de Dayet El-Amied.

Les résultats minéralogiques montrent une homogénéité qualitative, indiquant ainsi, une même source d'apport pour les dépôts, à savoir le bassin versant de Guerrara formé essentiellement d'un matériau parental gréseux du mio-pliocène. Durant la formation des alluvions, l'uniformité des minéraux argileux sur l'ensemble des accumulations (Profil 2), suggère selon SINGER (1980), que le climat et la végétation n'ont pas changé de façon drastique durant la formation du sol, durant la formation récente de ces dépôts.

## Références bibliographiques

- AFES-INRA., 1995** – Référentiel pédologique. Ed. INRA. Paris, 332.
- AFNOR., 1999a** - Qualité des sols. Vol. 1, Ed AFNOR, Paris, 565 p.
- AFNOR., 1999b** - Qualité des sols. Vol. 2, Ed AFNOR, Paris, 408 p.
- Aiteur T. & Hamdani A., 2006** – Essai de cartographie géomorphologique en milieu aride, cas de Guerrara. Mémoire Ing. Géom.
- Arnaud F., 2003** - Signatures climatique et anthropique dans les sédiments holocènes des lacs du Bourget et d'Anterne (Nord-ouest des Alpes) – Paléohydrologie et contamination au plomb. Thèse de l'université de Lille 1. 247p.
- Aubert G., 1978** - Méthodes d'analyses des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 191 p.
- B.N.E.D.R., 2000** - Etude de périmètre de mise en valeur agricole (Drine II 60 ha) dans la commune de Guerrara. Programme de mise en valeur des terres par le biais de la concession. Rapport définitif DG/515. Alger, 49p.
- Bagnouls F. et Gaussen H., 1953** - Saison sèche et indice xérothermique docum. carte product. veget. ser : généralités 3(1),art.8:47p.
- Baize D. & Jabiol B., 1995** - Guide de description des sols. AFES-INRA. Paris, 388 p.
- Baize D., 1988** – Guide des analyses courantes en pédologie – choix –expression – interprétation. INRA. 169p.
- Barry J.P. & Faurel L., 1973** - Notice de la feuille de Ghardaïa : Carte de la végétation de l'Algérie à 1/500.000. Mém. Soc. Hist. Nat. Afr. N. 11, 125 p.
- Bellair P. Pomerol., 1982** - Eléments de géologie. Ed. Armand Colin. Paris, 495 p.
- Beudou A.G., et Chatelin Y., 1979** - La pédoplasation dans certains sols ferrallitiques rouges de savane en Afrique Centrale. *Cah. ORSTOM, Spr. Pedol., vol. XVII, no 1, 1979 : 3-8.*
- Bloundi M.K., 2005** – Etude géochimique de la lagune du Nador (Maroc oriental) : impacts des facteurs anthropiques. Thèse doc. 238p.
- Bolle M.P., Adatte T., Keller G., Von Salis K. & Burns S., 1999** - The Paleocene–Eocene transition in the southern Tethys (Tunisia): climatic and environmental fluctuations, Bull. Soc. géol. France 170 (1999) 661–680.
- Bonneau M. & Souchier B., 1979** - Pédologie. Constituants et propriétés du sol. Tome II. Ed Masson. Paris. 459 p.
- Boulaine J., 1957** - Etude des sols des plaines du Chélif. Ed. S.E.S.T.S.A.P. Alger. 388 p.
- Bourouche J. M. et Sapora A G., 1971** - L'analyse des données. coll. que sais-je? P.U.F. Paris 172p
- Brindeg G. W. & Brown G., 1980** - Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. Mineralogical Society, London.

- BRL., 1998a** - Etude du Plan directeur général de développement des régions sahariennes – Connaissances d'Ensemble. Rapport, ANRH, Alger, Algérie.
- Bronger A. et Heinkele Th., 1989** – Paleosol sequences as witness of oleistocene climatic histoy. Catena supplement 16 – p163-186.
- Brown B.E. and Bailey S. W., 1962** - Chlorite polytypism: I, regular and semi-random one-layer structures. J. mineral. Soc. Amer., vol. 47/7-8, p. 819-850.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, G., Stoops, G. & Tursina, T., 1985** - Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, Wolverhampton, U.K.
- C.D.A.R.S., 1999** - Etude du réseau d'irrigation du périmètre Daya Benfelah (commune de Guerrara, Wilaya de Ghardaïa). C.D.A.R.S Ouargla. 34 p.
- C.P.C.S., 1967** – La classification des sols. Cahier de pédologie, ENSA Grignon, 96p.
- Cabana Y., 1998** – Etude comparative par analyse chronologique et sédimentologique d'accumulations éoliennes du pléistocène supérieur et l'Holocène dans le Nord-Ouest du Yukon. Thèse Maîtrise es arts en géographie. Canada.
- Chatelin Y., 1972** – Les sols ferrallitiques – historique – développement des connaissances et formations des concepts actuels. ORSTOM. Paris 1972. 99p.
- Caillère S. et Henin S., 1982** – Minéralogie des argiles. Classification et nomenclature. Ed. Masson. 188p.
- Comment G., 2006** – Etude de la limite crétacé-tertiaire a ERTO, Province de Pordenone, Italie du Nord. Inst. Géol. Et Hydrog. Univ. Neuchâtel (Suisse). juin 2006. 175p.
- Cooke R.U., Warren A. & Goudie S.A., 1993** - Desert geomorphology. UCL ed., London. 526p.
- Coudé-Gaussen G., 1983** – Les poussières Sahariennes. La recherche, Paris N°.147, p.1050-1061.
- Coutinet S., 1965** - Méthodes d'analyses utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. Analyse d'eaux. Agronomie Tropicale. I.R.A.T.C.V. Paris, pp 1242.
- Curmi P., 1987** – Sur la signification des revêtements complexes argileux et limoneux dans les sols lessivés acides – INRA – Lab. Sc. Dol, Rennes – France. Pp251-254.
- Dadi Bouhoun M., 1997**- Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du Mzab. Mémoire de Magistère, INA, Alger, 180p
- Dagnelie P., 1966 - L'étude des communautés végétales par l'analyse statistique des liaisons entre les espèces et les variables écologiques principes fondamentaux; Biométrie : 2p 345-361
- Damagnez J., 1958** - Les propriétés hydrosopiques des sols et les apports secondaires d'humidité importance du mulch nature ann. Agron.pp661-818.
- De kimpe C.R., 1984** – Méthodes d'analyse physique et chimique des sols et des eaux. Bull. pédologique de la FAO. 17p, 222-238.
- Dixon J.P. et Weeb S.B., 1989** – minerals in soil environments. Soil sci. Soc. Am., Madison, U.S.A. 948p.

- Djili B., 2004** - Etude des sols alluviaux en zones arides : cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Mémoire Mag. Agro., Uni. de Ouargla, 81p.
- Djili K. et Daoud Y., 2000** - Influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable dans les sols du Nord de l'Algérie. Sécheresse. Vol. 11. N° 1. pp 37-43.
- Dubief J., 1953** - Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed. Service des études scientifique, Alger, 457 p.
- Dubief J., 1959** - Le climat du Sahara. Ed. Inst. Rech.Saha., Alger. Mémoire hors série. Tome I. 307 p.
- Duchaufour P., 1976** -Atlas écologique des sols du monde. Ed. Masson Paris 178 p.
- Duchaufour P., 1977**- Pédologie (Tome 1). Pédogenèse et classification 2<sup>e</sup> ed. Masson et CIE. Paris. 459p.
- Duchaufour P., 1997** –Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. Ed Masson 294 p.
- Dunoyer de Segonzac G., 1969** - Les minéraux argileux dans la diagenèse. Passage au métamorphisme. *Mém. Serv. Carte Géol. Als.-Lorr.*, 29, 320 pp.
- Dutil P., 1971** - Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse doc. D'état, faculté des sciences de l'université de Strasbourg. 346 p.
- Emberger L., 1955** - Une classification biogéographique des climats. *Trav. Inst. Bot.*, Montpellier, 7, 3-43.
- Esquevin J., 1969** - Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité (Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A., t.3, p. 147-153)
- Fabre J., 1976** - Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. I- La couverture phanérozoïque. Ed. S.N.E.D., Alger, 421 p.
- FAO, 1993** - World Soil Resources, An explanatory note on the FAO World Soil Resources Map at 1:25 000 000 scale, World Soil Resources Report 66 Rev. 1, Rome: FAO
- FAO., 1998** - World Reference Base for Soil Resource. World Soil Resource Report N° 84. ISSS, ISRIC and F.A.O., Rome, 88 p.
- Fedoroff N., Courty M.A. and Thomson M.L., 1987** – Micromorphological evidence of paleoenvironmental change in pleistocene and holocene paleosols. I.N.A.A P-G 78850 Thievernall – Grignon, France. Pp653-665.
- Fedoroff N. & Courty M.A., 1985** - Micromorphology of recent and buried soils in a semi-arid region of northwestern India. *Geoderma*, 35, 287-332.
- Fedoroff N. & Courty M., 1989** – indicateurs pédologiques d'aridification; exemple du Sahara. *Bul. Soc. Géol. Fr*, 5 : 43-53.
- Fedoroff N. & Courty M., 1999** – Soil and soil forming processes under increasing aridity. In : *Paleoenvironmental reconstruction in arid lands.* (ed. Singhvi A.K. & Derbyshire ed, pp. 73-108. Oxford & IBH Publishing (CO.PVT.LTD. New delhi.



- Flageolet J.C., 1981** – Aspects morphoscopiques et exoscopiques des quartz dans quelques sols ferrallitiques de la région de Cechi (Cote d'Ivoire). Cah. O.R.S.T.O.M., sér, Pédol. Vol. XVIII, N)2, 1980 :111-121.
- Frey M., 1970** - The steps from diagenesis to metamorphism in pelitic rocks during alpine orogenesis. *Sedimentology*, 15, p. 261 -279.
- Gautier M. et Gousskov M. N., 1951** - Le forage de Guerrara. Deuxième sondage d'étude et premier grand sondage d'exploitation de la nappe Albienne jaillissant dans le Bas-Sahara. *Terre et Eaux*. Alger, pp 38-42.
- Halitim A., 1988** - Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger, 384 p.
- Hallaire V. et Cointepas J.P., 1993** - Caractérisation de la macroporosité d'un sol de verger par analyse d'images. *Agronomie*, 13, p. 155 - 164.
- Hamdi-Aïssa B., & Girard M. C., 2000** - Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. *Sécheresse*. 3, paris, pp 179-188.
- Hamdi-Aïssa, B. & Messen, N., 2006** - DAYACLIM: A northern Sahara desert climate change project. *Past Global Changes News*. 14, p.4.
- Hamdi-Aïssa, B., 1995** - Fonctionnement des sols de la cuvette de Ouargla: essai micromorphologique et géochimique. DEA pédologie, Univ. Nancy I, INA-PG, ENSA-Rennes, 52p.
- Hamdi-Aïssa, B., Messen N., Djili B., Youcef F., Hacini M., Imatoukéne D., Djerrab A., Gaouar A., Youcef-Ettoumi F., Ferhat N. et Benzinah A., 2006** - Records of natural climatic changes in the Sahara Desert soils. In. The first MedCLIVAR workshop : Reconstruction of past Mediterranean climate: Unexplored sources of high resolution data in historic time (Carmona, Seville, Spain Universidad Pablo de Olavide, 9-11 November 2006).
- Havlicek E., 1999** - Les sols des paturages boisés du Jura Suisse - Origine et typologie - Relations sol-végétation - Pédogenèse des brunisols - Evolution des humus – Vol.I. *Inst.Bot. Univ. Neuchâtel*. 220p.
- Holtzapf, 1985** - Les minéraux argileux. Préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Soc. Géol. Nord*, 12.
- Huniker J.C., 1986** - The Alps: a case of multiple collision. *Geol. Soc. London, spec, publi.*, n° 19, p. 221-227.
- Kübler B., 1964** - Les argiles indicateurs du métamorphisme. *Rev. Inst. Franc. Pétrole*, n°19.
- Kübler B., Betrix M. A. et Faugel P. 1979** - Répartition de quelques éléments dans les sédiments de surface du Lac de Neuchâtel, modèle sédimentologique et géochimique. *Bull. Soc. Neuch. Sc. Nat*, 102, 45-50.
- Lister J. and Bailey S.W., 1967** - Chlorite polytypism: IV, regular two-layer structures. *Amer. mineral.*, vol. 52, p. 1614-1631.
- Legros J.P., Kolbl O. & Falipou P., 1996** - Délimitation d'unité de paysage sur des photographies aériennes. Eléments de réflexion pour la définition d'une méthode de tracé. Vol III. N. 2. E.G.S., AFES-INRA. Ardon, pp 113-124.

- Lozet & Mathieu, 2000** - Dictionnaire de science du sol. Ed. Tec.Doc. Lavoisier 384 p.
- Maignien D., 1969** - Manuel de prospection pédologique. Ed. O.R.S.T.O.M. Paris. 132 p.
- Mathieu C. & Pieltain F., 1998** – analyse physique des sols. Méthodes choisies. 3e éd. Tech. Et doc. 274p.
- Messen, N., Gaouar, A., Hamdi-Aïssa, B., Hacini, M. & Youcef-Ettoumi, F., 2004** - Etude du climat paléolithique dans un bassin sédimentaire du sud algérien : sélection du site. Journal Algerien pour les Zones Arides. 3, 38-44.
- Mosar J., 1988** – Déformation et métamorphisme dans les Préalpes Romandes (Suisse). Int. Géol. Thèse Doc. es Sci. Univ. Neuchâtel. Février 1988. 114p.
- Mouchet P., 1995** - Le kimméridgien du Jura Central. Microfaciès, Minéralogie et Interprétation séquentielle. Thèse doc. Univ. Neuchâtel (Suisse). 352p.
- O.N.M. 2006** - Données climatiques de la station de Ghardaïa et de Ouargla. Ed. O.N.M. Ouargla, 6 p.
- Oinuma K., Shimoda S. et Sudot T., 1972** - Triangular diagrams for surveying chemical compositions of chlorites. *J. Tokyo Univ.*, 15,1-33. *Haut-Jura suisse, phénomènes d'altération des roches calcaires sous climat tempéré humide.* Neuchâtel
- Ollier C. et Poirée M., 1971** - Les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages, édition EYROLLES Paris.
- Ould baba sy M., 2005** – Recharge et paleocharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse Doc. Géol. Faculté des sciences de Tunis. 271p.
- Pedro G., 1994** – Les conditions de formation des constituants secondaires. Constituants et propriétés des sols, pp. 65-78. ed. Masson, Paris.
- Pluquet F., 2000** – Traçage sédimentologique et géochimiques des variations climatiques affectant le continent sud-est asiatique au cours du quaternaire. Thèse DEA. Univ. Lille 1. pp 63.
- Phillipeau G., 1986** - Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales? STAT-ITCF-INRA Paris . 71p
- Pouget M., 1980** - Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. Ed. O.R.S.T.O.M. Paris, 555 p.
- Raghavan H. & courty M.A., 1987** – Holocene and pleistocene pedo-sedimentary environment in the Thar desert (Didwan, India).p639.
- Rey J.-P. et Kübler B., 1983** - Identification des micas des séries sédimentaires par diffraction X à partir de la série harmonique (001) des préparations orientées. *Schweiz, mineral, petrogr. Mitt.*, 63,13-36.
- Robert M. et Tessier D., 1974** – Méthodes de préparation des argiles des sols pour des études minéralogiques. Ann. Agron. 859-882. INRA.
- Robert M., 1975** – Principes de détermination qualitative des minéraux argileux à l'aide des rayons X. ann. Agron., 363-399. INRA.
- Rocheleau M., 1997** – Sédimentologie des paléoplages de la plaine Volocraw, territoire du Yukon, Canada. Thèse maitre & arts (M. A.). Univ. Ottawa. Départ. Géographie Avril 1997. 182p.

- Rognon, P., Coudé-Gaussen, G., Fedoroff, N. & Goldberg, P., 1987** - Micromorphology of loess in the Northern Negev (Israel). In soil Micromorphology des (Eds. N.Fedoroff, L.M. Bresson et M.A. Courty), Pp. 631-638, A.F.E.S., Paris.
- S.C.G., 1939** - Notice explicative des cartes géologiques au 1/500.000. Alger-Nord. Alger-Sud. Bult. du Serv. De Cart. Géo. de l'Algérie. Alger, pp 95-99.
- S.C.G., 1952** - Carte géologique d'Algérie. Feuille d'Alger Sud. (1/500.000). S.C.G., Alger.
- Sahara., 2003** - Géographie du Sahara. <http://membres.lycos.fr/fgeo2.htm> ?
- Seltzer P., 1946.** - Le climat de l'Algérie. Ed. Institut de météorologie et de physique du globe, Alger. 218 p.
- Shirozou H., 1958** - X-Rax powder patterns and cell dimensions of some chlorites in Japan with a note on their interference colors. Mineral. J., vol. 2/4, p. 209-223.
- Singer A., 1980** - The paleoclimatic interpretation of clay minerals in soils and weathering profiles. Earth Science Reviews, 15, 303-326.
- Semmel A. et Frankfurt A .M., 1989** – Paleopedology and geomorphology ; example from the western part of central europe. Catena supplement 16 – p143-162.
- Smith O. B. et Koala S., 1999** - La désertification : Mythes et réalités. Assemblée générale annuelle de l'Association canadienne des rédacteurs scientifiques ; 27-29 mai 1999.
- Soubies F. et Gout R., 1987** - Sur la cristallinité des biotites kaolinisées des sols ferrallitiques de la région d'Ambalavao (Madagascar). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIII, no 2, 1987: 111-121*
- Stewart P., 1969** - Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique . Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. N. Alger, 59 (1) :23-36"
- Stoops G., 1983** – SEM and light microscopic observations of minerals in bog ores of the belgian Campine. Geoderma, 30, 179-186.
- Stoops G., 1986** - Multilingual translation of the terminology used in Handbook for soil thin section description, (cf. BULLOCK et al., 1985) in Pédologie Ghent XXXVI, 3:225-233, Belgique
- Thorez J., Marcoen J.M., Monjoie A., Tessier D. et Schroder Ch., 2000** – Manuel relatif aux matières naturelles pour barrières argileuses ouvragées pour centre d'enfouissement technique et réhabilitation de dépotoirs en région Wallonne. Univ. Liège. Belgique. 10p.
- Thorthwaite C.W., 1948** – An approach toward a rational classification of climate. Géog. Rev., 38, 1 : 55-94.
- Toutain G., 1979** - Elément d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. Marrakech, 276 p.
- Trentesaux A., 2005** - Enregistrement de processus sédimentaires pléistocènes Exemples de plates-formes détritiques et de bassins profonds Mer du Nord et mers de Chine. Lille, Décembre 2005. pp.82.
- Turc L., 1961** – Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. Agron., 12 (1), 13-49.

**U.S.D.A., 1998** - Keys to Soil Taxonomy. U.S.D.A-N.R.C.S. Washington D.C, 326 p.

**Ullman W. J., 1985** - Evaporation rate from a salt pan : Estimate from chemical profiles in nearsurface groundwater. *J. Hydrol*, Vol. 79 : 365-373.

**Valentin C., 1985** - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. Edit. ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, Paris. 253 p.

**Weaver, 1989** - Clay, muds, and shale. *Developments in sedimentology* 44, Elsevier.

**Yaalon D. & Wieder M., 1976** - Pedogenic palygorskite in some brown (calciorthid) soils of Israel. *Clay Minerals*, 11 : 73-80.

## ANNEXES

HORIZON	INTENSITES MESUREES SUR DIFFRACTOGRAMMES					
	Quartz		Calcite	Dolomite	Argile	Feldspaths
	d101	d100				
<b>P2Ap</b>	33373	7568	694	50	900	30,4
<b>P2Clk</b>	19055	6100	3468	1088	2440	446,5
<b>P2C2</b>	38660	10159	588	52	1080	391,4
<b>P2C3</b>	22268	4628	1744	50	840	1235
<b>P2C4</b>	24516	5906	272	6	140	357,2
<b>P2C5</b>	42735	11273	252	22	940	754,3
<b>P2C6</b>	43407	8412	1268	24	960	503,5
<b>P2C7</b>	29794	8311	2086	160	3400	856,9
<b>P2C8</b>	40737	8868	540	58	600	125,4

Tableau A-1. Intensités mesurées sur diffractogrammes de la poudre totale

HRIZON	Mica (Illite)			Chlorite		
	M001	M002	M005	C001	C002	C003

Tableau A-2. Intensités sur les diffractogrammes (Diagramme ternaire Mica + Chlorite)

HORIZON	Intensités mesurées sur diffractogrammes				
	Chlorite	Palygorskite	Illite	Smectite	Kaolinite

Tableau A-3. Intensités mesurées sur diffractogrammes de la fraction argileuse

	Moyenne	Ecart-type	Varian ce
<b>MgO</b>	0,56	0,6	0,36
<b>CaO</b>	3,58	4,29	18,43
<b>MnO</b>	0,03	0,01	0
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,23	0,1	0,01
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,67	0,41	0,16
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,88	2,16	4,66
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,2	0,84	0,71
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,06	0,09	0,01
<b>SiO<sub>2</sub></b>	85,94	11,62	135,05
<b>pH</b>	7,81	1,81	3,26
<b>CE</b>	0,12	0,05	0
<b>CEC</b>	8,88	4,77	22,78
<b>MO</b>	0,63	0,51	0,26
<b>Calc.T</b>	5,75	4,86	23,63
<b>ST</b>	79,52	21,26	452,2
<b>LT</b>	17,7	20,9	436,71
<b>A</b>	2,8	2,41	5,82

Tableau A-4. Résultats statistiques des variables physico-chimiques et géochimiques (Profils 1,2 et3)

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
<b>MgO</b>	0,98	0,14	-0,02
<b>CaO</b>	0,54	0,38	0,6
<b>MnO</b>	0,96	0,06	0,05
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,94	0,06	-0,2
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,95	0,1	-0,19
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,96	0,05	-0,16
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,95	0,03	-0,15
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,41	0,73	-0,32
<b>SiO<sub>2</sub></b>	-0,84	-0,28	-0,34
<b>pH</b>	0,14	-0,16	0,22
<b>CE</b>	0,37	-0,29	0,68
<b>CEC</b>	0,42	-0,71	-0,38
<b>MO</b>	0,58	-0,46	-0,13
<b>Calc.T</b>	0,8	-0,16	0,23
<b>ST</b>	-0,77	0,42	-0,06
<b>LT</b>	0,76	-0,36	0,1
<b>A</b>	0,14	-0,56	-0,35

Tableau A-5. Résultats de l'étude des variables physico-chimiques et géochimiques (Profils 1,2 et3)

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
<b>PIAp</b>	-0,34	0	0,59
<b>PICl</b>	-0,26	-0,14	0,16
<b>PIc2</b>	0,27	-1,01	1,17
<b>PIc3</b>	-0,28	-0,29	-0,41
<b>PIc4</b>	-0,38	-1,2	-0,43
<b>PIc5</b>	-0,39	-0,37	-0,44
<b>P2Ap</b>	0,33	0,62	0,29
<b>P2Clk</b>	0,19	-0,33	0,14
<b>P2c2</b>	-0,22	-0,61	-1,14
<b>P2c3</b>	-0,18	-0,03	0,1
<b>P2c4</b>	-0,72	0,08	-0,38
<b>P2c5</b>	-0,64	-0,33	-0,2
<b>P2c6</b>	-1	0,11	-0,21
<b>P2c7</b>	-0,54	0,05	-0,12
<b>P2c8</b>	-0,95	0,79	-1,2
<b>P3Ap</b>	1,48	-1,44	-0,56
<b>P3Clk</b>	3,61	-0,05	-0,18
<b>P3c2</b>	0,68	3,37	-1,41
<b>P3c3k</b>	-0,07	-0,41	0,41
<b>P3c4</b>	-0,36	0,28	0,37
<b>P3c5k</b>	-0,05	1,3	3,46

Tableau A-6. Résultats de l'étude des individus pour les variables physico-chimiques et géochimiques (Profils 1,2 et3)

	Moyenne	Écart-type	Variance
<b>MgO</b>	2,92	1,52	2,32
<b>CaO</b>	1,56	0,90	0,80
<b>MnO</b>	0,02	0,01	0,00
<b>TiO2</b>	0,21	0,06	0,00
<b>K2O</b>	0,51	0,22	0,05
<b>Al2O3</b>	2,42	1,22	1,49
<b>Fe2O3</b>	1,07	0,38	0,14
<b>P2O5</b>	0,04	0,02	0,00
<b>SiO2</b>	90,97	4,58	21,00
<b>Smectite</b>	6,05	1,94	3,78
<b>Palygorskite</b>	53,77	7,05	49,72
<b>Illite</b>	26,62	5,54	30,68
<b>Chlorite</b>	4,77	2,22	4,94
<b>Kaolinite</b>	8,78	0,92	0,85
<b>Feldspathe-K</b>	1,59	1,37	1,88
<b>phyllosilicates</b>	3,69	3,27	10,67
<b>Dobnite</b>	0,59	1,33	1,76
<b>Calcite</b>	3,84	4,07	16,57
<b>Quartz</b>	90,29	8,70	75,66

Tableau A-7. Résultats statistiques des variables minéralogiques et géochimiques du Profil 2

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
<b>MgO</b>	0,97	0,09	-0,07
<b>CaO</b>	0,97	0,18	0,06
<b>MnO</b>	0,94	-0,02	0,07
<b>TiO2</b>	0,99	0,02	-0,05
<b>K2O</b>	0,97	0,09	-0,08
<b>Al2O3</b>	0,98	0,04	-0,08
<b>Fe2O3</b>	0,96	-0,15	-0,07
<b>P2O5</b>	0,96	0,01	0,11
<b>SiO2</b>	-0,98	-0,09	0,03
<b>Smectite</b>	0,34	0,78	-0,04
<b>Palygorskite</b>	-0,74	-0,60	-0,09
<b>Illite</b>	0,89	0,18	0,01
<b>Chlorite</b>	-0,09	0,59	0,61
<b>Kaolinite</b>	-0,21	0,42	-0,77
<b>Feldspathe-K</b>	0,46	-0,18	0,69
<b>phyllosilicates</b>	0,79	-0,50	-0,12
<b>Dobnite</b>	0,84	-0,04	-0,37
<b>Calcite</b>	0,92	-0,25	0,04
<b>Quartz</b>	-0,92	0,34	-0,03

Tableau A-8. Résultats de l'étude des variables minéralogiques et géochimiques du Profil 2

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
<b>P2Ap</b>	-0,38	1,09	0,60
<b>P2Clk</b>	2,16	0,06	-1,04
<b>P2C2</b>	-0,72	0,13	-0,53
<b>P2C3</b>	0,66	0,16	2,30
<b>P2C4</b>	-1,10	-0,28	-0,04
<b>P2C5</b>	0,23	1,50	-0,62
<b>P2C6</b>	-0,45	-0,18	-0,05
<b>P2C7</b>	0,39	-2,05	0,15
<b>P2C8</b>	-0,80	-0,44	-0,77

Tableau A-9. Résultats de l'étude des individus pour les variables minéralogiques et géochimiques du Profil 2



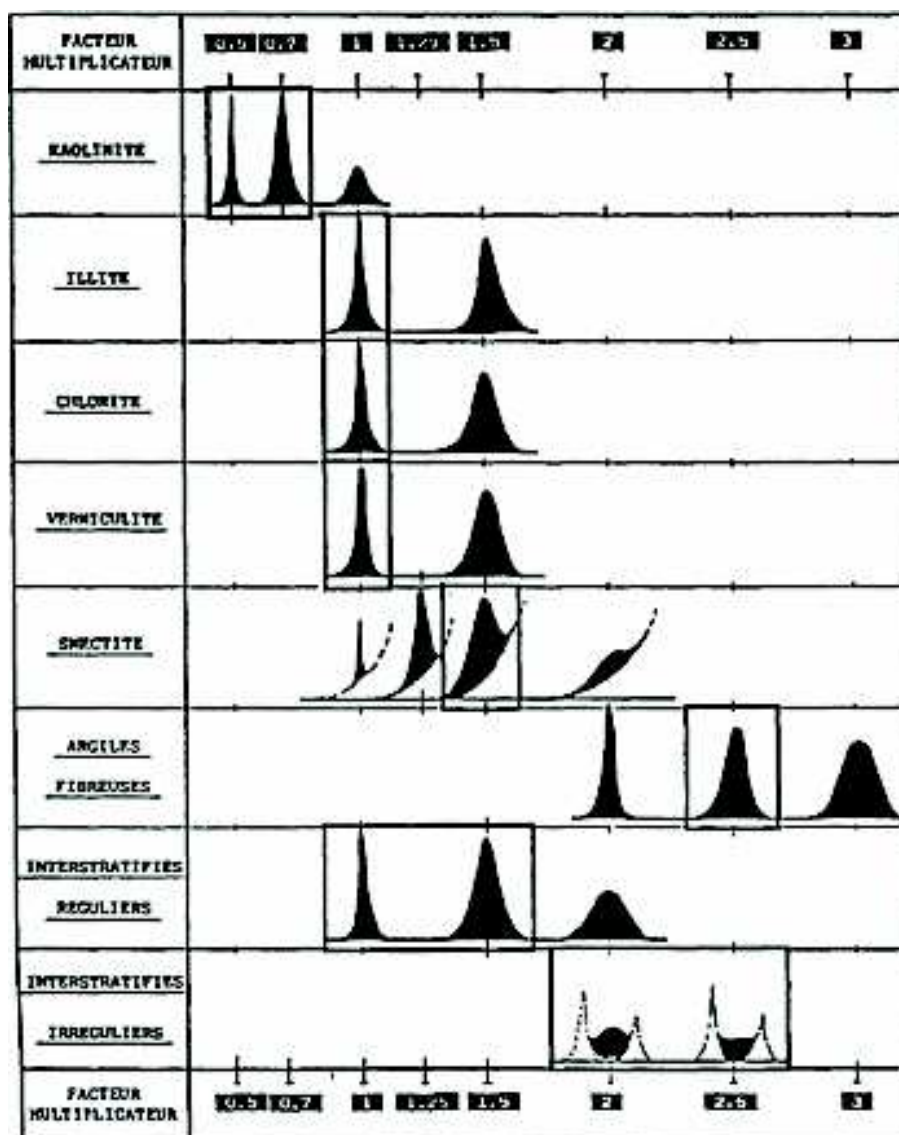


Figure A-1. Estimation semi-quantitative : facteur correctif à appliquer aux intensités mesurées (Holtzapf, 1985).

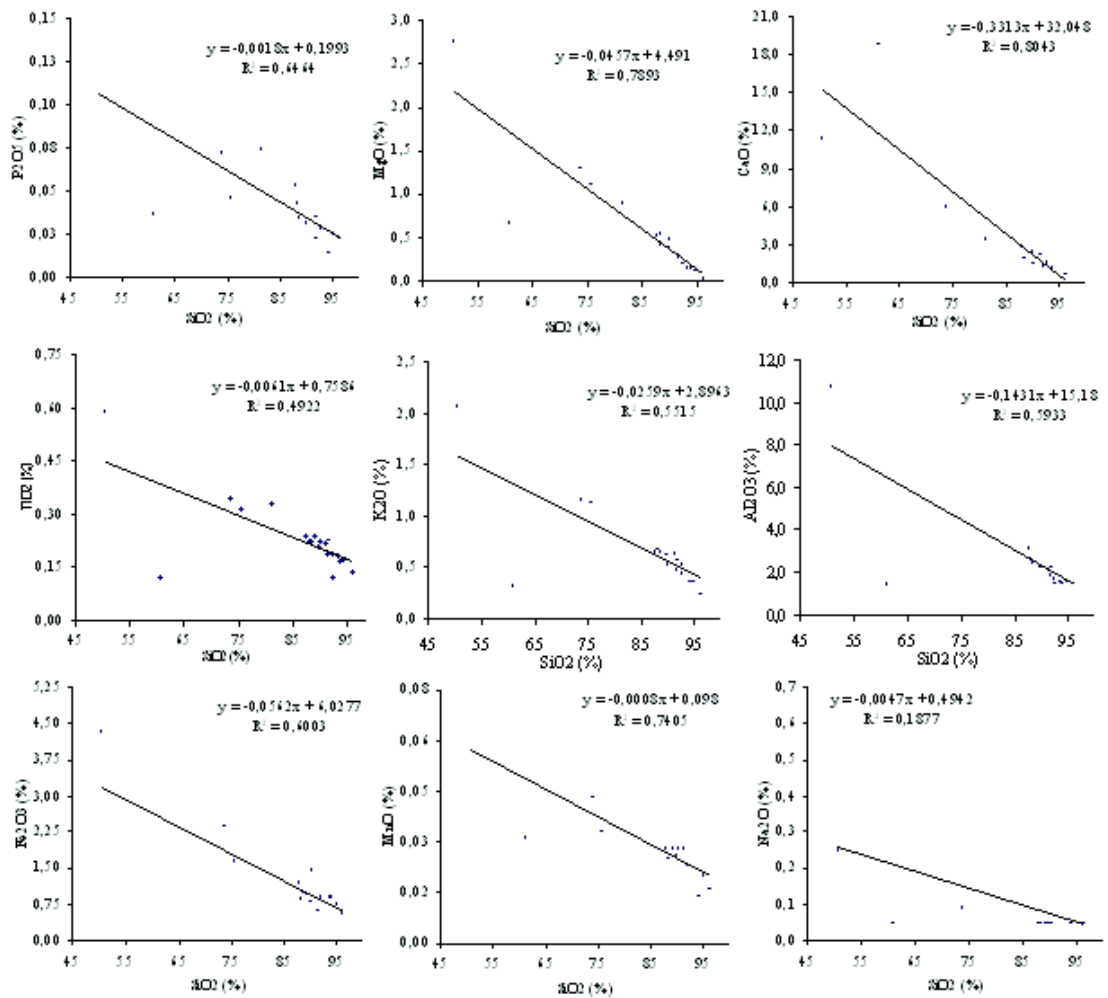


Figure A-2. Relation des % d'oxydes en éléments majeures avec la concentration en oxyde de silice du sol (P1, P2 et P3)

<b>LT</b>	0,080																																																			
<b>ST</b>	-0,202																																																			
<b>CaT</b>	0,084	-0,746																																																		
<b>M.O</b>	0,288	-0,489	0,442																																																	
<b>CEC</b>	0,624	-0,527	0,349	0,638																																																
<b>CE</b>	0,046	-0,428	0,333	0,292	0,125																																															
<b>pH</b>	0,214	-0,066	0,003	0,092	0,208	0,473																																														
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,019	0,630	-0,913	-0,384	-0,203	-0,417	-0,078																																													
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,025	-0,815	0,861	0,590	0,434	0,300	0,054	-0,803																																												
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,161	-0,795	0,865	0,568	0,502	0,156	0,041	-0,775	0,947																																											
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,113	-0,822	0,877	0,594	0,520	0,216	0,051	-0,770	0,967	0,983																																										
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,123	-0,807	0,892	0,565	0,549	0,277	0,092	-0,743	0,928	0,937	0,973																																									
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,077	-0,787	0,844	0,616	0,520	0,203	0,056	-0,701	0,940	0,954	0,981	0,977																																								
<b>MnO</b>	0,003	-0,734	0,898	0,588	0,407	0,343	0,086	-0,861	0,966	0,931	0,946	0,927	0,930																																							
<b>CaO</b>	-0,130	-0,327	0,697	0,138	-0,080	0,449	0,073	-0,887	0,484	0,423	0,410	0,389	0,327	0,579																																						
<b>MgO</b>	-0,037	-0,554	0,880	0,316	0,124	0,415	0,065	-0,989	0,724	0,686	0,676	0,643	0,598	0,791	0,946																																					
<b>A</b>																																																				

Tableau A-10. Matrice des corrélations des caractéristiques physico-chimiques-géochimiques des Profil 1, 2 et 3



Palysoprinite	-0,637																						
Illite	0,338	-0,886																					
Chlorite	0,205	-0,392	0,030																				
Kao linite	0,111	-0,030	-0,109	-0,142																			
Feldspaths-K	-0,011	-0,242	0,345	0,141	-0,552																		
phyllosilicates	-0,080	-0,350	0,703	-0,421	-0,347	0,275																	
Dolomite	0,140	-0,569	0,711	-0,145	0,128	0,038	0,700																
Calcite	0,047	-0,520	0,725	-0,074	-0,313	0,439	0,814	0,883															
Quartz	-0,007	0,500	-0,766	0,193	0,344	-0,475	-0,906	-0,837	-0,977														
C.E.C.	0,444	-0,546	0,636	-0,303	0,149	0,445	0,530	0,489	0,488	0,488	-0,572												
CaT	0,354	-0,670	0,799	-0,118	-0,152	0,450	0,642	0,831	0,830	0,830	-0,850	0,606											
ST	-0,338	0,656	-0,784	0,140	0,083	-0,498	-0,713	-0,835	-0,886	-0,886	0,888	-0,810	-0,914										
LT	0,290	-0,650	0,801	-0,121	-0,176	0,503	0,746	0,863	0,841	0,841	-0,931	0,711	0,939	0,981									
A	0,240	-0,007	-0,136	-0,054	0,504	-0,075	-0,238	-0,208	-0,362	-0,362	0,302	0,445	-0,303	-0,017	-0,176								
Smectite																							
Palygornite																							
Illite																							
Chlorite																							
Kao linite																							
Feldspaths-K																							
phyllosilicates																							
Dolomite																							
Calcite																							
Quartz																							
C.E.C.																							
CaT																							
ST																							
LT																							
A																							

Tableau A-12. Matrice des corrélations des caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques du Profil 2.