

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE (I.N.A EL HARRACH – ALGER)
Mémoire présenté En vue de l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques
Option pédosphère

Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie.

Présenté par :

BERKAL Ismaiel

Directeur de thèse M. DJILI K. Professeur

Soutenu publiquement le 16 / 04 / 2006

Devant le jury Président M. DAOUD Y. Professeur Examineur M. DRIDI B. Maître de conférence
Examinatrice Mme KOURGLI N. Chargée de cours

Table des matières

Remerciements . .	1
Résumé .	3
Summary . .	5
INTRODUCTION GENERALE . .	7
Chapitre I Etude bibliographique .	11
Introduction . .	11
1. Notion de désert .	12
2. Notion d'aridité .	12
3. Le Sahara algérien .	12
3.1. Présentation .	12
3.2. Le climat .	13
3.3. La géologie .	14
3.4. La Végétation .	15
3.5. Les ressources en eau . .	17
3.6. La géomorphologie .	17
3.7. Les différents types d'accumulation de sels . .	18
3.8. Les Sols . .	18
3.9. Classification des sols sahariens . .	19
Chapitre II Matériels et Méthodes .	21
Introduction . .	21
1. La banque des données pédologiques . .	22
2. Spatialisation des données .	23
3. Délimitation du Sud d'Algérie .	25
4. Localisations des profils .	26
5. Qualité des données (Niveau de caractérisation des études) .	27
6. Choix des paramètres étudiés . .	27

7. Traitements statistiques des données .	28
7.1 Comparaison des moyennes .	30
Etude des fréquences de distribution .	30
7.3. Corrélations entre variables .	31
Chapitre III Qualité des données . .	35
1. Banque de données pédologiques .	35
2. Les taux de remplissage .	36
3. Concordance entre les données de la banque . .	41
3.1. Concordance calcaire total et calcaire actif . .	41
3.2. Concordance entre l'intensité de l'effervescence à l'HCl et le taux du calcaire total . .	41
3.3. Concordance entre la somme des cations échangeables (S) et la C.E.C (T)	42
Conclusion . .	43
Chapitre IV Résultats et discussions .	45
Partie 1 : Analyses statistiques . .	45
Introduction .	45
1. Les taux d'argile .	45
2. Les taux de calcaire . .	49
3. Les taux de gypse .	55
4. La matière organique .	60
5. La Conductivité électrique (CE) .	65
Partie 2 : Les corrélations .	70
Introduction .	70
1. Calcaire – argile . .	70
2. Gypse- Calcaire .	79
3. Gypse – argile .	86
4. MO – calcaire .	88
5. CE – calcaire .	90
6. CE – gypse .	92

CONCLUSION GENERALE .	95
BIBLIOGRAPHIE . .	99
ANNEXES .	105
Annexe 1 : Fiches Analytiques .	105
Annexe 2 : Résultats statistiques .	108

Remerciements

Ces trois années de travail sous la direction de Monsieur Djili K, professeur au département science du sol de l'I.N.A., ont été et ceci pour de multiples raisons riches d'enseignements. Travailler sous sa direction constituait une source de motivation intellectuelle importante. L'apprentissage technique sur des logiciels comme Origin, SPSS, MapInfo et autre m'a permis de mieux saisir ce que signifiaient le terme statistique et Information Géographique. Je pointais alors du doigt des réalités inconnues auparavant. J'espère dans un futur proche mettre à profit les connaissances acquises durant ces années.

Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à Monsieur Daoud Y., professeur au département science du sol de l'I.N.A., qui m'a fait l'honneur de présider ce jury. Sa modestie et sa compétence forcent le respect. Ses conseils utiles et ses enseignements m'ont été d'une utilité capitale et qui m'ont permis de bénéficier de son immense savoir.

Je remercie Monsieur Dridi B., maître de conférence au département science du sol de l'INA qui n'a jamais cessé de demander l'état d'avancement de ce travail et qui m'honore aujourd'hui pour juger ce travail.

Je remercie Madame Kourgli N., chargée de cours au département science du sol de l'INA pour sa participation au jury.

Je désire remercier également tous mes enseignants du département science du sol pour l'aide qu'ils m'ont présentée spécialement Monsieur Semar A., Monsieur Témagoult M., leurs conseils et leurs encouragements m'ont été d'une grande utilité, merci Ahcène.

Je ne pourrai oublier l'aide précieuse que j'ai trouvée au département de la pédologie de l'ANRH spécialement Monsieur Iften qui m'a ouvert toutes les portes du département, je pense aussi aux personnels techniques en particulier la bibliothécaire Fella, Yacine, Mahdi, Faiza, Farida, Boussenna, Boutemine et également Yamina et tous les autres. Je les remercie vivement pour leur compréhension et leur aide.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Belahrèche A., pour toutes les facilités qu'il m'a accordées au département de pédologie de l'INRA et l'aide qu'il m'a présentée au cours de la numérisation des cartes.

Je remercie vivement les personnes qui ont eu l'extrême patience de me supporter (au sens propre); je pense en premier lieu à Ahmed et Fettouma, et plus généralement à tout le personnel du département de science du sol de l'INA.

Résumé

Ce travail a porté sur la constitution d'une base de données relative aux sols des régions sahariennes dans laquelle sont compilés 628 profils types.

L'analyse de 2428 horizons décrits et 1990 analysés a révélé que ces études ne sont pas toujours menées selon une démarche et des normes reconnues. Ainsi, il s'avère que l'information pédologique n'est pas toujours renseignée. En effet, seuls environ 20 % des variables descriptives ou analytiques sont renseignées à plus de 70 %. Ce résultat signifie qu'il y aurait une déperdition de l'information pédologique. Les tests de fiabilité entre quelques variables pédologiques prises deux à deux ont révélé que leur concordance varie entre 26 % et 97 % selon le couple considéré. Ce résultat à lui seul traduit l'absence d'un contrôle rigoureux des données lors de la réalisation des études pédologiques.

L'étude de cinq paramètres pédologiques (argile, calcaire, gypse, matière organique et CE) dans trois catégories d'horizons (H1, H2 et Hp), d'abord à l'échelle du Sahara (base de données), ensuite à l'échelle des zones et enfin à l'échelle des régions a montré que les sols sahariens sont pas ou très peu argileux (A1) (plus de 50 % des horizons), peu calcaire dans leur majorité (39 % des horizons contiennent moins de 10 % de calcaire), peu gypseux (plus de 50 % des horizons étudiés contiennent moins de 3 % de gypse.) et peu organique (90 % de la classe M1). En revanche, ils sont pour la plupart très fortement salés (C5) avec une préférence pour l'horizon de surface dans 50 % de cas.

Enfin, les calculs ont montré que chacun de ces paramètres varie plus au moins fortement dans l'espace et dans le profil.

Le troisième volet de ce travail a porté sur la recherche de relations éventuelles entre les paramètres étudiés. Les principaux résultats se résument comme suit :

- D'une façon générale, quand le taux de calcaire augmente dans le sol, les taux d'argile ont tendance à diminuer. Cependant, on peut rencontrer des sols qui sont argileux mais peu calcaires, ou au contraire très calcaires et peu argileux.

- Les sols calcaires sont généralement peu gypseux. De même les sols gypseux sont peu calcaires.

- La relation entre le taux de gypse et le taux d'argile est négative et statistiquement hautement significative.

- L'augmentation des taux de gypse s'accompagne par une diminution de la CE.

- L'augmentation des taux de calcaire au-delà de 30 % s'accompagne par une diminution de la CE.

Mots clés : Sahara, argile, calcaire, gypse, MO, CE, corrélations.

Summary

This work concerned the constitution of a soil data base of the Sahara areas in which 628 standard profiles are compiled.

The 2428 described horizons and 1990 analysis revealed that these studies are not always undertaken according to a recognized step and standards. Thus, it proves that pedological information is not always indicated. Indeed, only approximately 20 % of the descriptive or analytical variables are indicated with more than 70 %. This result means that there would be a loss of pedological information. The confidence tests between some pedological variables pairwise revealed that their agreement varies between 26 % and 97 % according to the pair considered. This result alone shows the absence of a rigorous control of the data at the time of the realization of the soil survey.

The statistical analysis of five pedological parameters (clay, carbonate calcium, gypsum, organic matter and EC) in three categories of horizons (H1, H2 and Hp), initially on the Sahara (data base), then on the zones and finally on the areas showed that the Saharan regions are not or far from clayey (A1) (more than 50 % of the horizons), slightly limestone in their majority (39 % of the horizons contain less than 10 % of limestone), not gypseous (more than 50 % of the studied horizons contain less than 3 % of gypsum.) and not very organic (90 % of the class M1). On the other hand, they are for the majority very strongly salted (C5) with a preference for the surface horizon in 50 % of the case

Lastly, calculations showed that each one of these parameters are variable somehow strongly in the space and in the profil.

The third aspect of this work concerned the search for possible relationship between the studied parameters

The principal results are:

- Generally, when the CaCO_3 rate increases in the ground, the clay rates have tendency to decreased. However, one can meet grounds which are clayey but not very calcareous, or on the contrary very calcareous and not very clayey.

- the grounds calcareous soils are generally not very gypseous. In the same way the gypseous soils are not very calcareous.

- The relation between the gypsum rate and the clay rate is negative and statistically highly significant.

- The increase in the gypsum rates is accompanied by a reduction by the electrical conductivity.

- The increase in the carbonate calcium rates beyond 30 % is accompanied by a reduction by the EC.

Key words: The Sahara, clay, carbonate calcium, gypsum, OM, EC, correlations

INTRODUCTION GENERALE

Le sol est de plus en plus largement considéré comme un patrimoine menacé qu'il importe donc de protéger (**INRA, 1996** in **Schwartz et al., 1997**).

L'importance du rôle des sols dans l'environnement et la nécessité de sa protection est de plus en plus reconnue.

Cependant, il faut constater que l'Algérie n'est que partiellement couverte par des études cartographiques et pédologiques. Les données nécessaires à la mise en œuvre des politiques envisagées ne sont donc pas disponibles.

Dans ces conditions, il est paradoxal de constater que les sols de l'Algérie restent dans l'ensemble mal connus.

C'est dans cette optique qu'il est urgent de rassembler des données de sources et de natures variées, d'en dériver de nouvelles informations par des procédés d'analyse spatiale et, surtout, de combiner les différents segments de la réalité géographique représentés dans une base de données spatiales pour évaluer simultanément divers scénarios d'aménagement ou de développement, dans le but d'aider à la prise de décision selon une logique.

Il est en effet inimaginable que la situation actuelle se prolonge puisque tant de données si durement et chèrement acquises restent sous formes « papier » et soient destinées à disparaître de différentes façons.

Les données ne sont généralement plus réutilisées et les informations correspondantes sont perdues. Une considérable source d'information sur les sols est

ainsi perdue.

Regrouper ces résultats dans une base de données permet de les conserver pour en faire ensuite une synthèse à des échelles spatiales diverses (**Loukili et al., 2000**).

L'un des objectifs de ces banques de données est de développer, de coordonner et d'harmoniser les différentes actions menées sur le territoire national qui concourent à une meilleure connaissance des sols d'Algérie ; en d'autres termes, elle devra permettre de dresser un tableau de bord synthétique de l'état des sols d'Algérie. Ce tableau de bord aura deux fonctions principales : une fonction de bilan et une fonction de référence.

C'est aussi une démarche à moindre frais, qui permet de compiler de nombreux résultats, pour permettre d'obtenir une vision globale de l'ensemble d'un territoire et de dégager des tendances. Elle ouvre donc la voie à une meilleure prise en compte des sols dans toutes les démarches d'évolution des risques environnementaux.

C'est à partir de données d'origine diverses, traitant de thématiques différentes qu'il sera possible grâce à un Système d'Information Géographique (SIG) de produire une information nouvelle et pertinente apportant un nouvel éclairage sur le sujet traité.

Avec le développement des moyens informatiques en matière de gestion des données spatiales, les documents cartographiques classiques sont apparus progressivement trop statiques, constituants des états des lieux trop figés (**Jamagne et al., 1993**).

Le SIG offre des possibilités d'analyse dynamique (confrontation et suivi) de ces informations. C'est pour cela qu'un SIG peut être mis en œuvre comme outil d'aide à la décision dans le cadre de la gestion durable des ressources naturelles ainsi que dans la recherche. Il s'agit de fournir un environnement informationnel indispensable aux personnes pour la réalisation de travaux pertinents et efficaces.

Dans le futur, une véritable « cartographie assistée par ordinateur » apparaîtra sans se substituer complètement à une prospection systématique dans le milieu naturel, elle permettra d'alléger la phase de terrain dans le sens d'une diminution progressive du nombre de déterminations pérennes comme la granulométrie. L'évolution vers des systèmes d'information paraît irréversible (**Legros et Bornaut, 1992**).

L'information géographique numérique est facile à partager et à exploiter. Elle devient une information essentielle dans de nombreuses organisations qui l'utilisent comme cadre de référence pour tout acte de décision ou de prévision.

L'accent est mis maintenant sur la nécessité de mettre à la disposition de l'utilisateur non seulement des données de base, mais également un certain nombre de règles lui permettant à partir de ces données initiales, d'estimer les données manquantes, mais surtout dépasser aux paramètres répondant à des problèmes précis (**Bouma et Van Lanen, 1986 ; King et al., 1994 in Jamagne et al., 1995**).

Ce travail a été conduit dans le cadre d'une série de travaux du département de Science du Sol de l'Institut National Agronomique (INA, Alger) depuis 1991. Son objectif est d'obtenir à partir de l'information recueillie, une meilleure connaissance des caractéristiques physiques et chimiques des sols du Sahara d'Algérie.

Le plan de ce mémoire suivra le cheminement de la constitution d'une base de données géographique et ses traitements sur les descripteurs pédologiques des sols du Sahara d'Algérie.

La première partie concernera la constitution d'une base de données géographique sur les sols du sud algérien. Il s'agit en fait de créer l'armature de ce mémoire.

La deuxième partie est transcrite « qualité des données », parce que c'est dans cette partie que les données seront analysées du côté taux de remplissage et aussi étudier et tester la concordance entre certaines variables connues avoir des liens de fonctionnement entre elles.

La troisième partie autorise, à partir de descripteurs pertinents basés sur des représentations descriptives de tendance centrale (moyenne, médiane et mode) et de dispersion (étendue, écart-type variance et coefficient de variation) une expression convenant bien aux besoins de cette recherche.

A travers cette approche statistique mono-factorielle, on présentera la variabilité de l'argile, du calcaire, du gypse, de la matière organique (M.O) et de la conductivité électrique (CE) dans trois horizons du profil (surface, sub-surface et de profondeur).

Cette partie sera réservée aussi à la spatialisation des données des différentes variables, néanmoins, la connaissance des normes d'interprétation de chaque variable ou paramètre est capitale.

Dans la cinquième et dernière partie, on tentera de rechercher quelques relations entre descripteurs. Cette recherche concernera les couples calcaire-argile, gypse-calcaire, gypse-argile, MO-calcaire, CE-calcaire et enfin CE-gypse.

Chapitre I Etude bibliographique

Introduction

Dans son sens originel, le mot Sahara désigne des régions inexplorées et désertiques. Pour certains, Il évoque un paysage vaste et vide, à dunes interminables avec de rares oasis perdues dans l'immensité du désert (**Martin et Faure, 1980**). Il est caractérisé par un assemblage de formations naturelles constituées essentiellement d'oasis, ergs, regs, Sebkhass et montagnes.

En couvrant le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, l'Egypte, le Soudan, le Tchad, le Niger, le Mali, la Mauritanie et le Sahara Occidental, le Sahara s'étale ainsi sur une superficie de 9 millions de Km² (**Despois et Raynal, 1975; Grainger, 1983**). Il se caractérise par une sécheresse extrême du climat (**Bisin , 1969 ; Demangeot, 1981 ; Larousse, 2001**).

En Algérie, le Sahara s'étale sur près de 2 millions de Km² correspondant à environ 85 % du territoire (**Mediouni, 1997**). Il s'insère entre les 18° et 35° parallèles Nord.

Généralement, il est admis que le Sahara algérien commence au sud de l'Atlas saharien en contrebas des hauts plateaux, sur une coupure nette. Selon **Dubost (1991)** cette limite est fixée précisément à 400 Km au sud d'Alger, au pied de l'Atlas saharien. Pour **Barry et al. (1974)**, cette limite sud de l'Atlas saharien choisie par simple commodité

topographique présente une très faible valeur scientifique.

L'information sur la couche pédologique de la région présente un important déficit. Pour l'heure, on ne recense que très peu d'études référentielles sur les sols du Sahara algérien (**Abbabsa, 1992; A.N.R.H., 2002**).

Dans ce qui suit, nous présentons d'une manière générale l'écosystème saharien et son fonctionnement.

1. Notion de désert

Etymologiquement le mot « désert » dérive du latin "Déserta" qui signifie « lieu inhabité ». De tout temps, les déserts ont été présentés comme étant des régions privées de vie parce qu'elles sont arides (**Dresch, 1982**).

L'assimilation du désert au Sahara est utilisée et/ou conservée par habitude pour symboliser clairement l'état désertique de cette région.

2. Notion d'aridité

L'aridité est un concept qui définit un climat sec et chaud (**Gaucher, 1981**). D'autres auteurs le présente comme étant un climat caractérisé par la faiblesse des précipitations moyennes annuelles et par le déficit de celle-ci par rapport à l'évapotranspiration potentielle par opposition au climat humide (**Bisin, 1969**).

En générale, le résultat contraignant de l'aridité apparaît comme une incapacité du milieu à faire vivre dans les conditions normales une population sédentaire (**UNESCO, 1958 in Floret, 1982**).

Suivant l'ampleur du déficit hydrique, on distingue les zones semi-arides, les zones arides et les zones hyper-arides.

En Algérie, la zone aride représente près de 95% du territoire national dont 80 % se situent dans le domaine hyper-aride (**Halitim, 1988**).

3. Le Sahara algérien

3.1. Présentation

Les principales régions naturelles du Sahara sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1: Les Entités territoriales du Sahara algérien (Abbabsa, 1992)

Unités Administratives	Régions naturelles Sahariennes	Sous-Ensembles Géographiques
BISKRA EL-OUED OUARZELZOUARZEL	AL ANTEBESSA (PARTIE) RIGH OUARGLA	LE BAS SAHARA
GHARDAIA BISKRA (PARTIE)	LA ZOUARZEL (PARTIE) DAYAS	LA ZOUARZEL MOZABITE
BECHAR EL-BAYADH (PARTIE) TINDOUF ADRADES	SAOURA TINDOUF PIEMONT DES KSOURS TOUAT GOURARA	LE BASSIN DE LA SAOURA-SAHARA OCCIDENTAL
SUD D'ADRAR TAMANRASSAT	HOGGAR TASSILI DES AJERZITIDIKELT	LE SAHARA CENTRAL

3.2. Le climat

Les études menées par des scientifiques (**Bisin, 1969** ; **Demangeot, 1981** ; **Dresch, 1982**) pour comprendre l'écosystème saharien et son évolution ont abouti à des résultats qui confortent globalement et de manière indirecte l'hypothèse des adeptes du changement climatiques, phénomène connu sous l'appellation « oscillation climatique » (**Gaucher, 1981**).

Sharon (1980) in **Floret (1982)** estime qu'il y a de cela cinq à six mille ans, les climats des bordures méridionales et ceux de l'Afrique orientale ont été bien plus pluvieux qu'à l'époque actuelle alors que **Bergren et al. (1974)** in **Maley, (1980)** considèrent que les conditions désertiques ont fait leur apparition au Sahara central et méridional dès le début du pliocène.

Le climat des régions sahariennes est un climat hyperaride caractérisé par la faiblesse des précipitations, des températures extrêmement élevées et des vents qui contribuent à augmenter la très forte évaporation.

Les précipitations dans les régions sahariennes sont très faibles et irrégulières, mais sont parfois très violentes. Les plus orageuses sont celles des saisons estivales (**Mediouni, 1997**).

Tous les écrits s'accordent à dire que c'est une région qui se caractérise par des pluies faibles, mais aussi par un gradient pluviométrique qui varie du Nord au Sud du Sahara, introduisant ainsi la notion d'isohyètes. Seulement, ces valeurs diffèrent d'une source à une autre (tableau 2).

Tableau 2: Précipitations annuelles vue par différentes sources

Au Sahara, les moyennes des températures maximales sont enregistrées en Juillet et celles des minima en Janvier, avec de fortes amplitudes thermiques aussi bien entre le jour et la nuit (journalière) que celle enregistrée sur l'année (annuelle) (**Berrached, 1996**). Les températures minimales et maximales varient entre -8 et 51°C (**Daoud et Halitim,**

1994). Les températures les plus faibles sont enregistrées durant les trois premiers mois de l'année, causant ainsi des gelées ; un phénomène très présent dans la région des Ksour, la Saoura, Tindouf, Adrar et Oued Righ (**Abbabsa, 1992**).

Le vent est la troisième composante du climat. C'est un facteur particulièrement actif et fréquent dans les régions arides désertiques, il joue un rôle considérable dans le façonnement, la formation et le modelage du relief saharien (**Capot-Rey, 1958**).

Les vents les plus dominants dans quelques régions sahariennes et leurs périodes d'activités sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3: Les vents dominants dans quelques régions sahariennes (**Abbabsa, 1992**).

Régions	Vents dominants	Périodicité
Adrar	Nord-Est et Nord-Ouest	durant toute l'année
El Oued	Est et Sud-Ouest : «Bahri »	Avril à Août
Ghardaïa	Ouest	Mars à Juin

L'évapotranspiration est aussi un des traits marquants et incontournables du climat des régions sahariennes. Selon **Dubief (1959)**, le Sahara apparaît comme la région qui possède le degré d'évaporation le plus élevé au monde.

C'est un paramètre particulièrement contraignant pendant l'été, comme c'est le cas dans la région du Gourara où près de 50% de l'E.T.P. annuelle est enregistré entre les mois de Mai et Août (entre 300-350mm) (**Dubost, 1991**).

3.3. La géologie

Le Sahara algérien s'est développé sur un socle cristallin du primaire connu sous le nom du "vieux socle africain" (**Hamdi-Aissa, 2001**). Ce socle de roches précambriennes a été nivelé au cours des millénaires par l'érosion et les différentes transgressions des mers qui recouvraient une grande partie du Sahara depuis la fin du précambrien jusqu'au secondaire et même encore au tertiaire. Ces phénomènes expliquent en partie l'aspect global du Sahara.

La mer a déposé sur presque tout le socle un lourd manteau de sédiments constitués de schistes et grès du primaire, calcaires, grès et argiles du secondaire, sédiments néogènes dans le nord arrachés à l'atlas au tertiaire (**Dresch, 1982**).

De ces transgressions temporelles, il se dégage quatre sous ensembles régionaux correspondants aux quatre grandes unités structurales du substratum géologique du Sahara (**Dresch, 1982**) :

- le massif ancien cristallin du Hoggar et ses couronnes Tassiliennes,
- la cuvette du bas Sahara,
- la dorsale du M'zab,
- le synclinal de Tindouf et la vallée de la Saoura.

3.4. La Végétation

Au Sahara, la végétation est très clairsemée et parfois même inexistante. **Dresch (1982)** présente ce résultat comme étant l'effet des contraintes climatiques, en lui assignant une appellation bien spécifique « d'hostilité de l'aridité ».

Dans le même sens, **Mediouni (1997)** estime que sous une pluviosité de 50 mm/an, la végétation devient diffuse et au-dessous de 30 mm/an, elle devient rare.

Les caractéristiques floristiques et végétales des régions sahariennes sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Classification phytogéographique et signification des unités : cas des régions sahariennes. (Mediouni, 1997)

Classification par Domaine MAIRE (1925)	P (mm)	Classification par Secteur QUEZEL / SANTA (1962)	Signification des unités
	P < 250 mm	< 250 mm ou <100 mm	Phoenix dactylifera, végétation climatique réduite, édaphique développée, éremophytés et nanophanerophytes, Ephedra alata, Calligonum comosum, Rétama retam, Phanerophytes acacia totilis, Tamarix articulata. flore.
Domaine saharien septentrional	100 mm M > 28 m > 705	Secteur Sahara septentrional	Steppes méditerranéennes, végétation diffuse, Aristida pungens, Steppes de Regs, de Hamada, de Dayas, et de lits d'oued. limite inférieure de Stipa tenacissima, dominance de Hammada scoparium, flore à Scabiosa camelorum, Anthyllis sericea. S.S. p Henoniana, Atriplex mollis, Craube krakillii.
		Sous secteurs	/
		Hd.: Hodna	/
		SS1.: occidental du Sahara septentrional	/
		SS2.: oriental du Sahara septentrional	Steppes buissonneuse à Hammada scoparium et à Rhanterium suaveolens , affleurements à Moricandia arvensis, oueds à Symbopogon shoenanthus, dunes à Rentama retam et R. Sphaerocarpa. Halophytes Limoniastrum gugonianum et Hammada shmittianum
Domaine saharien central	P très irrégulière < 50 mm	Sc.: secteur Sahara central	Végétation saharo-sindienne contractée, exclusivement édaphique, palmerais. Helianthemum confertum
		So.: secteur Sahara	Palmerais,

		occidental	
Domaine saharien méridional		Sm.: secteur Sahara méridional	Végétation Saharo-sindiène à influence tropicale et répliques méditerranéennes, Vicariantes montagnardes, Cupressus dupréziana, Myrtus nivellei, Olea laperrini.

3.5. Les ressources en eau

Trois grands aquifères sont identifiés dans le Sahara Algérien (**AGID, 2003**).

- Une nappe du continental intercalaire située au niveau des horizons sablo-gréseux et argilo-gréseux. Elle s'étend au nord jusqu'au flanc sud de l'atlas saharien de Bechar à Gabès, au sud jusqu'à une ligne reliant Reggane à In-aménas, à l'Ouest jusqu'à l'Oued Saoura et à l'Est jusqu'aux falaises du Dahar et à la frange côtière du sud tunisien (plus au sud la nappe traverse la frontière Algéro-Libyenne).
- la nappe du complexe terminal (CT) « Mio-Pliocène » couvre une majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350.000 Km². Sa profondeur varie de 100 à 400 m ; elle alimente l'essentiel des palmerais du bas Sahara (Ziban, Oued rhir, Souf et Ouargla) (**Cornet, 1964 ; Nesson, 1978 ; Guendouz et al., 1992** in **Hamdi-Aissa, 2001**). Elle est fortement artésienne au centre du bassin avec une température élevée.
- la nappe de la Djefara, quant à elle, s'écoule de part et d'autre de la dorsale du M'zab, dans la direction Sud-Sud-Ouest vers le Touat, le Gourara et le Tidikelt et dans la direction Nord-Nord-Est vers l'exutoire tunisien. Les exutoires naturels sous forme de sources n'existent plus actuellement du fait des rabattements dus à la surexploitation.

3.6. La géomorphologie

Le paysage saharien s'organise autour de formes bien distinctes. Entre les montagnes et les ergs se trouvent un ensemble de plaines, de plateaux, de chotts et de sebkhas sahariens reliés par un réseau hydrographique dense. Cet ensemble débute au pied de l'Atlas saharien et s'étend de façon discontinue jusqu'aux différentes frontières Sud-Est et Ouest. Ses paysages paléozoïques supportent de place en place des séries sédimentaires mésozoïques largement arasées, formant des regs, hamadas et fech-fech. Cet ensemble primaire arasé ou sédimentaire du tertiaire continental intercalaire, plus ou moins encroûté, calcaire, gréseux ou gypseux est le fondement de la morphologie de ce paysage (**Abbabsa, 1992; Mediouni, 1997**).

3.7. Les différents types d'accumulation de sels

Le gypse et les sels solubles peuvent s'accumuler dans les sols dès que l'évapotranspiration devient nettement supérieure aux précipitations (**Halitim, 1984**). En Algérie, les sols gypseux se rencontrent en formations pulvérulentes sur les bordures des Chotts ; les encroûtements gypseux abondent surtout aux abords des Chotts, dans le Zahrez, dans les Zibans, le Souf, l'Oued Righ et la région de Ouargla. Les différentes formes d'accumulations gypseuses et salines observées sont :

les accumulations de recristallisation,

- les accumulations de gypse et de sels véhiculées par des eaux de la nappe phréatique,
- les accumulations gypseuses d'origine éolienne en bordures des Sebkhass,
- les accumulations gypseuses sur formations dunaires (les deux grands Ergs) (**Capot-Rey et Gremion, 1967**),
- les accumulations de sels dues aux eaux d'irrigation (cas des périmètres de mise en valeurs dans les régions irriguées avec la nappe du complexe terminal et du complexe intercalaire (**Berrached, 1996 ; A.G.I.D., 2003; Djili et al., 2003**).

Au Sahara, tous les auteurs s'accordent pour considérer que les accumulations carbonatées sont héritées de périodes plus humides (**Federrof et Courtney, 1989**).

3.8. Les Sols

Sous un climat désertique chaud, les processus pédogénétiques sont extrêmement réduits faute d'humidité. C'est principalement la désagrégation par voie mécanique provoquée surtout par les variations de température, qui assure la décomposition ou la fragmentation des roches. L'intervention du vent (corrosion éolienne) permet le tri des particules fines en laissant sur place la fraction grossière caractérisée par les cailloux et le sable (**Gaucher, 1981 ; Demangeot, 1981**).

On considère généralement que les sols sahariens sont des sols squelettiques à fertilités physiques et chimiques très limitées, bien pourvus en calcium, magnésium et en oligo-éléments, mais pratiquement dépourvus de MO.

A titre indicatif, une caractérisation des sols sahariens non cultivés a donné les résultats suivants (**Daoud et Halitim, 1994**):

une fraction minérale dominée par les sables,

une fraction organique très faible (< 1 %),

une CR en eau très faible de 8 % en volume d'eau disponible,

un pH alcalin : $7.5 < \text{pH} < 8.5$,

une CEC de 6 meq/100 g.

3.9. Classification des sols sahariens

A partir de l'étude des paramètres de la base de données qu'on a constituée, il ressort que les sols du Sahara présentent une grande hétérogénéité pédologique et se composent essentiellement des types suivants:

les sols Minéraux Bruts Xeriques

Ils représentent la grande majorité des formations superficielles du Sahara. Il sont représentés surtout par les sols minéraux bruts d'érosion ou d'ablation sur roche dure, les sols minéraux bruts d'érosion ou d'ablation sur roche meuble et les sols minéraux bruts xeriques organisés d'apport (sols de dépressions), formés sur des marnes et les argiles salées et / ou gypseuses, à horizons de surfaces compactes ou pulvérulents.

les sols Peu Evolués

Ils sont beaucoup moins répandus et se situent sur les terrasses alluviales des vallées et les fonds des dépressions. Ils ne sont pas affectés par une salinisation excessive. Dans les vallées ou les zones d'épandage des oueds quaternaires, ils sont caractérisés par une richesse plus grande en éléments fins, argiles et limons, et en matière organique.

Les sols peu évolués se trouvent aussi dans les Dayas et les dépressions peu accusées des plateaux calcaires. Globalement, ce sont des sols constitués d'une alternance de dépôts grossiers apportés lors du ruissellement et de dépôts fins déposés lentement par la décantation, pendant la période d'infiltration.

les sols Halomorphes (salins et salins sodiques)

On les retrouve surtout dans les terrains sédimentaires riches en sels, en particulier ceux du trias et du crétacé qui sont salins et gypseux. On les trouve aussi dans les zones basses et endoréiques où l'évaporation intense conduit à la formation d'encroûtements gypso-salins, gypseux ou gypso-calcaires.

Chapitre II Matériels et Méthodes

Introduction

Ce mémoire entre dans le cadre d'un travail de recherche du département de science du sol de l'institut national agronomique d'El Harrach, dont l'objectif est de valoriser l'information pédologique à travers la création d'une banque informatisée des données des sols de l'Algérie. Il fait suite aux travaux déjà réalisés par **Bezzaz (1992)**, **Keslani (1992)**, **Benyahia (1993)**, **Matoub (1994)**, **Salah (1994)**, **Djeddi et Lachkhem (1995)**, **Ayache (1996)**, **Bernou (1996)**, **Djili (2 000)** et **Touaf (2001)**. A l'inverse des autres travaux, la présente recherche porte exclusivement sur les sols sahariens.

Comme mentionné dans l'introduction générale, la présente recherche s'articule autour des quatre points suivants :

- Création d'une banque informatisée de données pédologiques.
- Evaluation de la qualité des données.
- Description statistique des données.
- Etude de quelques relations entre les descripteurs pédologiques.

La spatialisation des données pourrait être un prolongement possible de notre travail.

Les données ont été compilées à partir d'études pédologiques (cartographiques) réalisées dans le sud algérien par l'Agence Nationale de Ressource Hydraulique (A.N.R.H) (tableau 5).

Géographiquement, le Sud de l'Algérie, objet de notre étude, commence au niveau de la

34^{ème} parallèle au nord ; il est compris entre les fuseaux U.T.M. 29 et 32 (figure 1).

1. La banque des données pédologiques

Les différentes étapes pour la construction de banque de données sont schématisées dans la figure 2.

Les données proviennent des études de cartographie des sols (à des échelles différentes qui oscillent entre 1 / 5000 et 10 fois moins) réalisées par l'ANRH (**A.N.R.H., 2002**).

L'information que contiennent ces données est relative à la description et aux analyses des profils pédologiques. Toutes les études mises à notre disposition ont été considérées (tableau 5), sauf celle au 1 / 5000 de 267 ha de la zone de Oued Meriksene (DEB DEB) qui a été exclue à cause de sa carte d'implantation des profils non géoréférencée.

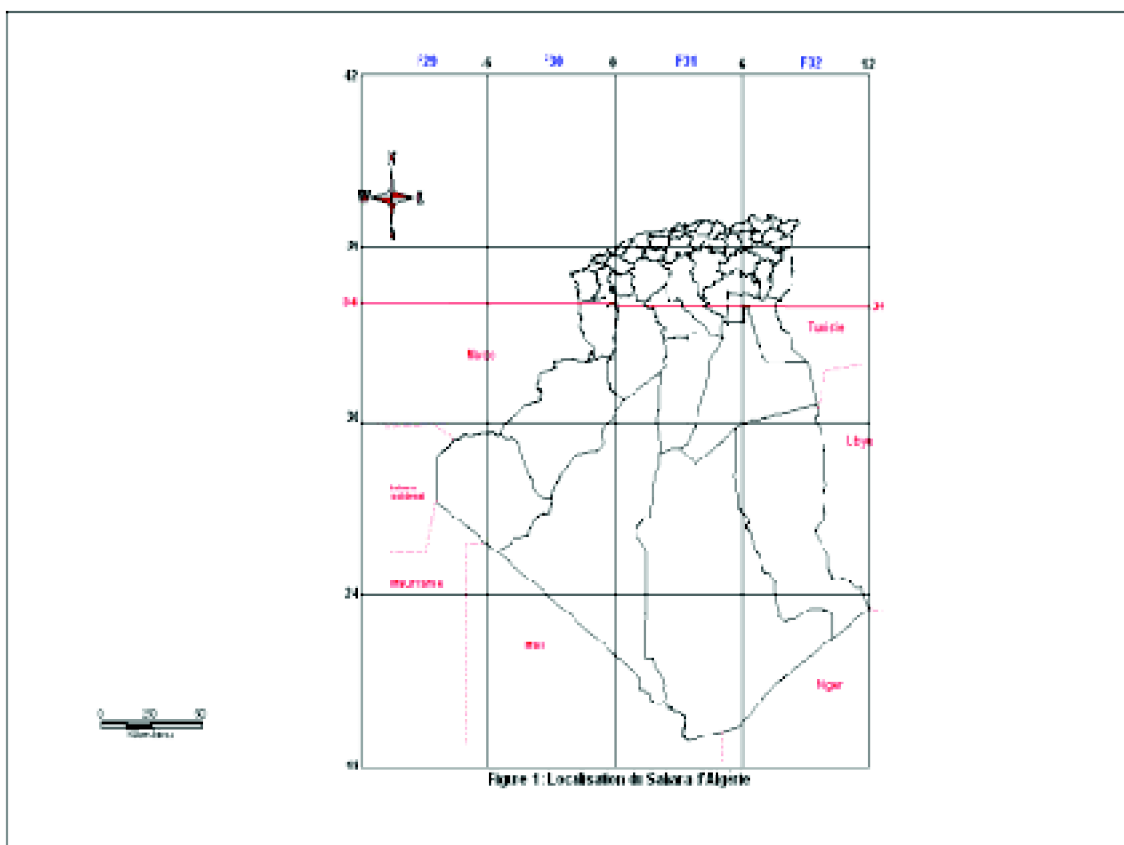


Figure 1 : Localisation du Sahara d'Algérie

Tableau 5: Inventaire des études de l'ANRH

Nombre total de profils = 628 profils

Ainsi, tous les profils que renferment ces études (profils types) ont été pris en considération sauf l'étude d'Abadla où nous avons sélectionné un, deux et parfois trois profils représentatifs selon l'étendue et la complexité de l'unité cartographique et ce à cause de la grande superficie de la plaine.

Le contrôle des informations à mettre en banque est une opération nécessaire voir même indispensable, car ces dernières doivent être justes et fiables avant qu'elles ne soient stockées sur disque magnétique. Ainsi, il faut vérifier toutes les données en éliminant celles qui semblent incohérentes (**Legros et al., 1992**). Cette vérification se fait par une série de tests (test de concordance par exemple) ou directement par la compétence du pédologue. A titre d'exemple, nous avons décelé des sols riches en calcaire avec un taux de saturation en bases échangeables faible. Ces données ont été automatiquement éliminées.

Avant tout assemblage des données dans un grand fichier, il est impératif que chaque paramètre analytique soit exprimé dans la même unité pour toutes les études.

Après vérification, on a pu remarquer que l'A.N.R.H. utilise deux types de fiches d'analyses (tableaux 1, 2 (annexe 1)). La comparaison de ces deux fiches (tableau3(annexe 1)) fait ressortir les différences mentionnées en gras.

En plus, dans l'étude agropédologique de la plaine d'Abadla, les résultats des réserves minérales sont exprimés en **ppm** et en **meq/100 g** [exemple : P_{total} (ppm), Passimilabe (ppm), K_{total} (meq/100g)].

Etant donné que la majorité des analyses sont sur la fiche 1, nous avons aligné (homogénéisé) toutes les analyses aux unités de cette fiche.

Parmi les nombreux problèmes qui se posent lors de l'étude d'un profil des sols du sud d'Algérie, nous citons deux cas intéressants :

1. Un seul horizon décrit correspond parfois à deux ou plusieurs horizons analysés. Dans ce cas, nous avons subdivisé la description du profil en autant d'horizons analysés. Les horizons ainsi obtenus comporte exactement la même description. Cette situation concerne 72 profils.
2. Un seul horizon analysé correspond à plusieurs horizons décrits. Dans ce cas, nous avons subdivisé l'analyse du profil en autant d'horizons décrits. Cette situation concerne 15 profils.

2. Spatialisation des données

La partie graphique de ce travail est réalisée avec le logiciel Map Info version 7.0 à cause de sa simple maniabilité. Map Info est un outil de type système d'information géographique (SIG) qui sert à créer de l'information géographique, à traiter de l'information et à la cartographier (**Bardier, 2002**). Map Info est un logiciel qui structure les informations en **tables** .

Une table est un ensemble de fichiers qui sont manipulés ensemble par le logiciel (***.dat**,

***.map, *.id, *.ind, *.mif, *.mid, *.wor**).

L'environnement de Map Info est une interface multifenêtres. Il a l'avantage de travailler dans différents systèmes de représentation qui se trouve dans un fichier ***.prj** de Map Info.

Pour connaître dans quel référentiel cartographique une couche est enregistrée, il faut accéder à l'option modifier structure de la fenêtre carte.

La majorité des cartes du sud de l'Algérie sont dans le système de coordonnées Lambert Sud Algérie ou dans le système **U.T.M.** (Universal Transverse Mercator). Le fichier ***.prj** de Map Info ne contient pas ces deux systèmes. Sous Map Info, il suffit d'ajouter ces données sous forme d'un autre fichier qui contient ces systèmes de projection. Dès lors, on sera en mesure d'enregistrer une table Map info dans l'un ou l'autre système de projection. En plus, Map Info est capable de travailler avec des tables créées dans des systèmes de projection différentes ; cependant, c'est le système de la première table ouverte qui va être le système de travail de Map Info.

Pour ouvrir des données tabulaires (Excel, Dbase et Access), il suffit d'ouvrir le fichier en choisissant le type ***.xls, *.dbf** ou ***.mdb**, Map Info déclare alors la feuille de calcul dans son environnement. Un fichier ***.tab** sera créé.

Néanmoins, les données attributaires restent stockées dans le fichier ***.xls** ou autres. Aucun fichier ***.dat** ne sera créé. Il est alors possible d'accéder aux informations contenues dans la feuille de calcul, mais uniquement en consultation.

Pour modifier les informations de la feuille de calcul ou de leur structure, il faut utiliser la commande « enregistrer la table sous » pour créer une table complète au format Map Info.

L'autre avantage de Map Info réside dans son pouvoir d'importer des fichiers provenant d'autres S.I.G. (Arc info, Arc View, Autocad) grâce, à la fonction « Importer les données » ou au Traducteur Universel.

Pour qu'une base de données soit convenablement exploitable, il est impératif que les données soient géoréférencées ou décrites par une coordonnée XY, d'où la notion de base de données à référence spatiale. On utilise également le terme S.I.R.S. (système d'information à référence spatiale).

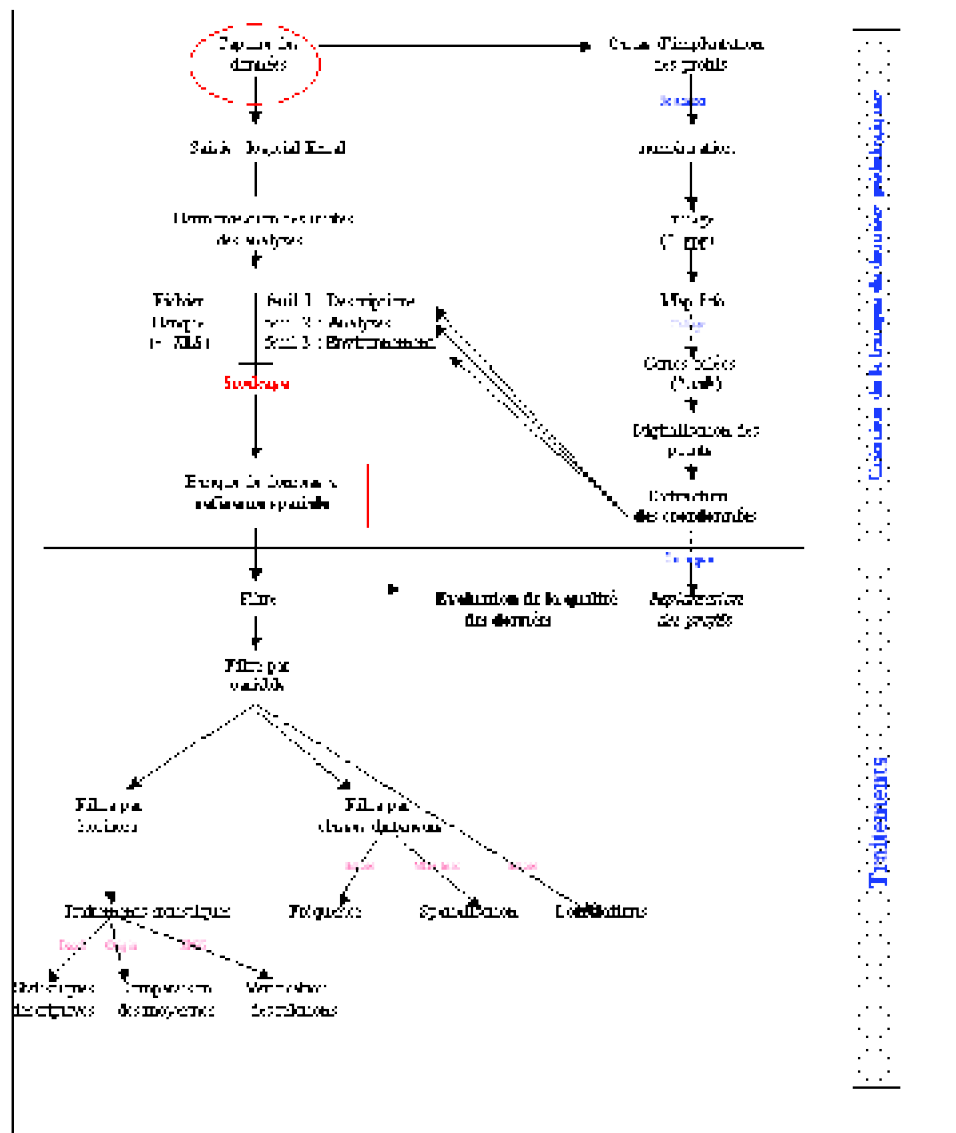


Figure 2: Organigramme d'élaboration de la banque de données pédologiques

3. Délimitation du Sud d'Algérie

La base de ce travail est un S.I.G. du R.G.P.H.de 1998 (Recensement Générale de la Population et de l'Habitat) réalisé par l'I.N.C.T. (Institut National de Cartographie et de Télédétection) pour qui on a modifié la structure des données sémantiques.

Cette carte est géoréférencées dans le système DMS (Degré, Minute, Seconde) et ne peut être modifiée. Elle est appelée communément **Comgeo**.

4. Localisations des profils

La localisation manuelle à partir de cartes papier des profils est en fait une opération très délicate et très laborieuse (beaucoup de temps et peu de précision). Ceci nous a conduit à informatiser ces cartes (numérisation à l'aide d'un scanner) comme solution efficace à ce problème d'analyse spatiale.

Avant le calage de ces cartes (digitalisation sur écran de l'ordinateur d'au moins 3 points régulièrement distribués sur la carte et préalablement choisis de préférence avant la numérisation), il faut choisir dans quel système il faut déclarer cette image (*. **gpg**).

Dans notre cas, le système de projection utilisé est le système U.T.M. avec ses trois fuseaux qui renferment les zones étudiées comme mentionné dans le tableau 6.

***Tableau 6:** Système de projection et fuseaux horaires des zones étudiées.*

Parfois, une zone peut être accompagnée d'un chiffre. C'est le numéro de la carte.

Une fois l'image calée, on procède à la validation de ces points avec leurs coordonnées respectifs. Un fichier *. **tab** (carte) sera créé et qui conservera les paramètres de calage. Par la suite, la numérisation des profils peut se faire sur la carte calée.

Avec la commande « Coordinate Extractor », on obtiendra les coordonnées de chaque profil, en utilisant la projection native de la table ou en choisissant une autre projection dans une S.G.B.D. (système de gestion d'une base de données) qui, dans notre cas, est Access.

Une fois les coordonnées collées avec les données attributaires dans un fichier

*. **xls** (Excel), on pourra par la suite les visualiser après un enregistrement sous forme

*. **tab** .

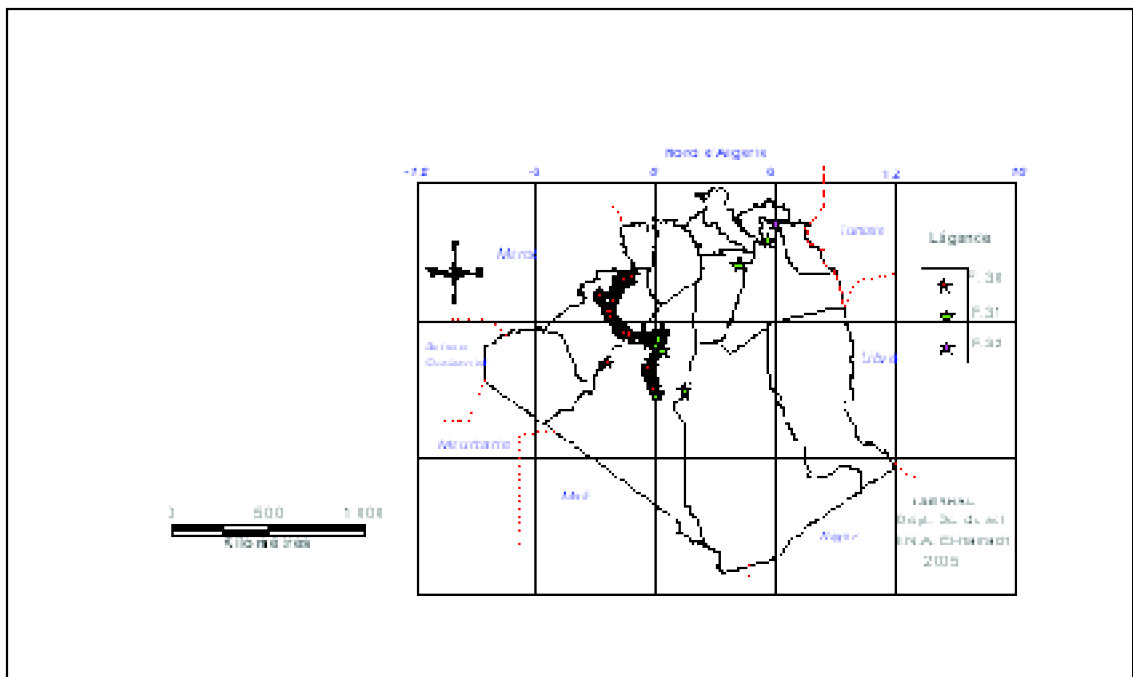


Figure 3 : Implantation des profils

Avec le gestionnaire de couches qui est un outil de gestion de l'affichage des différentes tables ouvertes, les profils peuvent être affichés dans le Comgeo (figure 3).

Comme dans Arc info, toutes les instructions nécessaires à la réalisation d'un travail d'une carte ou relatives à des requêtes sont enregistrées dans un fichier *. **SML** (simple macro langage) pour faciliter ultérieurement ces instructions ; Map Info enregistre la carte finale dans le fichier *. **wor** (Le workshop).

Créer un workshop, c'est enregistrer un état de son travail de manière à pouvoir le retrouver aisément en l'état. Seulement, porter un « *. **wor** » sur un autre ordinateur à toutes les chances de ne pas fonctionner, c'est pour cela qu'il faut bien organiser les fichiers et les répertoires.

5. Qualité des données (Niveau de caractérisation des études)

Son objectif est de montrer comment les unités pédologiques étudiées ont été caractérisées, autrement dit, quantifier les taux de remplissage des fiches de descriptions et des fiches d'analyses.

6. Choix des paramètres étudiés

Après l'étude de la qualité des données, il nous est apparu impossible d'étudier toutes les variables malgré que certaines d'entre elles présentent un taux de remplissage élevé.

Pour ces raisons et pour une meilleure valorisation de ces données, on s'est limité d'étudier cinq paramètres pédologiques (les taux d'argile, de matière organique (MO), de calcaire, de gypse et la conductivité électrique (CE). Ce choix à été motivé par :

- La facilité de détermination de certains paramètres au laboratoire (calcaire),
- les différents systèmes de classification des sols (**C.P.C.S., 1967; U.S.D.A., 1994 ; A.F.E.S., 1995**) les privilégient lors de la caractérisation des types de sols,
- leurs importantes conséquences sur les propriétés pédologiques et agronomiques des sols (**Pedro, 1984**),
- mesurables et donc se prêtent à des traitements statistiques,
- permettre ultérieurement une éventuelle comparaison avec les données des sols du Nord d'Algérie (**Djili, 2000**).

7. Traitements statistiques des données

Le sol étant un système, il est donc logique que son étude puisse avoir recours aux différentes méthodes mathématiques d'études des systèmes. Ainsi, l'analyse des données a sa place ici (**Chabanel et al., 1975**). L'informatique et la statistique ont été largement employés depuis quelques années en cartographie pédologique (**Chabanel et al., 1975 ; Legros, 1978 ; Vessereau, 1988**).

La statistique est devenue le mode de représentation et d'appréhension des grands ensembles. Une des premières fonctions de la statistique est de permettre la description des ensembles de très grande taille.

Les méthodes d'analyse des données sont des méthodes de statistique descriptive.

Pour décrire la réalité d'une façon aussi complète que possible et découvrir les principales structures, on a recours à un certain nombre de caractéristiques.

De nombreux auteurs (**Deldime et Demoulin, 1975; Amzallag et Piccioli, 1978 et Dagnelie, 1980**) distinguent trois types de mesures descriptives appelées encore paramètres statistiques dont le but est de décrire et non d'interpréter. Selon **Walter (1990)**, c'est une démarche descriptive non explicative. De ce fait, nous ne pouvons donc qu'émettre des hypothèses pour expliquer les résultats. Les paramètres statistiques descriptifs les plus fréquemment utilisés sont les suivants:

- Le mode : Il correspond à la valeur la plus fréquente ou dominante de la variable que l'on étudie. Il nous donne des informations sur la valeur qui se trouve le plus souvent dans la distribution.
- La moyenne : C'est la mesure la plus utilisée. C'est la somme des valeurs de la

variable divisées par le nombre de données observées.

- L'étendue : C'est la longueur de l'intervalle dans lequel se trouvent les données de la distribution, il est égal à : $X_{\max} - X_{\min}$.
- La variance : Elle évalue le degré de dispersion. Autrement dit, elle traduit l'importance des écarts à la moyenne et est d'autant plus grande que les observations sont différentes (Walter, 1990). Cependant il faut distinguer entre deux types de variance (Tranchefort, 1974) :

a- La variance d'une population (**VAR P.**) : Calcule la variance d'une population en se basant sur la population entière.

$$\text{VAR P.} = n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n^2$$

b- La variance (**VAR**) : Estime la variance d'une population en se basant sur un échantillon de cette population.

$$\text{VAR} = n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n(n - 1)$$

Dans notre cas, c'est la deuxième formule qui est utilisée, parce que les sols contenus dans la banque ne sont qu'un échantillon d'une grande population qui est le sud algérien; ce même sud peut s'avérer lui aussi échantillon si la population étudiée était l'Algérie.

- L'écart type : Se définit comme la racine carrée de la variance. Son avantage est d'être exprimé dans le même système d'unité que la variable.

Pour évaluer le degré de dispersion, l'écart type seul peut induire en erreur, c'est pourquoi il est comparé à la moyenne pour savoir s'il est relativement important ou pas.

A partir de l'écart type et la moyenne, on pourra procéder au calcul du coefficient de variation. **CV% = (écart type / moyenne) * 100.**

Le coefficient de variation a été souvent utilisé pour quantifier la variabilité d'un paramètre donné (Gascuel-Oudou, 1984; Voltz, 1986; Walter, 1990).

Selon une synthèse des résultats effectuée par Vauclin (1982), les paramètres physico-chimiques du sol sont classés en fonction du coefficient de variation en trois groupes :

* Les paramètres physiques statiques, tels que la granulométrie présentent de faibles à moyennes variabilités (CV < 50 %).

* Les paramètres dynamiques ont une variabilité spatiale élevée à très élevée (CV > 50 %).

Les paramètres chimiques sont très variables localement et présentent des CV% très élevés (CV > 100 %).

Douaoui (1993) conditionne l'utilisation du coefficient de variation par sa comparaison à la variance de la variable considérée.

De leur côté, **Snedecor et Cochran (in Walter, 1990)** notent que le coefficient de variation présente l'intérêt d'être adimensionnel, mais n'est utile et informatif qu'en

présence de la moyenne et de l'écart type, car sinon il peut induire à des erreurs.

Pour l'ensemble de ce travail, le coefficient de variation sera interprété selon les normes déjà établies par **Nolin et Caillier (1992)**:

- Faible variabilité lorsque le coefficient de variation est $< 15 \%$.
- Variabilité modérée lorsque le coefficient de variation est compris entre 15% et 35% .
- Variabilité élevée lorsque le coefficient de variation est compris entre 35% et 50% .
- Variabilité très élevée lorsque le coefficient de variation est compris entre 50% et 100% .
- Variabilité extrêmement élevée lorsque le coefficient de variation est $> 100 \%$.

Les techniques utilisées à cet effet appartiennent à la statistique descriptive.

Chaque variable a été caractérisée dans chaque horizon (surface, sub-surface et de profondeur) par les paramètres de tendance centrale (la moyenne, la médiane et le mode) et de dispersion (étendue, écart-type, variance et coefficient de variation).

Le travail en question (traitement) a concerné toutes les données de la banque, puis celles de deux grandes zones situées dans deux endroits géographiquement différents et enfin, cette caractérisation a touché les régions ou études qui constituent ces grandes zones.

Les statistiques descriptives ont été réalisées avec le module « utilitaire d'analyse » de Microsoft Excel version 2000.

7.1 Comparaison des moyennes

La comparaison des moyennes des trois horizons prises deux à deux (h1h2, h1h3, h2h3) est réalisée automatiquement sur la base du test de Student avec le logiciel Microcal Origin version 5.0. Ce test a pour but d'évaluer statistiquement les différences des valeurs d'une variable donnée qui pourraient exister entre les couples d'horizons pris deux à deux, et aussi entre les couples d'horizons de même catégorie pour deux zones différentes (H11-H12, H21-H22 et H31-H32) : le premier chiffre après le « H » désigne l'horizon, le deuxième chiffre désigne le numéro de la zone. Il consiste à savoir si les échantillons à étudier proviennent de la même population (différence non significative) ou ne proviennent pas de la même population (différence significative).

Etude des fréquences de distribution

L'étape suivante de ce travail consistera en la spatialisation des classes de teneurs de la variable considérée dans chaque horizon. Les données vont être prises dans leur globalité sans distinction de zone.

Cependant, la représentation sous forme de carte, nous a parue non explicite à causes de la diversité des échelles des cartes. Elles ne seront de ce fait pas incluses dans ce document.

Pour résoudre ce problème, on a opté pour des histogrammes de fréquences qui permettent de bien comparer les différentes classes de teneur entre elles dans les trois horizons.

La fréquence de distribution est estimée en pourcentage, en multipliant

(le nombre d'horizon obtenu pour une classe de teneur) 100 / le nombre total d'horizons de l'horizon considéré.

A titre d'exemple, on retiendra les cinq teneurs en calcaire dans le premier horizon (H1).

Tableau 7: Exemple de données

Horizons	Teneurs en calcaire					Total
	T1	T2	T3	T4	T5	
H1	73	222	131	100	0	526

Donc, la fréquence des taux de calcaire dans H1 est égale :

$$73 * 100 / 526 = 13.87 \%$$

La teneur en calcaire inférieure ou égale à 2 % (T1) est présente dans 73 horizons de surface soit 13.87 %, autrement dit la part de T1 dans H1 est de 13.87 %.

Nous tenons à faire remarquer que l'horizon noté « **3** » est en fait l'horizon de profondeur (**Hp**) ; c'est la somme de tous les horizons (3+4+5+6+7+8+9) ; par contre ceux noté **1** et **2** sont les horizons de surface et de sub-surface respectivement.

7.3. Corrélations entre variables

Une régression est un modèle mathématique linéaire reliant une variable aléatoire Y (à expliquer) à K variable ($K \geq 1$) (explicative) aléatoire ou non, ce modèle étant construit pour prédire ultérieurement Y (**Tranchefort, 1974**).

« Un modèle consiste en la représentation formelle d'idée ou de connaissances relatives à un phénomène » (**Tranchefort, 1974**).

Il est cependant important d'avertir, qu'en aucun cas, on cherche à établir des relations causes-effets.

Labrousse (1972) in **Tranchefort (1974)** cite une opinion de **Morgenstern (1972)** « Il est parfaitement inutile d'élaborer un modèle complexe si l'on ne peut le 'nourrir' qu'avec des données statistiques insuffisantes ou de qualité douteuse » et à **Tranchefort (1974)** d'ajouter « Un modèle peut être riche en symboles et pauvre en idées » et ainsi ne rien apporter sinon une confusion complémentaire à la compréhension d'un phénomène.

Il n'existe pas de méthode rigoureuse pour choisir le 'bon' modèle. On ne peut procéder que par 'tâtonnement' en testant plusieurs ajustement et en choisissant le meilleur d'entre eux.

Le coefficient de corrélation est un indicateur de la précision des représentations. Il

est compris entre $(-1 \leq r \leq 1)$.

- Le signe du coefficient indique le « sens » de la relation.
- La valeur (absolue) du coefficient indique la force de la relation.
- Lorsque le r est proche de $+1$ ou de -1 , la relation linéaire est forte.
- Lorsque le r s'approche de 0 , la relation linéaire est faible.

Une propriété fondamentale du coefficient de corrélation (r) est que, son carré est appelé coefficient de détermination (R^2).

$$R^2 = \text{Variation de } y \text{ expliquée par la régression} / \text{Variation total de } y$$

Il exprime le pourcentage de la variation expliquée par la régression. Il est compris entre

$(0 \leq R^2 \leq +1)$. Les représentations sont d'autant meilleures que la différence entre R^2 et 1 est faible.

L'autre volet abordé dans ce travail est la recherche de liens ou d'éventuels liens qui pourraient exister entre quelques paramètres ou descripteurs pédologiques.

Cela permettrait une évaluation statistique supplémentaire et complémentaire en même temps des paramètres choisis et de pouvoir dans certains cas les comparer à ceux de l'Algérie du Nord (**Djili, 2000; Touaf, 2001**). Sans considération d'horizons, les données ont été prises dans leur ensemble selon une équation de régression linéaire : $y = a + bx$. On étudiera les corrélations suivantes :

- Calcaire – argile.
- Gypse – calcaire.
- Gypse – argile.
- MO – calcaire.
- CE – calcaire.
- CE – gypse.

Dans un premier temps, le calcul des statistiques descriptives ainsi que les corrélations sus-citées seront étudiées au niveau de la banque, puis au niveau des deux grandes zones (zone 1 et zone 2), et chaque études ou régions formant ces deux grandes zones seront à leur tour décrites.

Cette façon de procéder maximise le nombre d'analyse et le nombre de couple (corrélations) par entité géographique (deux zones) tout en minimisant la variabilité intra-strate des variables utilisées (**Shvartz et al., 1997**).

Les deux zones en question sont décrites comme suit :

- **Zone 1** : Elle regroupe Abadla, Méguiden, Saoura, Tousdit, Zousfana, Ait Messaoud, Aoulef, Sbâa, Sbâa-Tsabit, Tézdaia et Touat-Gourara. Autrement dit BECHAR et ADRAR.

· **Zone 2** : Elle se situe au Nord-Est du sud algérien. Elle regroupe trois zones: M'rara, M'guébra et Zélfana.

L'étude d'Illizi a été omise volontairement. Le faible nombre de couples de données

(< 16 couples) pour l'ensemble des corrélations en est la cause principale, ainsi que son éloignement de ces deux zones (Est du sud algérien).

Parce qu'une étude caractérise une région, on utilisera souvent dans cette partie tantôt l'un et tantôt l'autre de ces deux termes ; ils veulent de toute évidence dire la même chose. Mais, quand la zone est suivie du numéro 1 ou 2, cela veut dire la zone1 ou la zone 2 décrite plus haut.

On utilisera aussi, grande région : cette appellation remplace en fait, celle de la wilaya dans la nomenclature administrative algérienne et qui veut dire aussi département ou préfecture.

Pour des raisons purement méthodologiques, seuls les meilleurs ajustements seront représentés. La formule de la régression linéaire et celle du meilleur ajustement seront groupées dans des tableaux appelés « résultats statistiques des corrélations ».

Ces corrélations ont été réalisées avec le logiciel Microsoft Excel version 2000.

Pour vérifier la relation entre ces descripteurs dans les zones en question, on a réalisé des matrices de corrélation moyennant le logiciel SPSS version 11.0 pour Windows. Les résultats sont compilés dans le tableau 28.

Chapitre III Qualité des données

1. Banque de données pédologiques

Une considérable source d'information sur les sols sera perdue si elle n'est pas mémorisée et stockée sur des supports modernes et efficaces et rendue plus attractive que par le passé. Regrouper les informations dans une base de données permet de les conserver pour en faire ensuite une synthèse à des échelles spatiales ou temporelles diverses (**Arrouays et al., 2003; Saby et al., 2004**).

Les bases de données tiennent un rôle important dans l'exploitation du domaine dans lequel elles sont intégrées. Leur rôle n'est plus à démontrer, elles permettent de stocker, de retrouver et de traiter des données.

Un des enjeux essentiels de l'informatique en général et de l'information géographique en particulier est justement de donner du sens à des éléments (paramètres) issus des horizons différents. La constitution d'une base de données géographique est le fruit d'un projet mûri répondant à un certain nombre de problématiques de départ. Ainsi l'étape obligatoire avant toute constitution de la base de données est la conceptualisation (figure 2).

La notion de « base de données géographique » s'est progressivement substituée à celle de « la carte pédologique » (**Jamagne et al., 1995**). La gestion des informations

(données sémantiques et géométriques) associées par un système d'information géographique (SIG) permet la visualisation cartographique immédiate de toute donnée sémantique (**King, 1984**).

Les performances d'un SIG découlent principalement du format numérique de ces données et l'emploi de l'informatique pour leurs traitements (**Mokadem et Bollen, 1998**).

L'élaboration des bases de données a considérablement modifié les pratiques de production cartographique ces dernières années sans que cela n'implique une disparition des cartes au profit des bases de données (**Jamagne et al., 1995**). Néanmoins, ces bases de données ne sont efficaces que si les données qu'elles renferment sont de qualité scientifique acceptable. C'est dans cette optique que les chercheurs ont développé des programmes de contrôle pour examiner la qualité des données (descriptions et analyses). On citera à ce sujet le système automatique de validation des informations « CHEKCHUP » qui est basé sur le contrôle de cohérence entre les variables dont le stockage est envisagé (**Legros et al., 1992**).

Cependant, deux aspects sont indispensables pour que le regroupement des données ait un sens. Le premier est relatif à l'utilisation par les laboratoires d'analyses de méthodes normalisées AFNOR ou ISO et le deuxième est relatif à la garantie de la qualité des résultats (**Baise, 1988; Saby et al., 2004**).

Actuellement, On recherche à normaliser la description détaillée du profil ainsi que les méthodes d'analyses au laboratoire (**Falipou et Legros, 2002**).

Les données pédologiques présentent généralement trois caractéristiques majeures. Elles sont nombreuses et se prêtent donc à une description statistique, elles sont datées et permettent d'aborder des aspects dynamiques et sont localisées avec une précision suffisante pour permettre une approche cartographique (**Saby et al., 2004**).

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer la qualité des études mises en banque, et cela par le calcul du taux de remplissage ($\text{nombre d'horizons décrits} * 100 / \text{nombre total d'horizons}$) des descripteurs, qu'ils soient descriptifs ou analytiques, et faire ressortir de la sorte les descripteurs privilégiés par les pédologues lors de l'étude de ces sols (**Djili et Keslani, 1996**).

2. Les taux de remplissage

Dans cette démarche, aucun descripteur n'a été privilégié par rapport aux autres. Toutefois, les descripteurs qui n'apparaissent que rarement et qui sont relatifs à des cas particuliers (présence de fente de retrait par exemple) ont été regroupés dans une colonne nommée « autres ». Elle n'est pas concernée par le calcul du taux de remplissage.

Toutes les données du profil à la fois descriptives ou analytiques et celles de l'environnement des profils ont été assemblées dans un même fichier du tableur Excel de Microsoft. Néanmoins, chaque partie est enregistrée dans une feuille de calcul

séparément des autres. De la sorte, on a obtenu un fichier avec trois feuilles de calcul (Descriptions, Analyses et Environnement).

Dans cette partie, on tiendra compte de toutes les régions ou études sans distinction aucune. Les calculs vont concerner donc 15 études groupées et sans distinction d'horizons.

Après une mise en conformité des données des descriptions avec celles des analyses (codage des profils et horizons) il s'avère que la banque renferme 628 profils dont 2428 horizons sont décrits et 1990 horizons analysés. Comme il a été signalé dans le chapitre II, cette différence est due au fait qu'un seul horizon décrit correspond à deux ou plusieurs horizons analysés et parfois c'est un seul horizon analysé qui correspond à plusieurs horizons décrits. En plus, il y a souvent beaucoup d'horizons qui sont décrits mais qui ne sont pas analysés.

Il s'avère aussi que seuls 13 variables sont utilisées pour la description du profil contre 40 pour les analyses. Le nombre de variables décrites semblent à première vue négligeable, mais sa comparaison au nombre de variables décrites dans le cadre d'une recherche sur les sols du nord (28 variables décrites) (**Djili, 2000**) et avec la déduction des variables spécifiques à quelques sols du nord (tâches, fragilité, abondance de pores), il apparaîtra que le nombre en notre possession est plus ou moins proche de celui obtenu au Nord du pays. Le nombre d'analyse quant à lui est nettement supérieur à celui réalisé au Nord (24 analyses). Cependant, la description du profil type doit être normalisée. On ne tiendra pas compte des spécificités des régions (nord où sud).

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux 8 et 9.

Les variables sont ordonnées par ordre décroissant de leurs taux de remplissage.

Tableau 8: Taux de remplissage des variables descriptives

Variabes	Renseignés	Taux de Remplissage
Texture	2073	85,38
Couleur	1963	80,85
Structure	1872	77,10
Compacité	1314	54,12
Calcaire	1210	49,84
Consistance	1135	46,75
Limite d'horizons	1029	42,38
Porosité	884	36,41
Charge (% et nature)	658	27,10
M.O.	656	27,02
forme du Gypse	116	26,36
Salinité	494	20,35
Gypse	440	18,12

Tableau 9: Taux de remplissage des variables analytiques

Dans le cas de l'absence de la description d'une variable donnée, nous avons considéré qu'elle a été omise par le pédologue. Si la description et les analyses sont bien menées et conformes, on aurait à chaque fois le même nombre d'horizon à traiter.

De ce fait, la variable « forme de gypse » ne peut être renseignée que si le gypse est présent dans le profil et son taux de remplissage sera alors calculé sur la base du nombre d'horizons contenant du gypse et non sur la base du nombre total d'horizons décrits.

Ainsi, les résultats obtenus révèlent qu'aucune variable n'est renseignée à 100 %. Toutes ces descriptions ne sont pas systématiquement renseignées.

La figure 5 nous montre que :

- 9 variables sur 13 soit 69 % des variables sont insuffisamment renseignées (≤ 50 %).
- Une variable (01) soit 7 % est moyennement renseignées (50 % – 70 %).
- Seulement 23 % des variables sont renseignées à plus de 70 %.

La texture (85 %), la couleur (80 %) et la structure (77 %) sont les modalités les plus renseignées de la banque, alors que la matière organique (MO), la salinité et le gypse sont souvent omis par le prospecteur (≤ 50 %) (figure 4).

L'identification des horizons n'est mentionnée nul part dans ces documents.

La profondeur des horizons quant à elle, est toujours renseignée.

En ce qui concerne les analyses (tableau 9), il s'avère aussi qu'aucune variable n'est renseignée à 100 %.

Le pH (98 %) et la CE (97 %) sont les modalités les plus renseignées de la banque. La granulométrie est en troisième position du taux de remplissage devant le calcaire (92 %) et le gypse (62 %) (figure 6).

La figure 7, montre que 14 variables soit 35 % des variables, ont un taux de remplissage inférieur à 30 % et seulement 22 % des variables sont renseignées à plus de 60 %.

La comparaison des taux de remplissage des études menées dans le nord d'Algérie (**Djili, 2000**) et celles du sud d'Algérie fait ressortir les fait suivants :

- En ce qui concerne la description du profil, il s'avère que les taux de remplissage supérieurs à 70 % concernent les même variables au sud et nord (texture, la couleur et la structure) sauf pour le calcaire qui est mieux renseigné au nord (72 %) qu'au sud (49 %). De même, il s'avère que la compacité est mieux renseignée au sud (54 %) qu'au nord (45 %) inversement au taux de MO (27 et 53 % respectivement).
- Concernant les analyses, les calculs montrent que les variables les mieux renseignées au nord (granulométrie, texture et CaCO_3) le sont aussi dans le sud. Par contre, le gypse est nettement mieux renseigné au sud (62 %) qu'au nord (12 %).

Cette différence dans les taux de remplissage pourrait être expliquée par le fait que les

études sont à des échelles différentes, donc les pédologues prospecteurs descendraient différemment dans la hiérarchie du système de classification ; c'est à dire, plus l'échelle de la carte est grande et plus la description et les analyses du profil doivent être plus détaillées. De même, la qualité du document cartographique produit dépendrait dans une large mesure d'impératifs économiques (économie au dépend de la qualité).

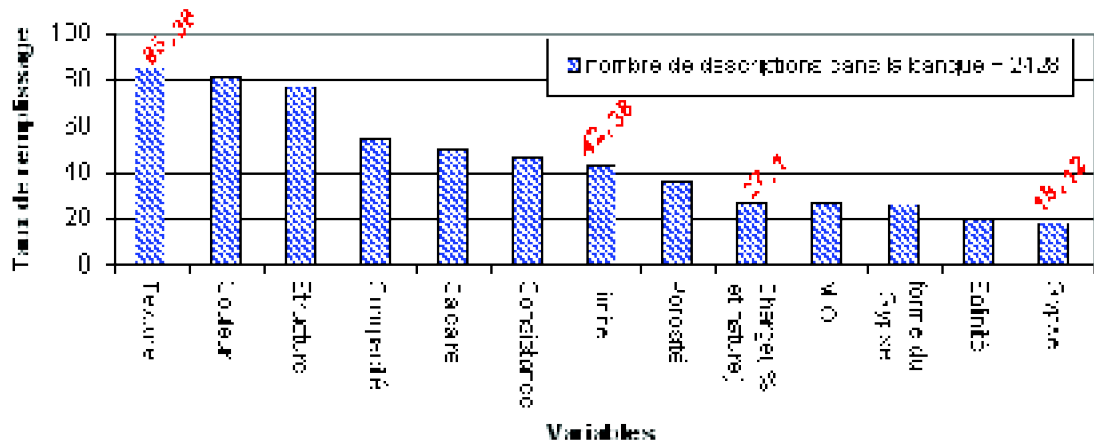


Figure 4: Résultats des taux de remplissage des déterminations (exprimé en pourcentage du nombre de description totale)

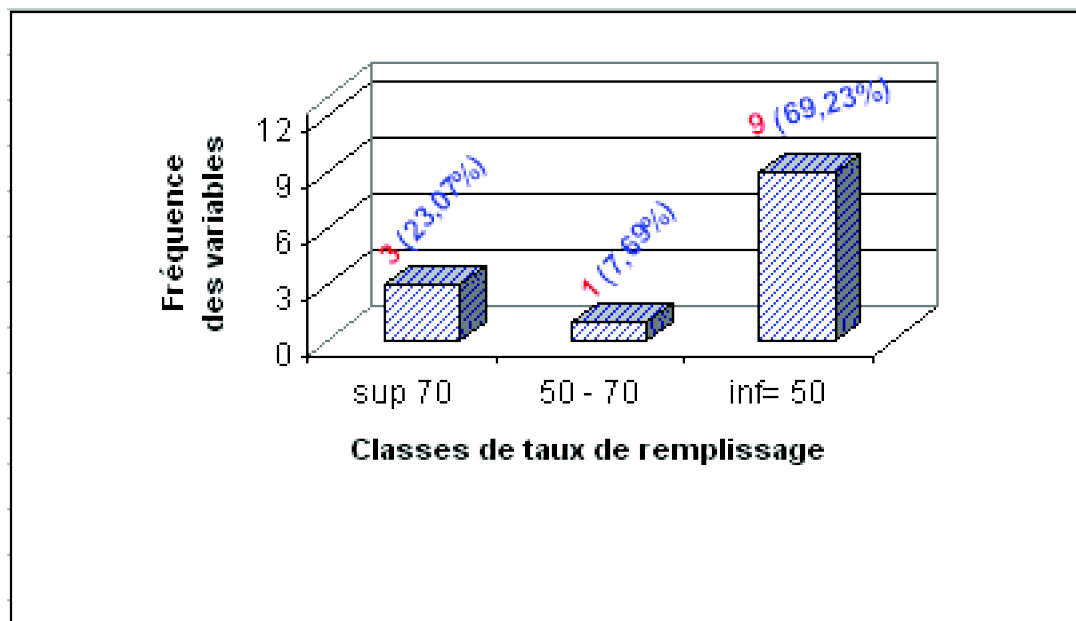


Figure 5: Fréquence des taux de remplissage des descriptions

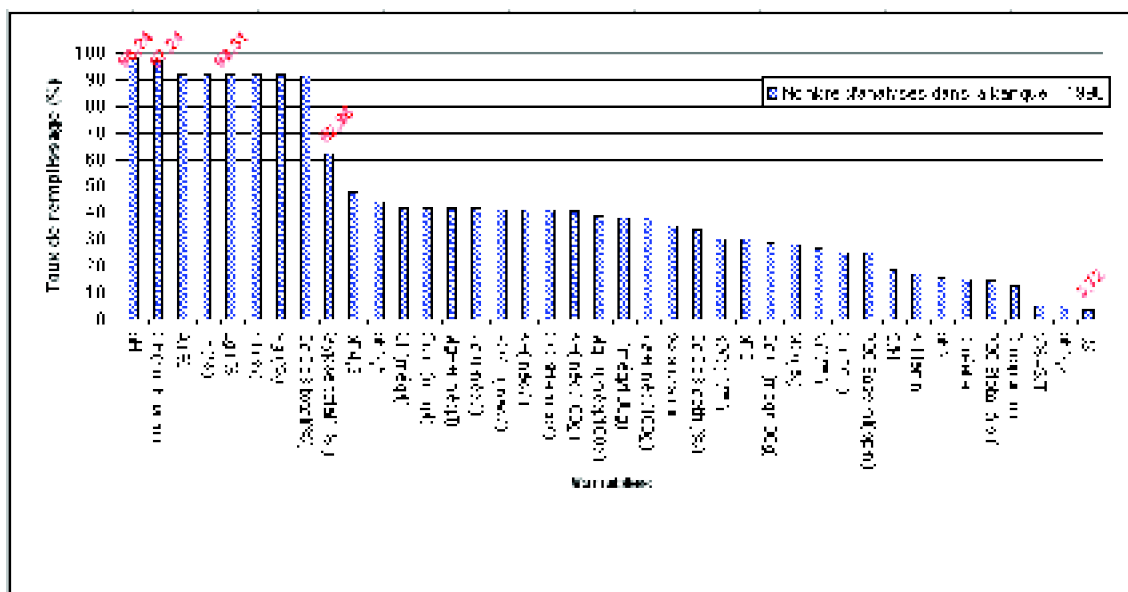


Figure 6: Résultats du taux de remplissage des analyses (exprimé en pourcentage du nombre d'analyse total)

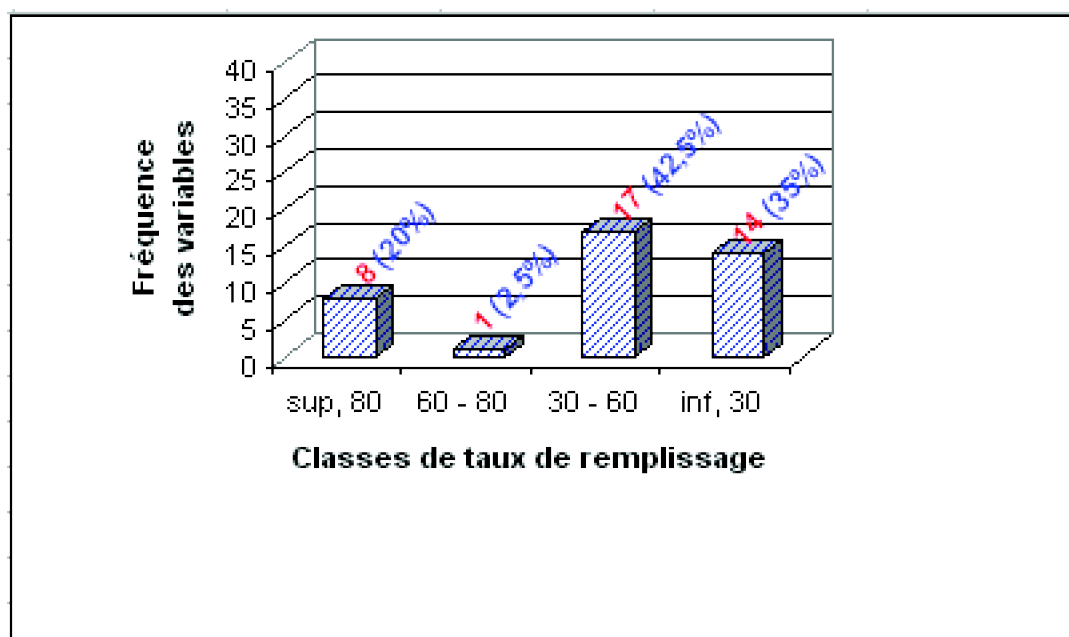


Figure 7: Fréquence des classes de taux de remplissage des analyses

Ainsi, les résultats de la quantification des taux de remplissage des variables descriptives et analytiques, et la comparaison de ces taux de remplissage de quelques descripteurs des sols du Nord d'Algérie nous interpellent à réfléchir sur une uniformisation urgente des descriptions et les analyses dans toute l'Algérie. Quoi qu'il en soit, toutes les classifications des sols nécessitent des descriptions morphologiques et des analyses d'échantillons au laboratoire qui soient normalisées pour caractériser et classer le profil type.

3. Concordance entre les données de la banque

La réalisation d'une carte pédologique est une opération qui coûte cher. C'est pourquoi elle doit être la plus complète et la plus fiable possible.

C'est pour cette raison qu'il faut faire une description convenable du profil. Il est donc recommandé de faire à la fois des tests et des observations sur le terrain, ces derniers sont dits qualitatifs et des analyses des échantillons des sols au laboratoire (données quantitatives). Cependant, les deux déterminations, l'une qualitative et l'autre descriptive, peuvent parfois se compléter. C'est pourquoi, avant de publier le document final, le pédologue doit tester la cohérence des résultats.

Le contrôle de cohérence consiste à examiner si les données saisies sont compatibles entre elles.

Nous avons utilisé quelques tests de cohérence pour évaluer la fiabilité des données de la banque. Néanmoins, les tests schématisés par **Legros et al. (1992)** sont nombreux et variés. Pour des raisons d'ordre pratique (absence de couple pour certaines variables) les tests de conformité ne porteront que sur quelques relations.

3.1. Concordance calcaire total et calcaire actif

Sur un effectif de 656 couples, il y a 18 couples dont le taux de calcaire actif dépasse celui du calcaire total. Le taux de non-concordance est donc de $(18 \times 100 / 656)$ soit 2.74 %.

Si on considère que l'erreur porte à moitié sur le taux du calcaire total et à moitié sur le taux du calcaire actif, le calcul du risque d'erreur entre ces deux données signifie qu'il y a erreur de 2.74 % sur le taux du calcaire total ou 2.74 % d'erreur sur le taux du calcaire actif ou soit encore que l'erreur est partagée entre le taux du calcaire total et le taux du calcaire actif. Dans ce dernier cas, l'erreur sur l'un ou l'autre varie dans la gamme 0 % à 2.74 %.

3.2. Concordance entre l'intensité de l'effervescence à l'HCl et le taux du calcaire total

Dans cette étude, on ne s'intéressera qu'à deux types d'intensité d'effervescence

(pas d'effervescence et forte effervescence). Les deux autres intensités (faible et moyenne) ne seront pas étudiées.

Si, on considère le cas « pas d'effervescence » quant le taux de calcaire serait inférieure à 1% et la « forte effervescence » quant à elle, correspondrais à plus de 10% de calcaire total.

Tableau 10: Relation entre l'intensité de l'effervescence et les taux de calcaire total (TCT)

Classes d'effervescence	Nombre de couples	TCT < 1%	1 ≤ TCT < 10%	TCT ≥ 10%	% de non-concordance
Pas d'effervescence	86	47	35	4	45
Forte effervescence	742	52	422	268	64

Le tableau 10 indique que sur un total de 959 couples effervescence à l'HCl / taux de calcaire total, 86 cas ont une effervescence nulle, le taux de non-concordance serait de 45 %.

La forte effervescence quant à elle représente 742 couples, le taux de non-concordance entre ces deux couples est de 64 %.

De ce fait, nous pouvons conclure que les pédologues ont du mal à apprécier l'absence de l'effervescence dans 45 % de cas, et encore moins les fortes effervescences (64 % de non concordance).

En plus de ces non conformités des données analytiques avec les descriptions des profils, on a remarqué aussi l'utilisation d'une terminologie non conforme à ce qui est connu pour l'appréciation de l'effervescence à l'HCl. On citera les cas suivant : «légèrement forte effervescence», « moyennement forte effervescence», «faiblement forte effervescence» et «très légèrement forte effervescence ».

3.3. Concordance entre la somme des cations échangeables (S) et la C.E.C (T)

Comme la somme des bases n'est jamais supérieure à la somme des sites du complexe, alors tout cas contraire sera considéré comme non conforme.

Tableau 11: Concordance entre S (meq / 100g) / T (meq / 100g)

Classes de CEC (meq / 100g de sol)	Nombre de couple	Nombre S > T	% de non-concordance
T < 10	473	433	91.54
10 ≤ T < 20	210	95	45.24
20 ≤ T < 30	70	28	40
30 ≤ T < 40	7	4	54.14
T ≥ 40	0	0	/
Total	760	560	73.68

Le tableau 11 révèle que d'une façon globale, les résultats sont non concordants à hauteur de 74 %. La première classe est presque totalement non concordante, la somme des bases(S) est supérieure à (T) à hauteur de 91 %. Le risque d'erreur de la relation concerne également les autres classes de CEC (environ 45 %).

Ces résultats, confortent bien ceux obtenus dans une étude sur les sols du nord d'Algérie (**Djili, 2000**), et dans laquelle, le taux de non concordance avoisine les 50 %, quelle que soit la classe de C.E.C. choisie.

Ce résultat trouverait une explication dans la non adaptation des méthodes d'analyses à nos sols ainsi que les erreurs cumulées lors des analyses au laboratoire.

Conclusion

Le test de concordance entre quelques données de la banque montre que les études pédologiques réalisées au Sahara algérien sont mal menées tant sur le plan de la description que sur le plan des analyses au laboratoire, environ 55 % de non concordance pour seulement deux types d'intensité d'effervescence. Le test de concordance entre la somme des cations échangeables (S) avec la C.E.C (T) montre lui aussi des cas de non concordance entre ces deux variables analytiques. En effet, le taux de non-concordance avoisine les 74 % pour l'ensemble des classes de CEC. Le test de conformité du calcaire total avec le calcaire actif indique quant à lui une légère erreur (environ 3 % de non-concordance).

Chapitre IV Résultats et discussions

Partie 1 : Analyses statistiques

Introduction

Dans ce qui suit, nous présenterons successivement les résultats obtenus pour les cinq paramètres étudiés. Chaque paramètre sera présenté d'abord par rapport à la base de données entière et ensuite séparément dans la zone 1 et dans la zone 2 et enfin dans chacune des régions étudiées (une zone est constituée d'un ensemble de régions). Cette démarche permettra de situer chaque paramètre étudié à l'échelle du Sahara et de pouvoir détecter les éventuelles différences de comportement des descripteurs pédologiques entre les régions sahariennes. A ce niveau, il s'agit d'étudier les paramètres statistiques de tendance centrale et de dispersion de chaque descripteur pédologiques et de détecter son éventuelle différenciation dans le profil et dans l'espace, c'est à dire dans et entre les horizons de surface (H1), de sub-surface (H2) et de profondeur (H3).

1. Les taux d'argile

1.1. A l'échelle de la base de données (A l'échelle du Sahara)

L'analyse des données concernant les taux d'argile a porté sur 526 horizons de surface, 534 horizons de sub-surface et 778 horizons de profondeur. Le tableau 1(annexe 2) indique que les sols étudiés sont peu argileux dans l'ensemble du profil. En effet, les taux moyens d'argile varient entre 13 % en surface et 15 % en profondeur. Ce paramètre peut être donc considéré comme homogène dans le profil même si les statistiques (tableau 12) révèlent des différences significatives entre l'horizon de profondeur d'une part et les horizons de surface et de sub-surface d'autre part.

Tableau 12: Comparaison des moyennes de la variable argile entre horizons de la banque.

De même, les valeurs des médianes suggèrent que 50 % environ des sols ont des taux d'argile inférieurs à 8 et 10 % respectivement dans les horizons de surface et de profondeur.

Cependant, ces résultats ne devraient pas masquer la très grande hétérogénéité des taux d'argile entre les horizons de même catégorie. En effet, celle-ci est confirmée par l'étendue des valeurs de ce descripteur (entre 0 et 60 % d'argile) et par les valeurs des écarts type (environ 13 %) ce qui engendre des coefficients de variation très élevés (CV = 100 %) dans toutes les catégories d'horizons. De ce fait, ce résultat signifie que les sols sahariens se caractérisent par une très forte variabilité spatiale de leur taux d'argile. Ainsi donc, ces sols peuvent être complètement dépourvus d'argile, peu argileux ou, au contraire, très argileux. Cette différence de teneur en argile engendrerait des différences de comportements hydriques, physiques et chimiques des sols.

1.2. Les taux d'argile par zone

A une ou deux unités près, les paramètres statistiques de l'argile des sols de la zone 1 sont identiques à ceux obtenus pour l'ensemble des données de la base, et ce, quelle que soit la catégorie d'horizon considérée. Ce résultat trouverait son explication dans le fait que 90 % des horizons étudiés (H1, H2 et H3) se situent dans la zone 1 et donc les tendances statistiques de l'argile influenceraient celles de l'argile de la base de données.

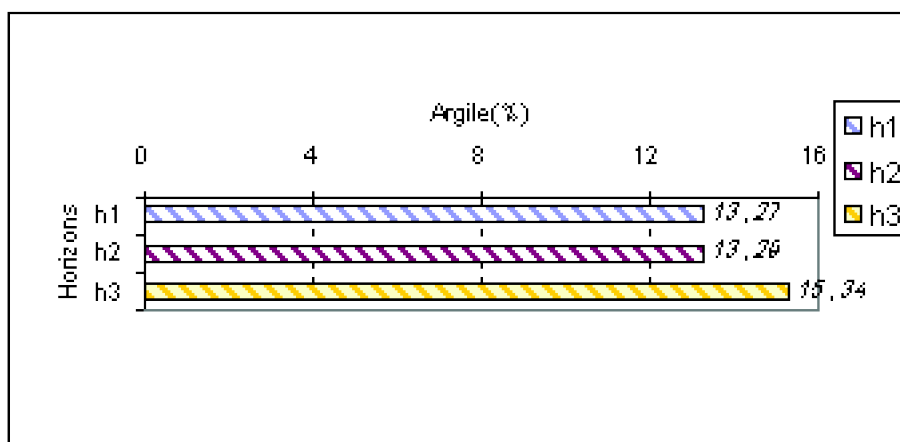


figure 8: Profil moyen de l'argile en zone 1

De même, malgré que la zone 2 ne représente que 10% environ des échantillons étudiés, les résultats obtenus pour l'argile dans cette zone sont également analogues à ceux des données de la base sauf au niveau des valeurs maximales qui ne dépassent pas le seuil de 50 % d'argile. Ce résultat signifie que la tendance générale de l'argile des sols sahariens, du moins quant ils sont considérés dans leur globalité, est toujours la même quelle que soit la région étudiée. De ce fait, la forte variabilité spatiale de ce paramètre est donc à rechercher à l'échelle locale et même au niveau de la station.

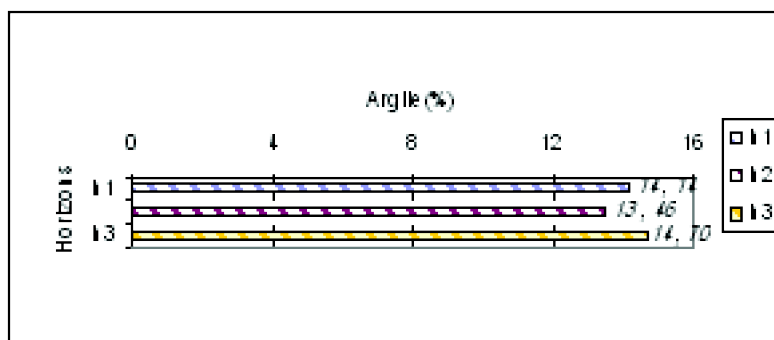


figure 9: Profil moyen de l'argile en zone

1.3. Les taux d'argile par région

L'analyse des tableaux 2-a jusqu'à 2-k et 3-a, 3-b et 3-c (annexe 2) suggère les faits suivants :

Selon la région considérée, les taux moyens d'argile varient entre 1 % et 25 % environ quelle que soit la catégorie d'horizons considérée. Ce résultat signifie que les régions étudiées sont diversement pourvues en argile.

Les coefficients de variation des taux d'argile sont tous supérieurs à 50 % quelle que soit la catégorie d'horizons considérés. Ces forts CV% et la grande étendue

suggèrent une forte variabilité spatiale de ce paramètre à l'intérieur même d'une région. Ainsi donc, les conditions locales de la pédogenèse au niveau de la station

(profil) auraient un effet déterminant sur la variation de ce descripteur dans l'espace.

Quelle que soit la région considérée, les taux moyens d'argile sont à une ou deux unités près sensiblement les mêmes en surface, sub-surface et en profondeur. Cette homogénéité des taux moyens en argile dans le profil suggère que les sols étudiés ne sont pas soumis au phénomène du lessivage des argiles, résultats tout à fait logique quant on sait que le bilan hydrique de ces sols est négatif et fort en valeur absolue.

De ce fait, les résultats obtenus font ressortir une double variabilité spatiale des taux d'argile, une variabilité inter régions et une variabilité intra région. Cependant, cette variabilité est masquée quant les données sont traitées à l'échelle des zones.

1.4. Fréquence de distribution

L'analyse des sols du sud algérien a fait ressortir 1838 horizons contenant de l'argile à des teneurs variables, dont 526 analyses relatives aux horizons de surface, 534 aux

horizons de sub-surface et 778 à ceux de profondeurs.

Le tableau 13, montre la part de chaque horizon dans le profil pour chaque classe d'argile étude par étude.

Pour les zones considérées, dans au moins un de leurs horizons, 472 profils ont des teneurs en argile inférieure à 10 %, 222 profils ont des teneurs comprises entre 10 % et 20 %, 133 profils en ont entre 20 % et 30 %. Entre 30 % et 40 % d'argile on a 121 profils et seulement 92 profils ont des teneurs en argile supérieures à 40 %. Certaines études, malgré qu'elles contiennent de l'argile, cette fraction granulométrique se trouve uniquement représentée par une ou deux classe(s) d'argile au maximum. Dans d'autres cas, Touat-Gourara et Ait Messaoud par exemple, la teneur en argile y est inférieure à 30 %. Les autres études, quant à elles, contiennent au moins un horizon dans chaque classe d'argile. Une situation intermédiaire est cependant à signaler, c'est qu'une classe peut ne pas être représentée dans une zone, mais celle (classe) qui vient après quant à elle, est représentée. C'est le cas à Méguiden où les sols de cette région ne contiennent pas des teneurs en argile entre 30 % et 40 % mais contiennent des teneurs supérieures à 40 %.

D'une manière générale, les deux premières classes d'argile n'ont pas de préférence pour une catégorie d'horizons. Par contre, les trois dernières classes semblent préférer les horizons de profondeurs.

1.5. Spatialisation des taux d'argile (profil argileux)

Dans cette partie, on effectuera deux comparaisons. Il s'agit de comparer d'abord les taux d'argile au sein d'un même type d'horizon et ensuite, de comparer les trois types d'horizons par rapport à une même classe d'argile.

La spatialisation de (argile, calcaire, matière organique, gypse et CE) sera effectuée sur l'ensemble des données sans tenir compte de leurs zones d'études.

Les fréquences des classes d'argile sont représentées sur les figures 10 et 11.

Ainsi, il s'avère que les très faibles taux d'argiles (A1) sont les mieux représentés et semblent se distribuer uniformément dans les horizons du profil.

La fréquence de distribution des classes d'argile A2, A3, A4 et A5 est très faible, elle varie entre 6 % et 17 % toute classe confondue. En effet, plus de 50 % des horizons étudiés ne

sont pas argileux ou très faiblement argileux (A1) dépassant de loin les autres classes citées précédemment. On peut remarquer aussi que la structure des fréquences des horizons par

classes des taux d'argile est hétérogène. Ainsi, trois tendances de distribution des taux d'argile dans ces sols sont à considérer :

- Pour la teneur **A1**: $H2 > H1 > H3$.
- Pour les teneurs **A2, A3 et A4**: $H3 > H1 > H2$.
- Pour la teneur **A5**: $H2 > H3 > H1$.

Les très faibles taux d'argile (A1) et les faibles taux (A2) sont les plus fréquents dans les sols Sahariens, tandis que les forts et les très forts taux d'argile sont moins représentés, cela pourrait être dû à l'absence d'altération et donc absence de minéraux argileux dans les régions sahariennes (Pedro, 1984).

Tableau 13: Répartitions des teneurs en argile

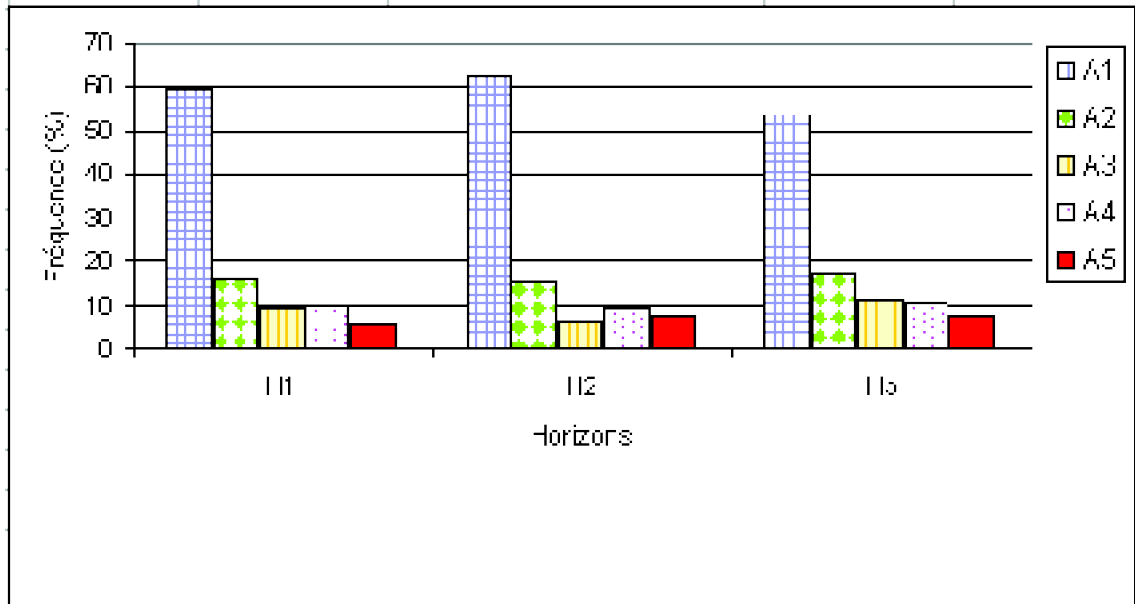


Figure 10: Fréquence des horizons par taux d'argile

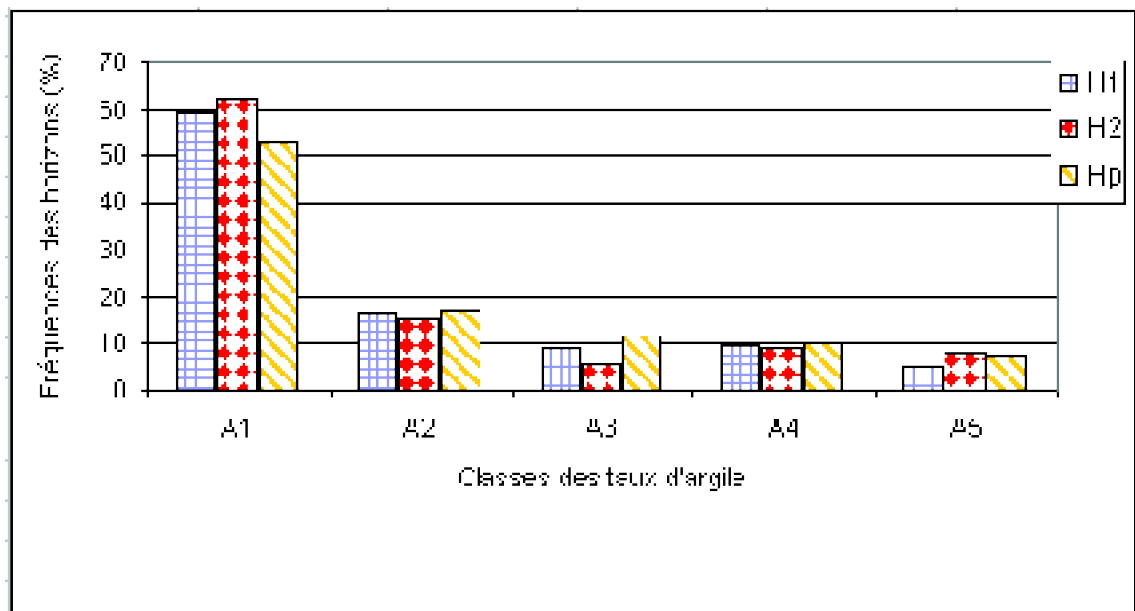


Figure 11: Fréquence des classes de taux d'argile par type d'horizon

2. Les taux de calcaire

Les paramètres statistiques de la variabilité spatiale du calcaire total pour les horizons de surface (H1), de sub-surface (H2) et de profondeur (H3) sont indiqués dans le tableau 1(annexe 2).

2.1. A l'échelle de la base de données (A l'échelle du Sahara)

Les résultats indiquent que le taux moyen en calcaire est homogène dans le profil. En effet, ce taux se situe entre 12 et 13 % quel que soit l'horizon considéré. Cette homogénéité de la distribution du carbonate de calcium dans le profil est confirmée par le test de comparaison des moyennes entre horizons, celle-ci ayant abouti à des différences non significatives quel que soit le couple d'horizons considéré (tableau 14).

Cependant, les écarts types qui avoisinent les 11 % et les forts coefficients de variation (80 % environ) suggèrent une très forte variabilité de ce paramètre dans l'espace pour les trois catégories d'horizons. Ce résultat est confirmé par l'étendue des valeurs qui varie entre des taux de CaCO_3 de 0 % à environ 36 et 60 et 70 % respectivement dans les horizons de surface, de sub-surface et de profondeur.

Tableau 14: *Comparaison des moyennes de la variable calcaire entre horizons de la banque.*

Ce résultat signifie que les sols sahariens sont diversement pourvus en carbonate de calcium en rapport probablement avec les conditions locales de la pédogenèse tel que le type de roche mère et le micro-relief. Même si les plus forts taux de calcaire se situent dans l'ordre $\text{H3} > \text{H2} > \text{H1}$ correspondant à 70, 60 et 36 %, ceci ne serait pas le fruit d'une lixiviation, les faibles précipitations étant incapables de dissoudre et de mobiliser ce paramètre.

2.2. Les taux de calcaire par zone

Tous les paramètres statistiques de la zone 1 sont analogues à ceux des données globales (banque) et ce quelle que soit la catégorie d'horizons considérée. Ce résultat permet donc d'avancer que le profil calcaire moyen des sols de cette zone est homogène (tableau 15) avec des taux qui avoisinent les 12 % dans les trois horizons (figure 12). De même, ces taux sont très variables dans l'espace.

Tableau 15 : *Comparaisons des moyennes du calcaire en zone 1*

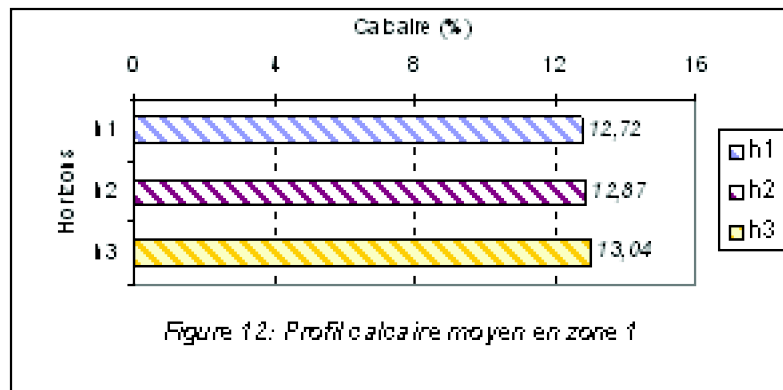


Figure 12 : profil calcaire moyen en zone 1

La zone 2 se distingue par rapport à la zone 1 par une légère augmentation des taux de calcaire du haut vers le bas du profil (figure 13) avec des différences statistiquement hautement significative entre le H1 et le H2 d'une part et entre le H1 et le H3 d'autre part (tableau 16).

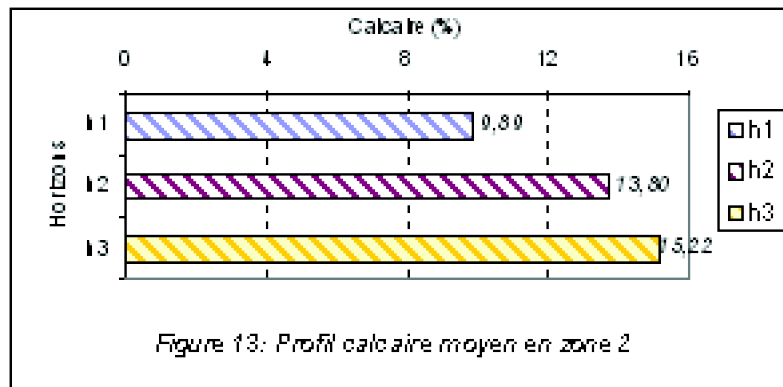


Figure 13 : profil calcaire moyen en zone 2

Tableau 16 : Comparaisons des moyennes du calcaire en zone 2

De même, il s'avère que 50 % des horizons de cette zone ont moins de 12 % de calcaire contre 30 % environ dans la zone 1. Il ressort aussi que les valeurs maximales de l'étendue sont nettement plus faibles dans la zone 2, en particulier pour H1 (19 %) et H2 (26 %) par rapport à la zone 1 (H1= 36 % ; H2=60 %). Ces résultats signifient que les sols de la zone 2 seraient moins calcaires que ceux de la zone 1. Il s'avère aussi que même si les CV% dans la zone 2 sont relativement bas par rapport à ceux de la zone 1, la variabilité spatiale du calcaire dans cette zone reste encore assez forte (CV% < 70 %).

Enfin, la comparaison des taux de calcaire entre les horizons de même catégorie des deux zones (tableau 17) indique que les différences ne sont pas statistiquement significatives et appartiendraient donc à la même population.

Tableau 17: Comparaison des taux de calcaire entre les horizons de même catégorie

Calcaire	H11 – H12	H21 – H22	H31 – H32
t	-1,70551	0,57183	1,59574
p	0,0887	0,56768	0,11096
Signification	N.S	N.S	N.S

2.3. Les taux de calcaire par région

L'analyse des tableaux 2-a jusqu'a 2-k et 3-a, 3-b et 3-c (annexe 2) fait ressortir les fait suivants :

- Selon la région considérée, les taux moyens de calcaire varient entre 2 et 28 % dans le profil. De même, à quelques unités près, les taux moyens de calcaire sont sensiblement les mêmes dans une même région. Ce résultat indique une très forte variabilité de ce paramètre entre régions et que quelle que soit la région considérée, le profil calcaire saharien reste toujours homogène. Ceci signifie en réalité l'absence d'une dynamique dans le sol du carbonate de calcium à cause probablement des faibles précipitations. De ce fait, on peut penser que le calcaire de ces sols proviendrait surtout de l'altération in situ des roches.
- A l'exception de quelques régions où le CV% est moyen (ex. Abadla et Aoulef) la majorité d'entre elles ont des CV% très forts pour les trois catégories d'horizons. Ceci dénote une forte hétérogénéité de ce paramètre même à l'échelle locale (région). Sauf exception, cette hétérogénéité décroît dans le sens H3 > H2 > H1.
- Les résultats indiquent aussi que les taux maximums et moyens du calcaire ne sont pas en relation entre eux. Par exemple, on peut trouver des maxima de l'ordre de 47 % correspondant à un taux moyen de 25 % de calcaire (Abadla) et des maxima de 70 % correspondant à un taux moyen de 8 % (Sbaa-sabit).
- Enfin, à l'exception d'Abadla où la médiane est assez forte (30 %), dans toutes les autres régions 50 % des horizons analysés ont des taux de calcaire inférieurs à 10 %. De ce fait, on peut penser que les sols sahariens sont dans leur globalité peu riches en carbonate de calcium.

Le coefficient de variation est lui aussi variable d'une région (étude) à une autre, on peut distinguer :

Une hétérogénéité modérée (CV < 30 %) qui peut concerner tout le profil (Abadla) ou simplement un ou deux horizons (Tezdaia).

Une hétérogénéité élevée (tableaux 2-c, 2-f, 2-i et 3-b (annexe 2)), néanmoins, elle peut être modérée dans un horizon donné (tableau 2-c (annexe 2)) ; où au contraire, extrêmement élevée (tableau 2-i (annexe 2)).

Le troisième cas est relatif aux études qui ont une très forte variation de données (tableaux 2-e, 2-g et 3-c (annexe 2)).

La comparaison des moyennes des horizons pris deux à deux montre que la différence est :

- Non significative pour la Saoura (tableau 2-e (annexe 2)).
- Significative entre H2 et H3 à Sbâa-Tsabit (tableau 2-g (annexe 2)).
- Hautement significative dans le profil de Zélfana (tableau 3-c (annexe 2)).

Tableau 18: Comparaison des moyennes de la variable calcaire entre horizons à Zélfana.

Le CV% est inférieur à 100 % dans la majorité des horizons, néanmoins, il est légèrement supérieur dans l'horizon de sub-surface de Saoura et atteint 140 % dans l'horizon de profondeur de Sbâa-Tsabit.

Ainsi, ces résultats indiquent que :

- Le profil calcaire est différent d'une région à une autre. Il est homogène dans les profils de la zone 1; il est descendant dans la zone 2.
- Les teneurs en calcaire sont hétérogènes aussi bien dans les horizons des profils de la zone 1 que dans ceux de la zone 2.
- La longitude et la latitude n'auraient pas une influence sur la distribution du calcaire dans les sols sahariens. La teneur moyenne est à un dixième près identique dans les profils des deux zones.
- le profil calcaire saharien est toujours homogène, ce qui se traduit par l'absence d'horizons d'accumulation calcaire.

2.4. Fréquence de distribution

Les taux de calcaire ont été subdivisés en cinq classes (**Lozet et Mathieu, 1990**).

Teneurs très faibles T1 ≤ 2 %

Teneurs faibles 2 % < T2 ≤ 10 %

Teneurs moyenne 10 % < T3 ≤ 25 %

Teneurs fortes 25 % < T4 ≤ 50 %

Teneurs très fortes T5 > 50 %

L'observation du tableau 19 indique que dans au moins un de leurs horizons, les sols étudiés sont moyennement à faiblement calcaires (T2 (358 profils) > T3 (285 profils) > T1(172 profils) > T4 (169 profils) > T5 (6 profils)).

Les trois premières classes se répartissent dans tout le profil, à des fréquences différentes, dans toutes les études.

Le tableau 19 montre aussi que toutes les zones contiennent au minimum une classe de calcaire dans au moins un horizon du profil.

Les sols de Ait Messaoud, Aoulef, Méguiden et Tousdit sont faiblement calcaires et contiennent des teneurs en calcaire inférieures à 10 % (T1 et T2).

2.5. Spatialisation des classes de calcaire (profil calcaire)

Les figures 14 et 15 montrent que :

Les faibles teneurs en calcaire (T2) sont les plus représentées dans les trois horizons du profil.

La répartition des teneurs moyennes (T3) et des fortes teneurs (T4) est plus au moins homogène dans le profil.

Les très fortes teneurs (T5) sont presque absentes des profils des sols du Sahara d'Algérie. En effet, par rapport à l'ensemble des horizons étudiés, cette classe ne concerne que 0.75 % d'horizons de sub-surface et 0.65 % horizons de profondeur. Elle est absente totalement de l'horizon de surface.

La structure des fréquences (figure 14) des différentes classes de calcaire est identique pour les trois horizons du profil avec par ordre décroissant $T2 > T3 > T4 > T1 > T5$.

Les sols du sud algérien sont donc moyennement à faiblement calcaires.

La distribution des classes de calcaire dans le Sahara algérien est de type:

T1, T4 : $H3 > H1 > H2$.

T2 : $H1 = H2 > H3$.

T3, T5 : $H2 > H3 > H1$.

La distribution des teneurs est différente entre horizons, à cause probablement des conditions locales d'accumulation dans ces zones, en particulier la roche mère.

En plus, les horizons d'accumulation peuvent, à partir d'un milieu d'accueil qui est souvent peu ou non calcaire, atteindre des teneurs en carbonate de calcium très élevées, et ceci sans modification de volumes : ceci implique des phénomènes de remplacement iso-volume, c'est à dire d'une épigénie (**Ruellan, 1984**).

L'accumulation pédologique du calcaire est donc un puissant mécanisme d'altération : elle transforme et remplace toutes les roches.

Moyennant la même démarche, nous verrons, dans la partie suivante la distribution et le comportement du gypse qui est un sel nettement plus soluble que le calcaire.

Tableau 19: Répartitions des teneurs en calcaire

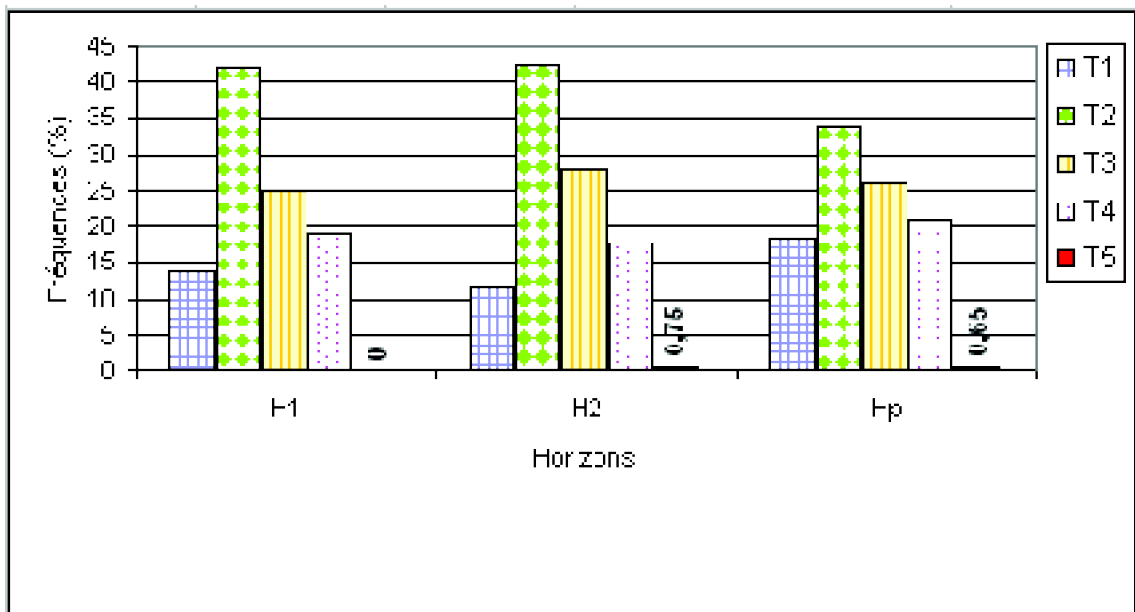


Figure 14: Fréquence des taux de calcaire par catégorie d'horizon

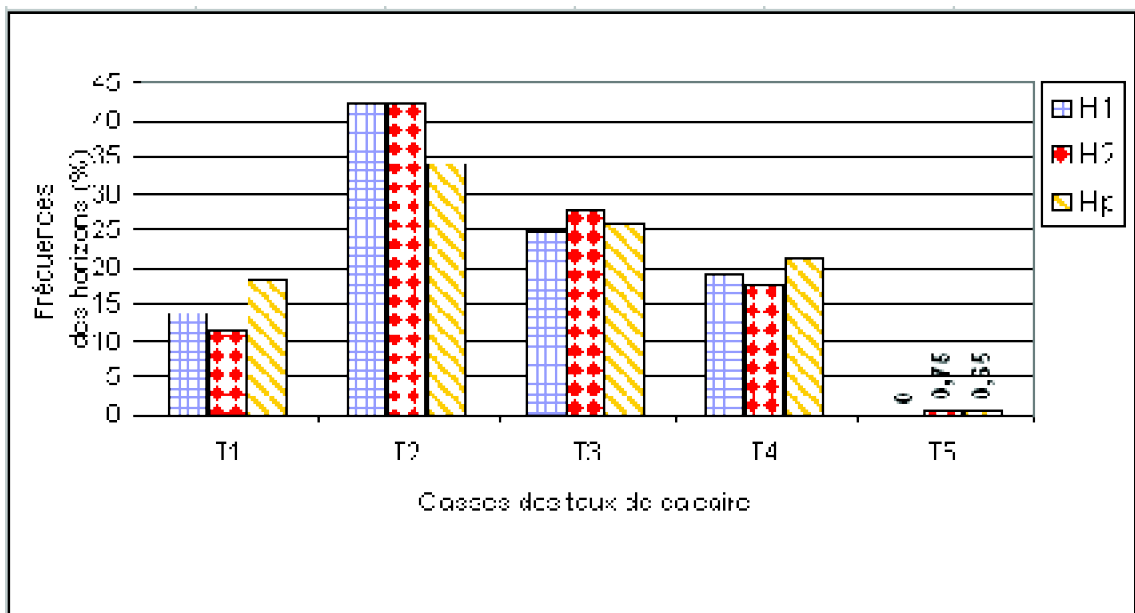


Figure 15: Fréquence des classes de taux de calcaire par type d'horizon

3. Les taux de gypse

A l'échelle du globe terrestre, la surface des sols gypseux est estimée à plus de 850.000 Km² (F.A.O., 1990). Elle se confine généralement dans les déserts chauds ayant une moyenne de précipitation annuelle inférieure à 250 mm (Watson, 1985; Djili et al., 2003).

Les formations gypseuses sont couramment rencontrées dans les régions arides du Maghreb (Durand, 1954). En Algérie, les sols gypseux occupent 7966.3 Km² (F.A.O., 1990) soit 3.3 % de la surface du pays et 12.2 % de la surface totale des sols gypseux du monde. Ces formations sont courantes dans les zones désertiques arides d'Algérie

comme à Adrar, Timimoun, Touggourt, El Golea et Oued Souf par exemple où les accumulations gypseuses sont très diversifiées (croûte, encroûtement, dalle, ...etc.).

3.1. A l'échelle de la base de données (A l'échelle du Sahara)

Les statistiques (tableau 1 (annexe 2)) indiquent que le profil moyen des sols sahariens est peu gypseux et légèrement ascendant. En effet, les teneurs en gypse varient entre 7 % en surface et 4,5 % en profondeur en passant par 5 % environ dans la partie médiane du profil. Les faibles taux de gypse sont confirmés par la médiane qui indique que plus de 50 % des horizons étudiés, toutes catégories confondues, contiennent moins de 3 % de gypse.

Le tableau 1(annexe 2) indique aussi que ce paramètre est très variable dans l'espace ($CV\% > 100$) aussi bien en surface et sub-surface qu'en profondeur du profil, les valeurs extrêmes varient entre moins de 1 % et 80 % environ de gypse dans le profil. De ce fait, même si les accumulations gypseuses sont courantes dans les milieux arides, elles ne sont pas intimement liées au Sahara et ont tendance à s'exprimer surtout dans un domaine pluviométrique bien précis (autour de 250 mm) (Djili, 2000). Ainsi, les sols sahariens peuvent être complètement dépourvus en cet élément comme ils peuvent en contenir des quantités considérables.

3.2. Les taux de gypse par zone

Les paramètres statistiques du gypse de la zone 1 sont semblables à ceux de la base de données. Ce résultat s'explique par le fait que le nombre d'horizons gypseux de la zone 1 représente 81 % de l'effectif des horizons de la même variable dans la base de données.

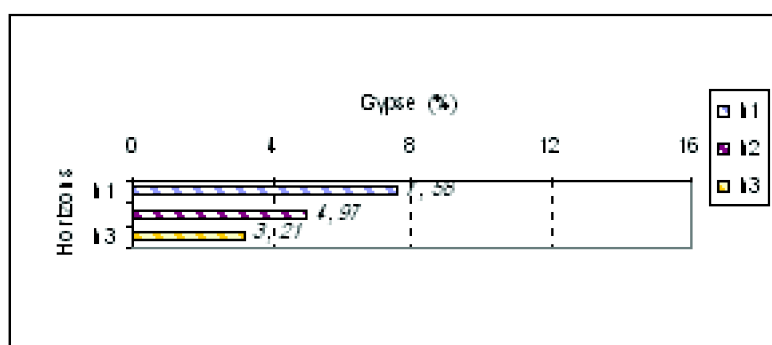


figure 16: Profil gypseux moyen en zone1

En revanche, la zone 2 diffère sensiblement de la zone 1. En effet, le profil gypseux est franchement descendant avec des taux de gypse qui se situent entre 3,6 % en surface et 14,6 % en profondeur en passant par des taux de 7,6 % dans la partie médiane du profil avec une différence hautement significative entre H1 et H3 (tableau 20).

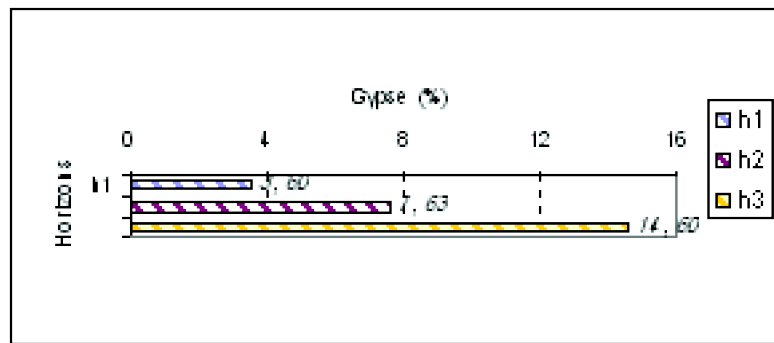


figure 17: Profil gypseux moyen en zone 2

La comparaison des données moyennes (tableau 3 (annexe 2)) de cette variable entre les horizons du profil de la zone 2 indique une différence significative. Le gypse est hétérogène dans les profils. Par contre cela n'est valable statistiquement qu'entre l'horizon de surface et celui de profondeur (tableau 20).

Tableau 20: Comparaison des moyennes du gypse en zone 2

L'écart type de la variable gypse en zone 2 varie de 3 % en surface à 19 % dans l'horizon de profondeur. Le premier horizon est caractérisé par une faible variation des teneurs en gypse. Celle-ci est par contre forte dans les deux autres horizons.

L'autre fait marquant la différence entre les deux zones est relatif aux valeurs maximales du gypse dans les horizons, en particulier dans les horizons de surface. Ainsi, ces valeurs qui sont égales à 84, 55 et 75 % de gypse respectivement dans les horizons H1, H2 et H3 sont égales pour les mêmes horizons à 11, 46 et 58 % en zone 2. Toutefois, les taux de gypse restent très hétérogènes dans l'espace dans les deux zones (CV% > 100).

En se référant à ce résultat, on pourra conclure qu'il y a une différence dans la distribution du gypse dans les sols sahariens d'Algérie.

La différence entre les horizons de même catégorie de la zone 1 et de la zone 2 est statistiquement non significative entre les horizons de surface et entre les horizons de sub-surface. La différence des moyennes entre les horizons de profondeurs (H31 – H32) est par contre très hautement significative pour la variable gypse.

Tableau 21 : Comparaison des taux de gypse entre les horizons de même catégorie

Gypse	H11 – H12	H21 – H22	H31 – H32
t	-1,87172	1,74825	8,8118
p	0,0621	0,08125	1,83865E-17
signification	N.S	N.S	T.H.S

De cette analyse, il ressort que :

- Les profils gypseux sont hétérogènes aussi bien dans la zone 1 que la zone 2. La différence des moyennes est non significative entre les couples d'horizons mitoyens.

- La zone 2 semble être plus gypseuse en moyenne (8.6 %) que la zone 1 (5.2 %).
- Le profil de distribution de ces zones est tout à fait contraire. Il est ascendant en zone 1, par contre, il est descendant en zone 2.
- L'hétérogénéité du gypse dans les horizons des profils est d'une manière générale identique entre les deux zones, elle est extrêmement élevée. Ce résultat suggère que les conditions locales de la pédogenèse sont différentes au niveau de chaque profil.
- La comparaison des moyennes de la variable gypse pour les horizons de même catégorie, montre que la différence se situe au niveau des horizons de profondeur qui sont gypseux en zone 2 et à un degré moindre en zone 1 ; les deux autres horizons (surface et sub-surface) présentent de faibles taux de gypse comparables dans les deux zones (< 10 % de gypse).

3.3. Les taux de gypse par région

Avec une étendue allant de 0 % à 83 %, les taux moyens de gypse varient d'une région à l'autre de moins de 1 % à 18 %. Cela veut dire que les teneurs en gypse sont variables entre les régions et au sein même de la région. De ce fait, les sols peuvent être non gypseux, peu gypseux ou très gypseux.

Les résultats (tableaux 2-b, 2-d, 2-h et 3-a (annexe 2)) montrent que la plus grande variation des taux de gypse s'observe dans l'horizon de profondeur, cela coïncide bien avec les résultats des coefficients de variation.

Etant donné que les CV% de ces études sont tous supérieurs à 100 %, on peut conclure que les teneurs en gypse de ces sols sont extrêmement hétérogènes. Néanmoins, celles-ci sont moindres dans le premier horizon de certaines régions (tableaux 2-f, 2-h et 3-a (annexe 2)).

D'un autre côté, l'écart type de cette variable nous amène à dire qu'il n'y a pas de variabilité entre les données de Saoura (tableau 2-e (annexe 2)), aussi, certains horizons, dans d'autres études (tableau 3-a (annexe 2)) présentent la même variabilité.

3.4. Fréquence de distribution

Pour des besoins de spatialisation, **Gibb et al. (1981)** in **F.A.O. (1990)**, en étudiant les sols du bassin de la rivière de l'Euphrate en Syrie et en Irak, distinguent trois classes de sols gypseux. **Berzandji (1973)** in **Abdesselam (1998)** distingue cinq classes de sols gypseux selon le pourcentage de gypse.

Pour appréhender, la variabilité du gypse d'une succession verticale d'horizons, on retiendra le découpage établi par **Djili (2000)**.

- Teneurs très faibles $G1 \leq 5 \%$
- Teneurs faibles $5 \% < G2 \leq 15 \%$
- Teneurs moyenne $15 \% < G3 \leq 25 \%$
- Teneurs fortes $25 \% < G4 \leq 50 \%$

- Teneurs très fortes G5 > 50 %

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 22.

Il ressort de ce tableau que quelques régions (Aoulef, M'rara) ne sont pas gypseuses et d'autres (Abadla, Tousdit) ont des teneurs très faibles en gypse (G1).

En revanche, les sols de Touat-Gourara, Sbâa, M'guébra et Zélfana présentent de très fortes teneurs en gypse (G5). La zone de Ait Messaoud par contre, est légèrement moins gypseuse (G4) que les précédentes.

D'une façon plus générale, 58 % des profils contiennent une très faible teneur en gypse

(≤ 5 %), 23 % des profils sont faiblement gypseux et seulement 19 % sont moyennement à très fortement gypseux.

3.5. Spatialisation des classes de gypse (profil gypseux)

La Structure des fréquences des différentes classe de gypse (figures 18 et 19) est identique dans les trois horizons du profil avec par ordre décroissant $G1 > G2 > G3 > G4 > G5$.

Les résultats obtenus montrent également que les sols du Sahara sont très faiblement à faiblement gypseux à hauteur respectivement de 70 % et 16 %. Les classes G3, G4 et G5 ne sont présentes qu'à hauteur de 4 % en moyenne.

La figure 19 fait ressortir trois distributions distinctes :

- **G1** : $H3 > H2 > H1$.
- **G2, G3 et G4** : $H1 > H2 > H3$.
- La distribution de **G5** est $H3 > H1 > H2$.

La première et la troisième distribution sont d'une manière générale identique. Néanmoins, la première serait peut-être due au fait que la nappe est profonde et donc la remontée capillaire n'atteint pas les horizons de surface même avec une évapotranspiration intense, la précipitation du gypse serait alors au niveau de la frange capillaire. Cette hauteur d'ascension capillaire est de 40cm dans des sols graveleux ou sableux (**Keen, 1928 in Duchaufour, 1965**).

Ce résultat est tout à fait concordant avec les travaux de **Pouget (1968)** sur les sols de la Tunisie présaharienne, il a montré que le dépôt de gypse se fait par concentration des solutions au niveau de la frange capillaire de la nappe où l'activité des racines est maximale. Le dégagement de CO_2 provoqué par la respiration du système racinaire favorise la précipitation du gypse.

La seconde distribution serait due au fait que le mouvement de la nappe «Per ascensum» domine le mouvement «Per descensum» dans les régions arides (**Jafarzadeh et Burnham, 1992**).

La troisième distribution qui est d'ailleurs faiblement représentée, ne pourrait être due qu'aux conditions locales de la station.

Tableau 22: Répartitions des teneurs en gypse

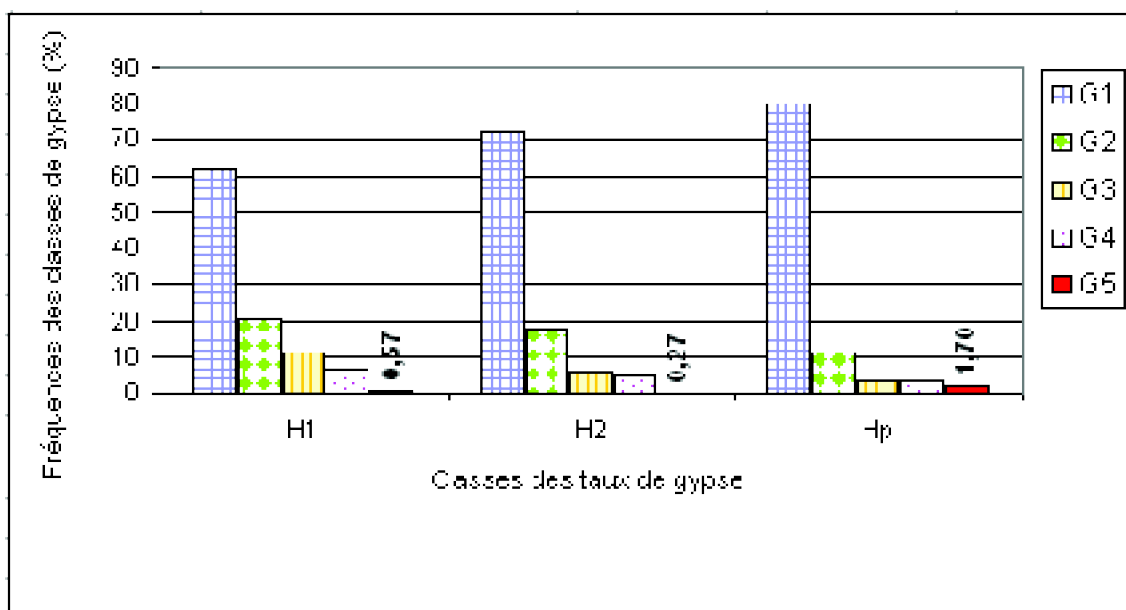


Figure 18: Fréquence des taux de gypse par catégorie d'horizon

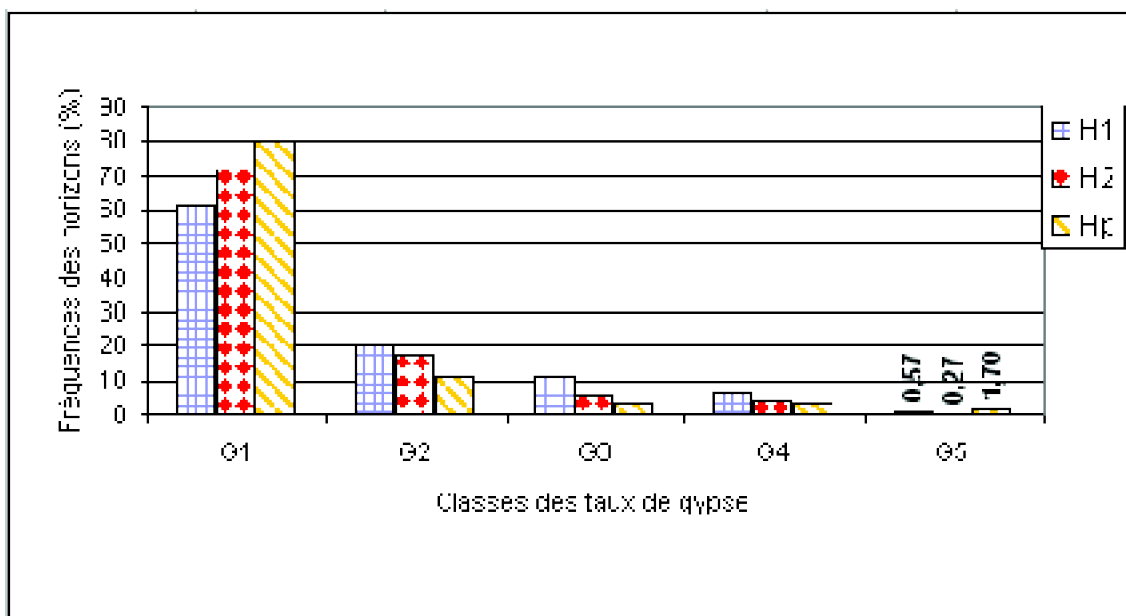


Figure 19: Fréquence des classes de taux de gypse par type d'horizon

4. La matière organique

La matière organique joue un rôle important dans la fertilité chimique et physique des sols et son effet sur le rendement des cultures est connu depuis longtemps (Duchaufour, 1979 ; Chamayou et Legros, 1989 ; Derdour et al., 1993 ; Balesdent, 1997).

A l'échelle de la base de données (A l'échelle du Sahara)

Les calculs révèlent que les sols sahariens sont très pauvres en MO (tableau 1 (annexe 2)). En effet, le profil moyen renferme moins de 0,5 % de MO en surface et moins de 0,2 % dans les horizons de sub-surface et de profondeur.

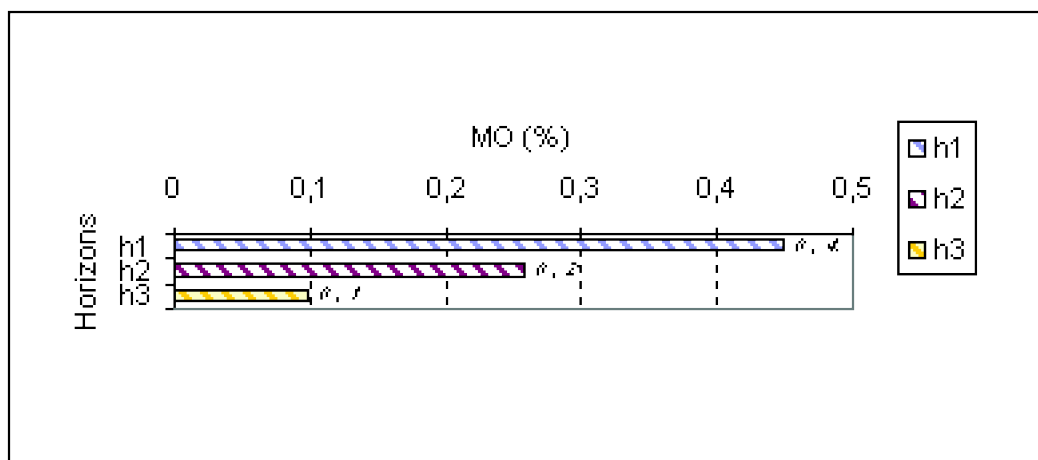


Figure 20: Profil organique moyen de la banque

Cette situation est liée au fait que la végétation, principal pourvoyeur de MO des sols, est rare et parfois inexistante dans ce milieu. Cependant, dans certains cas, ces sols deviennent relativement riches en MO et peuvent présenter des teneurs qui avoisinent les 2 % dans les horizons de surface et de sub-surface et 1,5 % dans les horizons de profondeur. Le tableau 1 (annexe 2) révèle aussi que 50 % des horizons étudiés, toutes catégories, confondus n'ont que des traces de MO dans leurs échantillons ($MO \% < 0,2$ %) ce qui traduit la pauvreté des sols sahariens en cet élément.

Malgré son étendue très réduite (0 à 2 %), la MO est très variable dans l'espace

($CV\% > 100$) ce qui suggère un effet significatif des facteurs locaux de la pédogenèse (végétation et relief).

4.2. Les taux de M.O par zone

Le tableau 2 (annexe 2) montre que les indicateurs statistiques de la MO dans la zone 1 sont analogues à ceux de la banque entière. De ce fait, les mêmes conclusions s'imposent.

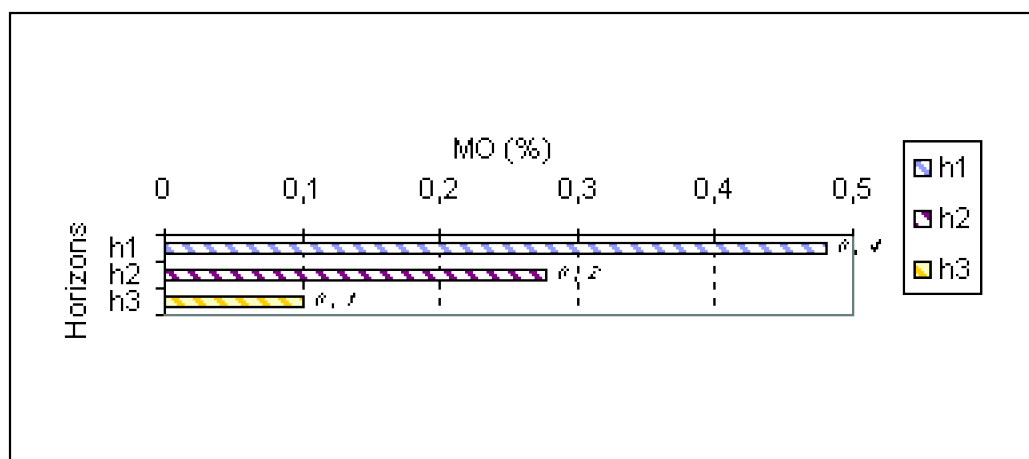


Figure 21: Profil organique moyen de la zone 1

En ce qui concerne la zone 2 (tableau 3 (annexe 2)), les résultats montrent que ses sols sont nettement moins organiques que ceux de la zone 1. En effet, la MO dans cette zone se trouve à l'état de traces, ses plus forts taux dans le sol ne dépassant pas 0,3 %. Ce paramètre, comme dans la zone 1 est très variable dans l'espace (CV% > 50).

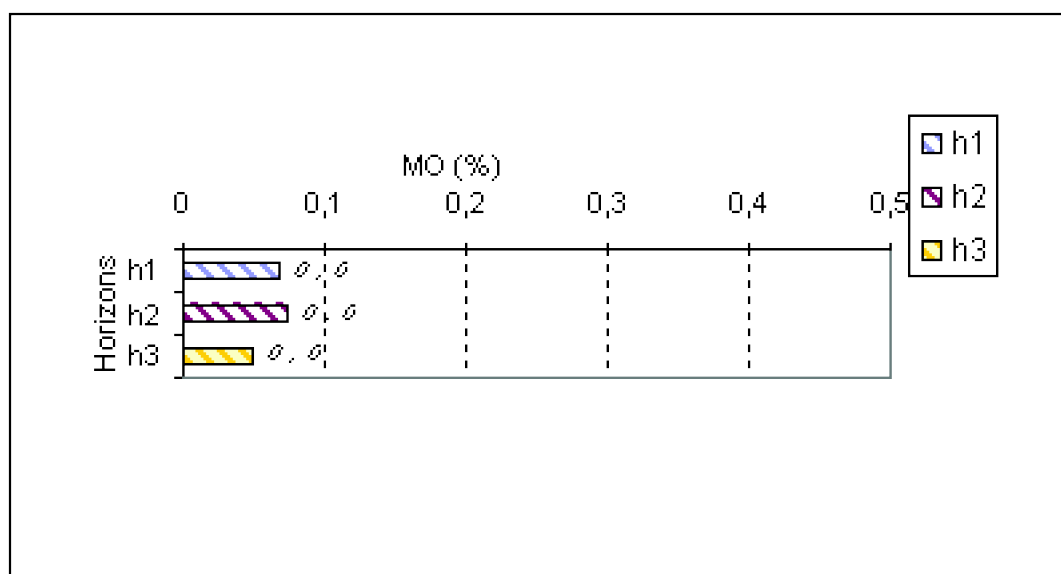


Figure 22: Profil organique moyen de la zone 2

La comparaison des moyennes des teneurs en M.O entre les horizons de même catégorie (tableau 23) des zones 1 et 2 montre des différences hautement significatives entre les horizons de surface, significatives entre horizons de sub-surface et non significatives entre horizons de profondeur.

Tableau 23: Comparaison des taux de matière organique entre les horizons de même catégorie

M.O	H11 – H12	H21 – H22	H31 – H32
t	-3,12351	-2,05431	-1,15485
p	0,00204	0,04148	0,24981
signification	H.S	S	N.S

Ce résultat signifie que les sols de ces deux régions n'ont pas le même comportement organique.

4.3. Les taux de M.O par région

Avec un taux moyen qui gravite autour de 1 % de MO, les sols d'Abadla sont les mieux pourvus en cet élément et ce à cause probablement de conditions favorables au développement de la végétation. Toutes les autres régions étudiées ne présentent que des traces de MO dans leurs sols. De même, il s'avère que la variabilité de ce paramètre est partout forte. Cependant, les très faibles valeurs des taux de MO ne permettent pas d'aboutir à des conclusions précises sur le profil organique.

Toutes les régions présentent plus au moins les mêmes teneurs moyennes en MO, sa distribution dans le profil en est parfois la seule différence. Néanmoins, l'étendue de ce descripteur est variable entre horizons d'une région et entre régions. La plus élevée est celle d'Abadla.

4.4. Fréquence de distribution

Dans le souci d'une éventuelle comparaison entre les classes de teneurs en matière organique entre le sud et le nord d'Algérie, on a jugé utile de garder les mêmes classes de MO telles que définies par **Djili (2000)**. Les taux de matière organique ont été divisés en cinq classes :

La classe des teneurs très faibles M1 : $MO \leq 1 \%$

La classe des teneurs faibles M2 : $1 \% < MO \leq 2 \%$

La classe des teneurs moyennes M3 : $2 \% < MO \leq 3 \%$

La classe des teneurs fortes M4 : $3 \% < MO \leq 4 \%$

La classe des teneurs très fortes M5 : $MO > 4 \%$

Cependant, la teneur en matière organique des sols que nous étudions est inférieure à 2 %. Il ne sera étudié de ce fait que la distribution des deux premières classes.

L'étude du tableau 24 indique que la presque totalité des zones étudiées, soit 73 % des régions contiennent moins de 1 % de matière organique, et 26 % des études ne contiennent pas de matière organique dans leurs profils.

Par contre, certaines d'entre elles (Méguiden et Zousfana) contiennent entre 0 % et 1 % de matière organique dans au moins un (01) horizon du profil. La région d'Abadla est la seule qui contient plus de 1 % de matière organique dans ses sols et un (01) profil seulement appartient à cette classe de teneur à Zousfana.

4.5. Distribution de la matière organique dans les sols (profil de MO)

L'observation des histogrammes de fréquence (figures 23 et 24) indique que

la première classe (M1) est presque distribuée uniformément dans le profil avec une légère préférence pour l'horizon de profondeur (98 %) et de sub-surface (92 %) alors que

la part de M1 dans l'horizon de surface est de 82 %.

Inversement à la première, la deuxième classe (M2) est bien représentée d'abord dans

l'horizon de surface, l'horizon de sub-surface et enfin dans celui de profondeur ; leurs fréquences de distribution sont nettement inférieures à celles de la première classe (M1).

De ce qui précède, il ressort que les sols sahariens ne contiennent presque pas de matière organique (environ 90 % de M1).

Tableau 24: Répartitions des teneurs en MO

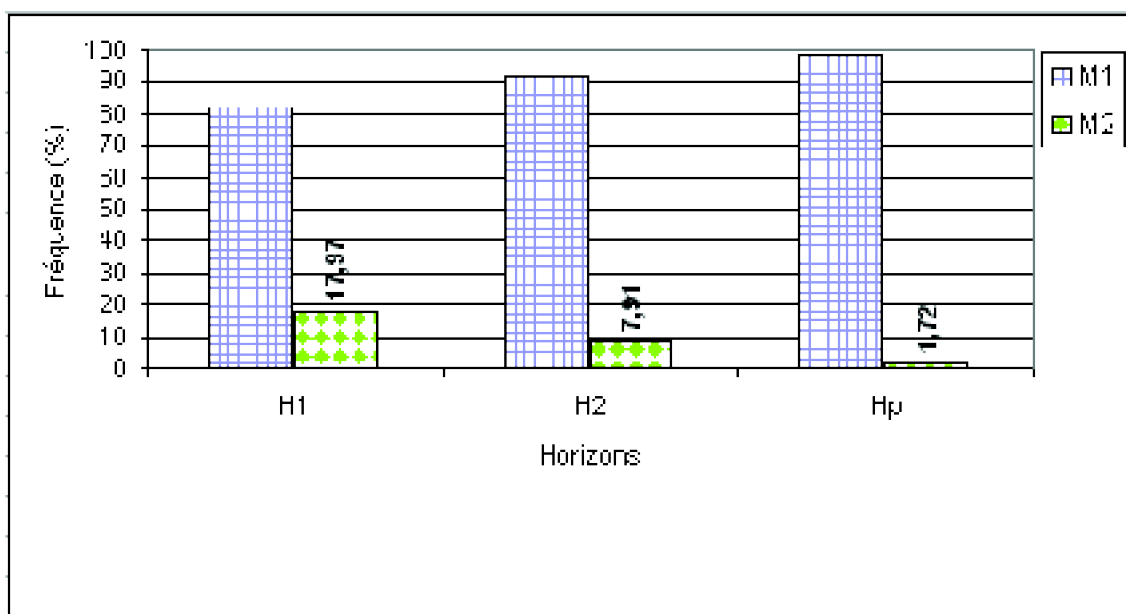


Figure 23: Fréquence des horizons par classe de matière organique

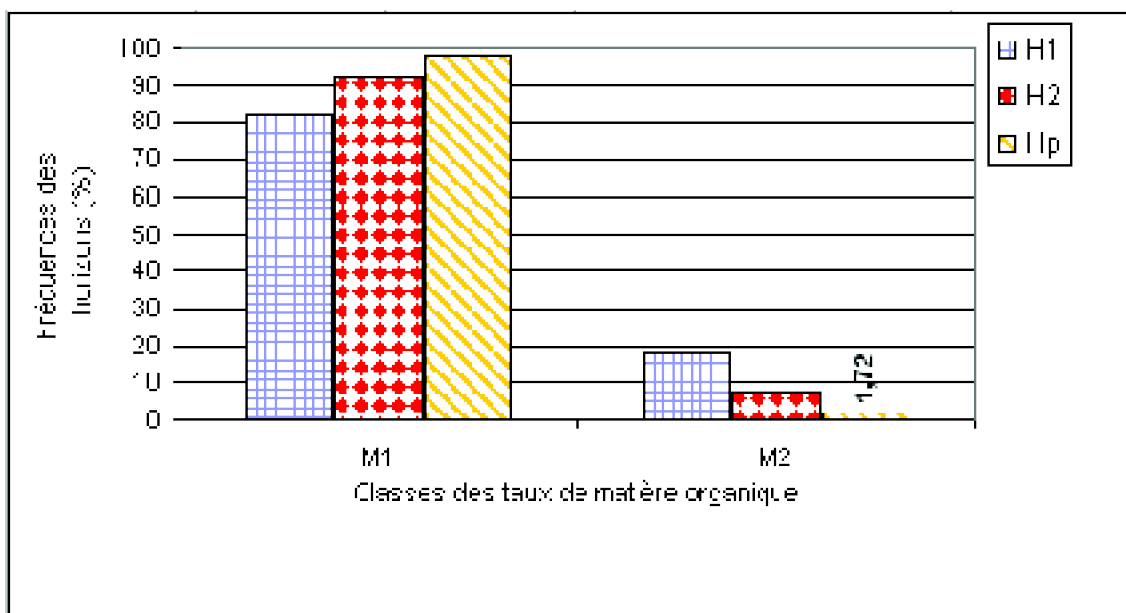


Figure 24: Fréquence des classes de taux de matière organique par type d'horizon

5. La Conductivité électrique (CE)

On retrouve les sols halomorphes dans les terrains sédimentaires riches en sels, en particulier ceux du trias et du crétacé qui sont salins et gypseux. On parle généralement des zones basses et endoréiques où l'évaporation intense conduit à la formation d'encroûtements gypso-salins, gypseux ou gypso-calcaires. Les problèmes de salinité sont liés dans la plupart des cas à la teneur en sels dissous dans l'eau d'irrigation (**Hadid, 1992**).

L'origine des sels solubles dans les sols est très variée.

L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, sous l'influence des conditions naturelles, donne des sels souvent solubles en particulier des carbonates, des bicarbonates et parfois des silicates. Lorsque la roche est gypso-salifère, ce sont les sulfates et les chlorures qui sont libérés.

Le sol est considéré salé lorsque la conductivité électrique est supérieure à 4 dS/m à 25 °c (**Bouteyre, 1968 in Durand, 1983**).

La présence d'une source de sel, le fort pouvoir évaporant et la faible profondeur de la nappe sont les causes de la salisation des sols.

5.1. A l'échelle de la base de données (A l'échelle du Sahara)

Les valeurs de la CE (tableau 1 (annexe 2)) indiquent que le profil moyen saharien est salé. En effet, le profil salin est ascendant avec des valeurs de la CE qui passent de 11 dS/m en profondeur à 15 dS/m dans la partie médiane du profil pour atteindre une valeur de 22 dS/m en surface. Les calculs (tableau 1 (annexe 2)) montrent que les différences des moyennes des horizons prises deux à deux sont toutes statistiquement très hautement significatives. Ce phénomène serait lié à la très forte évapotranspiration en milieu saharien et qui engendre une forte remontée capillaire et donc des sels solubles (**Durand, 1983; Hadid, 1992**).

Tableau 25: Comparaison des moyennes de la CE dans la banque

Cependant, il ne faut pas que la forte salinité du profil moyen masque la faible salinité d'une grande partie des sols étudiés. En effet, le calcul de la médiane suggère que 50 % des horizons étudiés aient une CE inférieure à 13, 9 et 6 dS/m respectivement dans les horizons de surface, sub-surface et de profondeur. De même, les valeurs de l'étendue (0,3 à 195 dS/m) signifie que les sols sahariens peuvent être aussi bien non salés qu'extrêmement salés. Ainsi donc, la salinité est un caractère très variable en milieu saharien, phénomène confirmé par un coefficient de variation extrêmement fort (CV% > 100 %).

On peut donc conclure sur le fait que la tendance centrale des sols sahariens tend vers un profil salin ascendant pourvu d'une forte salinité. Cependant, la moitié des sols étudiés sont moyennement à faiblement salés.

5.2. Les CE par zone

Les paramètres statistiques de la zone 1 (tableau 2 (annexe 2)) sont analogues à ceux de la base de donnée. Nous tirons donc les mêmes conclusions.

Le tableau 2 (annexe 2) montre que les moyennes de la CE dans les horizons des profils sont très différentes, avec une salinisation importante de l'horizon de surface. Le profil salin est du type ascendant.

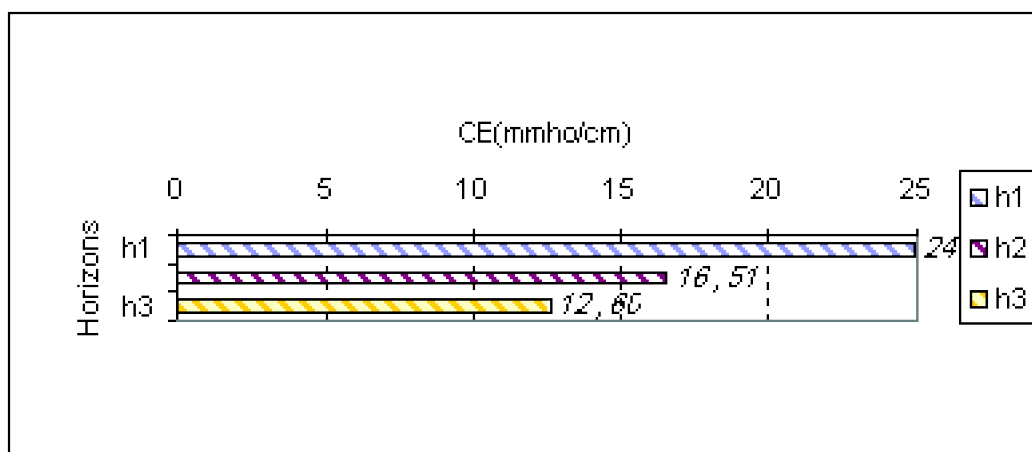


Figure 25: Profil salin moyen en zone 1

Par contre, la moyenne de la conductivité électrique dans la deuxième zone a pour bornes 6 dS/m et 8 dS/m (figure 26). Elle est de ce fait nettement moins salée que la zone 1. Le profil de distribution de cette zone est légèrement concave mais reste homogène.

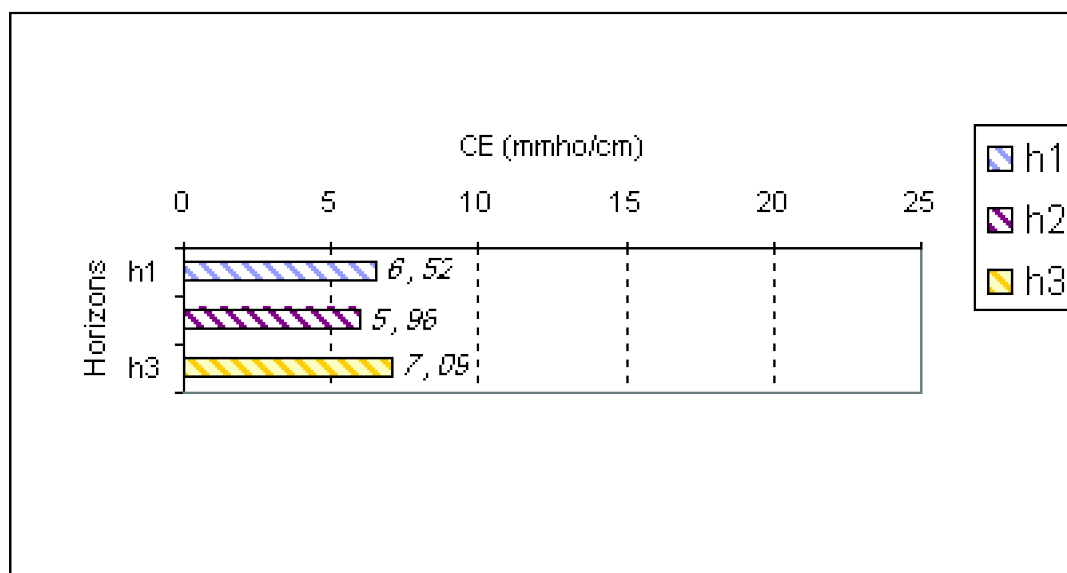


Figure 26: Profil salin moyen en zone 2

Les fortes valeurs du coefficient de variation ($CV\% > 100\%$) témoignent de la forte variabilité de ce paramètre.

La comparaison des moyennes de la CE entre les horizons de même catégorie

(tableau 26) montre que, quelque soit la position de l'horizon dans le profil, la différence des moyennes est toujours très hautement significative.

Tableau 26: Comparaison des CE entre les horizons de même catégorie

CE	H11 – H12	H21 – H22	H31 – H32
t	-5,52675	-5,17748	-4,33326
p	5,06691E-8	3,14982E-7	1,65267E-5
signification	T.H.S	T.H.S	T.H.S

Au terme de ces résultats, on peut donc avancer ce qui suit :

Contrairement à la zone 2 où la CE est homogène dans l'ensemble du profil (figure 26), la conductivité électrique n'est pas homogène dans les profils de la zone 1 (figure 25).

Le profil salin est du type ascendant en zone1, il présente simplement une légère concavité dans les profils de la zone 2.

Les sols sont plus salés en zone 1, qu'en zone 2 (6.5 dS/m en moyenne).

Les résultats obtenus font aussi ressortir une double variabilité spatiale intra et inter région.

5.3. -Les CE par région

Les tableaux 2-a jusqu'à 2-k et 3-a, 3-b et 3-c (annexe 2) montrent que seule Tézdaia (tableau 2-h (annexe 2)) suivie de Zélfana (tableau 3-c (annexe 2)) présentent un écart-type < 10 dS/m; le reste présente une variabilité importante au sein des horizons. Le CV% suggère une hétérogénéité modérée pour le premier et le troisième horizon de Tézdaia.

De même pour les autres régions l'hétérogénéité de la conductivité électrique est très élevée à extrêmement élevée quelque soit l'horizon considéré.

La conductivité électrique varie en moyenne de 1 dS/m à 48 dS/m en surface, de 1 dS/m à 26 dS/m en sub-surface et de 5 dS/m à 24 dS/m en profondeur. Ce résultat, montre que la salinité affecte les horizons des sols des régions considérées différemment mais avec une préférence pour l'horizon de surface dans 50 % de cas.

La comparaison des moyennes de la conductivité électrique entre les couples d'horizons pris deux à deux indique :

Une homogénéité des profils de Saoura, Tousdit, Zousfana et ceux de M'guébra et M'rara de la zone 2 (tableaux 2-e, 2-j, 2-k et 3-a, 3-b (annexe 2)).

A Méguiden et Zélfana (zone 2): la différence des moyennes est non significative pour les couples mitoyens, elle est significative pour l'autre couple.

Le troisième cas de cette comparaison, indique une différence hautement à très hautement significative entre les couples d'horizons (tableaux 2-a, 2-b, 2-c, 2-f,

2-g, 2-h, 2-i (annexe 2)).

5.4. Fréquence de distribution

On a retenu les classes de CE établies par **Durand (1983)** sur extrait de patte saturée à 25 °C.

- Non salin $C1 \leq 2$ dS/m
- Légèrement salin $2 \text{ dS/m} < C2 \leq 4$ dS/m
- Salin $4 \text{ dS/m} < C3 \leq 8$ dS/m
- Très salin $8 \text{ dS/m} < C4 \leq 16$ dS/m
- Extrêmement salin $C5 > 16$ dS/m

L'inventaire détaillé des différents horizons pour toutes les études représentées dans le tableau 27 fait apparaître que :

Toutes les zones étudiées sont salées.

La classe des très fortes valeurs de la CE (C5) est la plus dominante (373 profils concernés), suivi de deux autres classes, qui sont d'une manière générale équitablement réparties : C3 (245 profils), C4 (236 profils), puis viennent les classes C2 et C1 avec respectivement, 212 profils et 179 profils.

Les sols de ces régions sont donc tous très salés à extrêmement salés.

5.5. Spatialisation des classes de CE (profil salin)

Les figures 27 et 28 montrent que la structure des différentes classes de CE est différente, voir même opposée entre l'horizon de surface d'un côté et entre les horizons de sub-surface et de profondeur de l'autre côté. Autrement dit, il y a une diminution des fréquences des classes de conductivité électrique de C1 vers C4 dans l'horizon de surface. Cet ordre est presque inversé dans les horizons de sub-surface et de profondeur.

Toutes les classes de CE semblent se distribuer uniformément dans le profil (environ 15 % chacune). Néanmoins la classe des très fortes teneurs en sel (C5) est la mieux représentée (35 %) et a tendance à occuper les horizons de surface.

La fréquence de distribution des différentes classes est par ordre décroissant de type $C5 > C3 > C4 > C2 > C1$.

La distribution des classes de CE dans les profils, quant à elle, donne quatre tendances :

- **C1**: $H1 > H3 > H2$
- **C2** : $H3 > H1 > H2$
- **C3, C4** : $H3 > H2 > H1$
- **C5** : $H1 > H2 > H3$

Les concentrations maximales en sels solubles (C5) sont localisées dans les horizons de surface. Ces sols présenteraient une nappe salée proche de la surface, l'évaporation

provoquerait des remontés capillaires par conséquent une concentration maximale de sels en surface.

On peut supposer que les profils salins présenteraient des allures différentes selon que la nappe est profonde ou proche de la surface.

Tableau 27: Répartitions des valeurs de CE

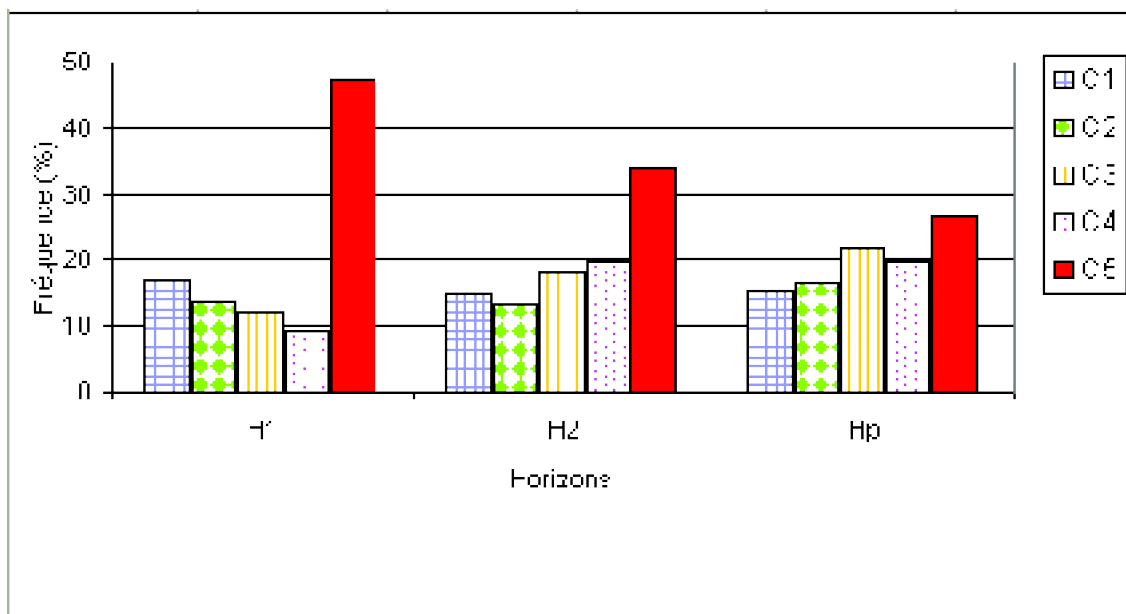


Figure 27: Fréquence des horizons par classes de CE

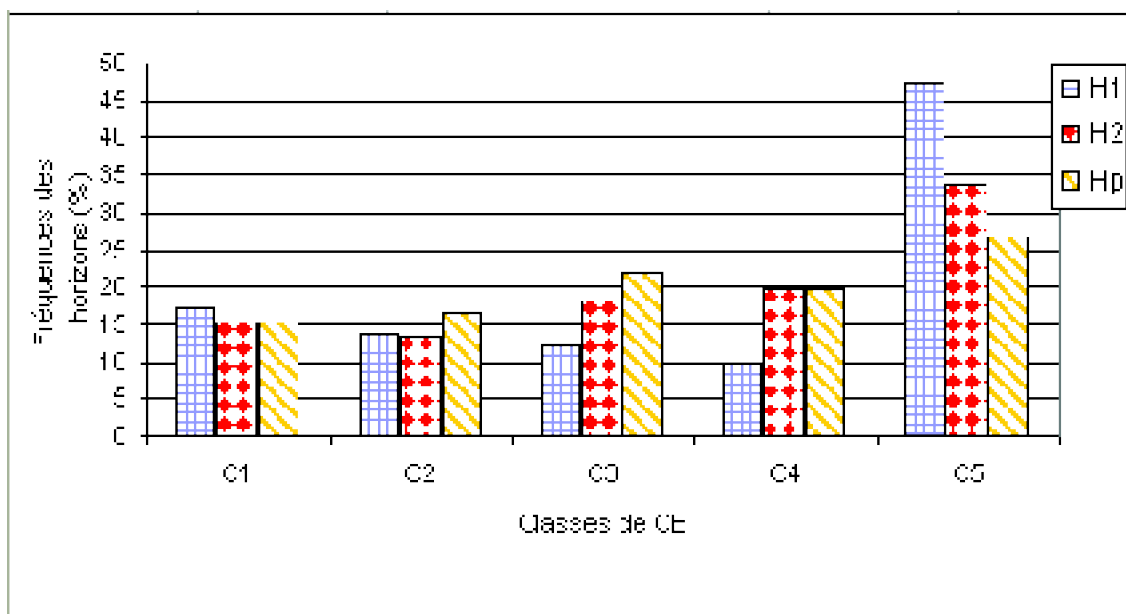


Figure 28: Fréquence des classes de CE par type d'horizon

Partie 2 : Les corrélations

Introduction

Cette partie est consacrée à la recherche d'éventuels liens entre certains descripteurs pris deux par deux. Nous envisageons d'abord d'étudier les données dans leur globalité, ensuite à l'échelle des zones et enfin à l'échelle des régions. Notre analyse s'articule essentiellement sur les coefficients de corrélation et sur les régressions linéaires et curvilinéaires. Les couples étudiés dans ce chapitre sont calcaire – argile, gypse – calcaire, gypse – argile, MO – calcaire, CE – calcaire et CE – gypse.

1. Calcaire – argile

1.1. A l'échelle du Sahara

Calculée sur 1724 couples de données (tableau 28), la corrélation entre ces deux paramètres est positive et hautement significative ($r = 0.5$). Ce résultat signifie que la tendance générale est vers une augmentation des taux de calcaire quand les taux d'argile augmentent dans le sol. Cependant, l'analyse de la figure 29 indique que les plus forts taux de calcaire sont obtenus pour des teneurs en argile inférieures à 20 %. C'est aussi dans cette classe d'argile que se concentre la majorité des faibles teneurs en calcaire. Cette figure indique aussi que les faibles valeurs (et les valeurs moyennes) du calcaire peuvent être associées à n'importe quels taux d'argile. Ainsi, les sols sahariens peuvent être très argileux (ou peu argileux) et peu calcaires (ou très calcaires). De ce fait, même si la corrélation est statistiquement hautement significative entre ces deux paramètres, l'effet des conditions du milieu local semble avoir un effet certain sur les taux de calcaire dans le sol.

Entre les teneurs 20 % et 30 % d'argile, le calcaire semble se stabiliser autour de 30 %. Au-delà de 30 % d'argile, le calcaire diminue dans le sol.

1.2. A l'échelle des zones

A quelques détails près, les résultats obtenus pour les zones 1 et 2 sont analogues à ceux obtenus pour l'ensemble des données (tableaux 28, 29; figures 30, 31). Nous en tirons donc les mêmes conclusions.

1.3. A l'échelle des régions

D'une façon générale, les résultats obtenus dans les différentes régions sont assez semblables. En effet, les équations des régressions linéaires, polynomiales, logarithmiques ou exponentielles ont toutes des coefficients de corrélations

statistiquement significatifs. Les quelques différences dans les résultats seraient dues aux différences des taux de calcaire, d'argile et du nombre de couples entre les régions. En effet, dans certaines régions, les taux d'argile (et de calcaire) sont inférieurs à 6 % (ex. Tousdit) alors que dans d'autres, ces taux avoisinent les 50 % (ex. sbaa-tsbite).

Globalement, les résultats obtenus se résument comme suit :

Les forts taux de calcaire se localisent préférentiellement dans les sols où le taux d'argile est inférieur à 10 %.

A partir du seuil de 10 % d'argile, les teneurs en calcaire diminuent quant les teneurs en argile augmentent.

Le calcaire augmente pour les teneurs en argile inférieures à 10 %, se stabilise entre 10 % et 30 % d'argile et diminue au-delà de 30 % d'argile.

Les teneurs en argile ne commencent à avoir un effet sur le taux de calcaire qu'à partir de 30 % d'argile. Au delà de ce seuil, les teneurs en calcaire diminuent quant les taux d'argile augmentent.

Tableau 28: Résultats statistiques des corrélations (Matrice de corrélation)

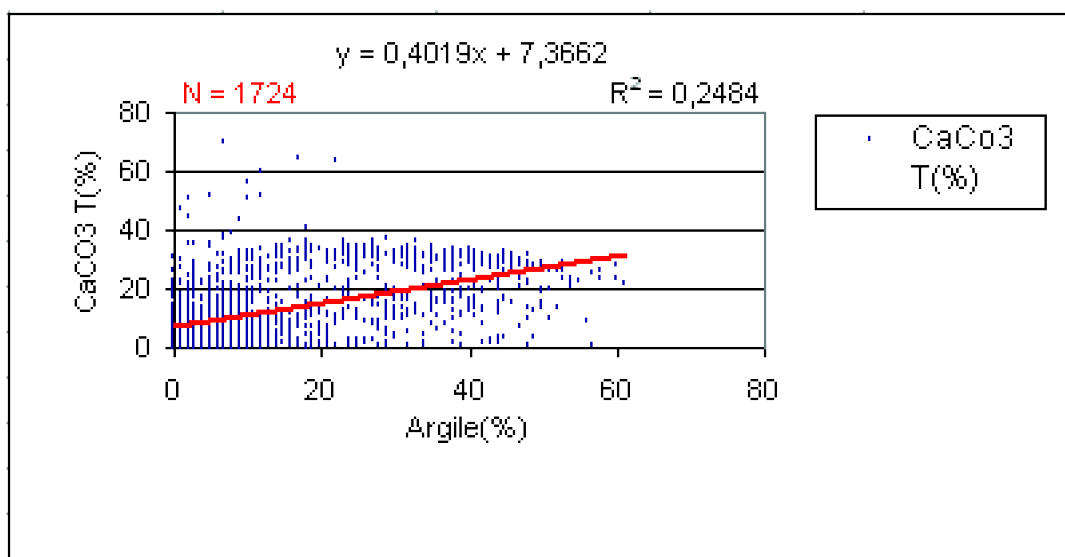


Figure 29: Corrélation calcaire / argile (Zone 1 et 2)

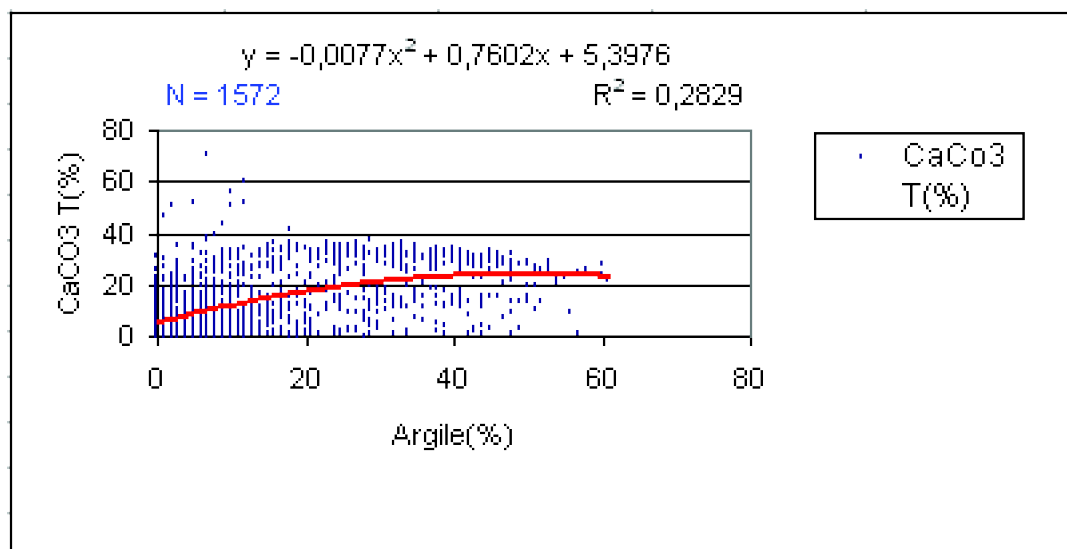


Figure 30: Corrélation calcaire / argile (Zone 1)

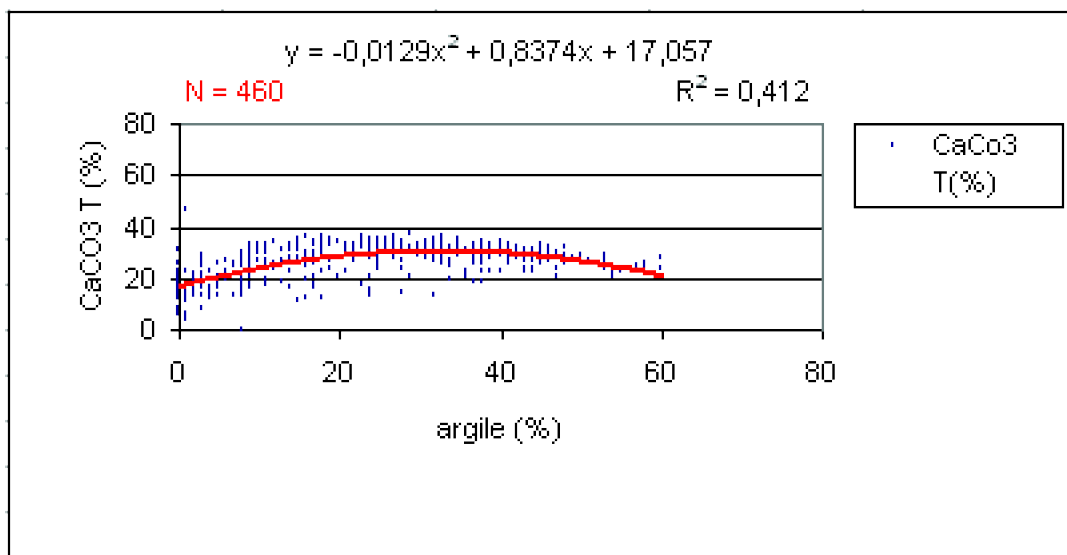


Figure 30-a: Corrélation calcaire / argile (Abadla)

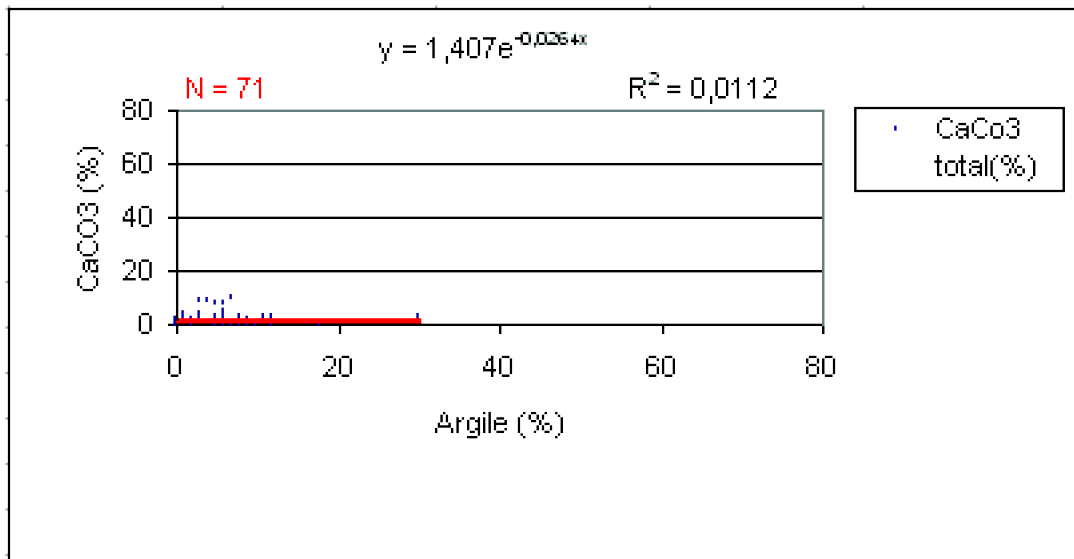
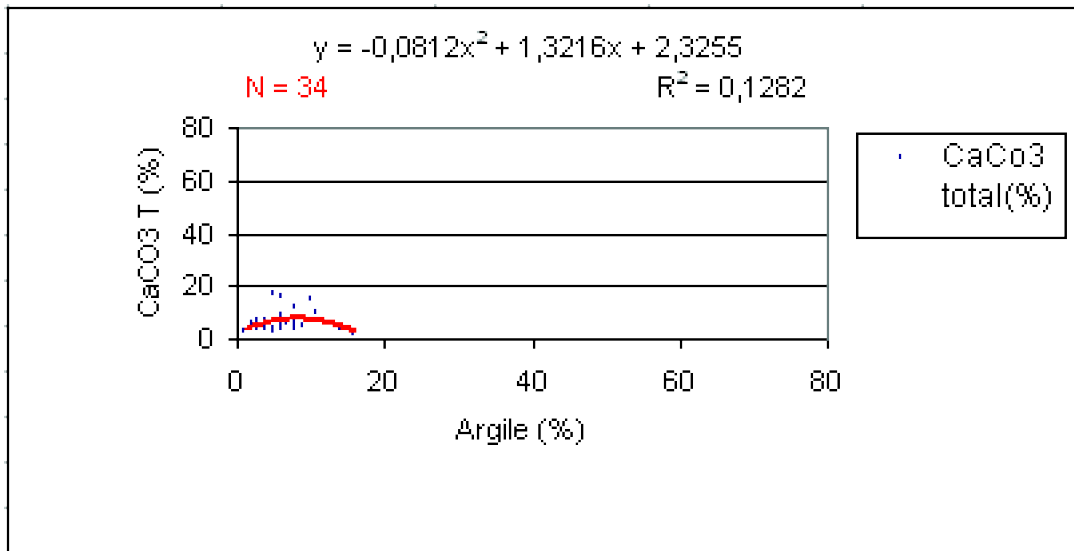
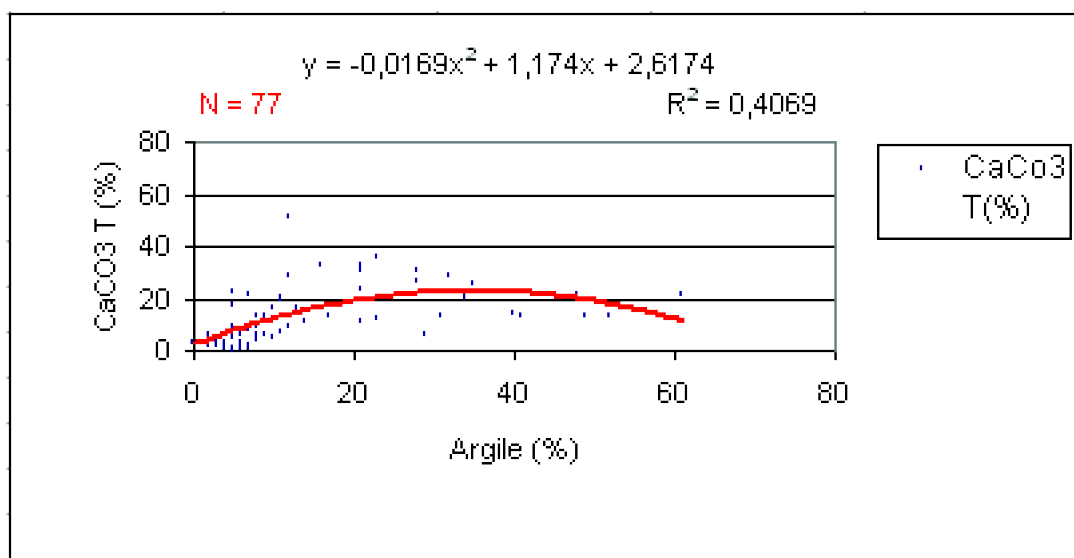
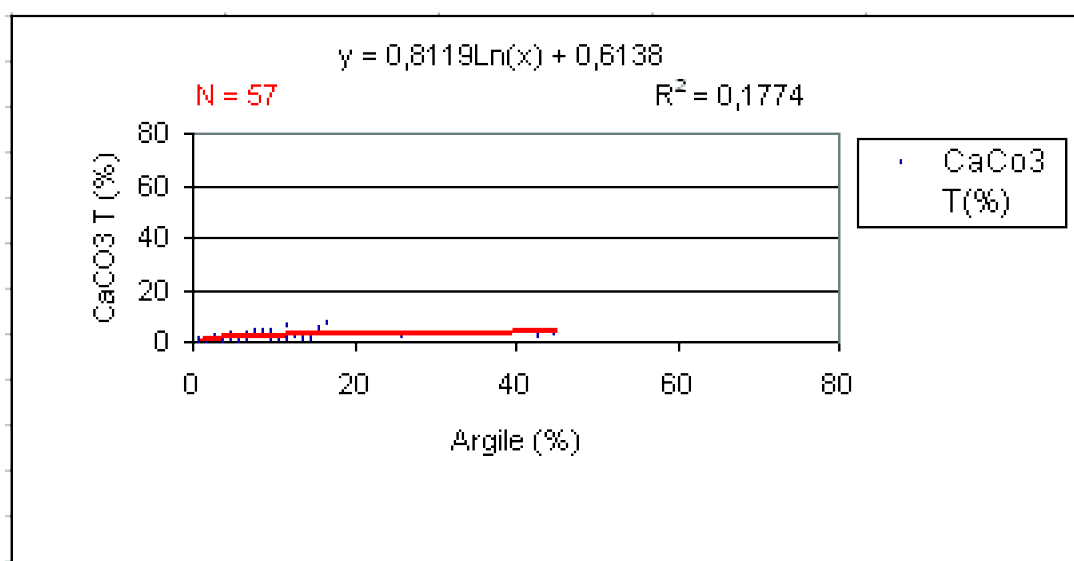


Figure 30-b: Corrélation calcaire / argile (Ait messaoud)



.Figure 30-c: Corrélation calcaire / argile (Aoulef)



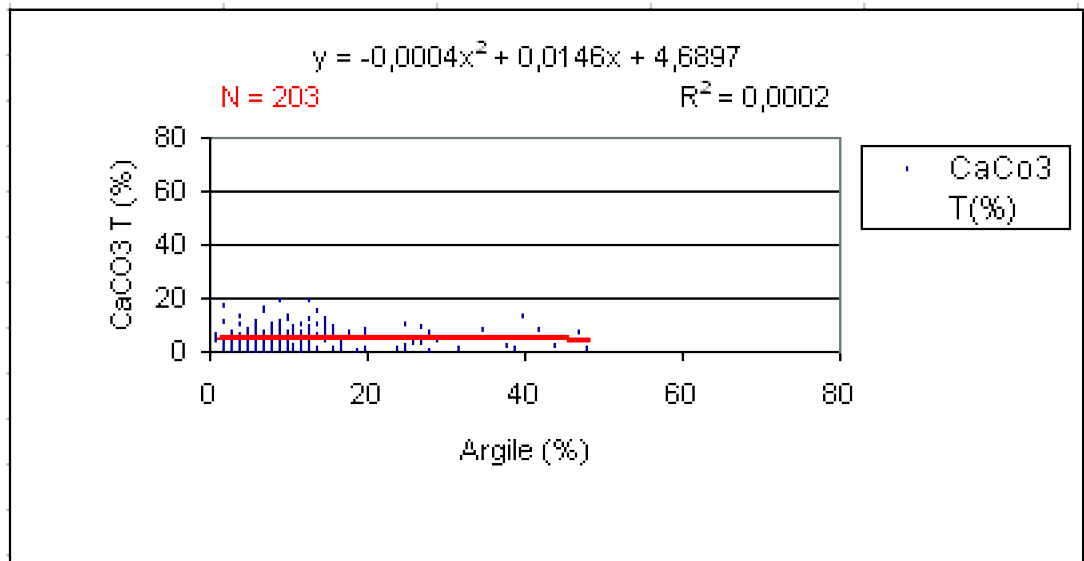


Figure 30-f: Corrélation calcaire / argile (Sbâa)

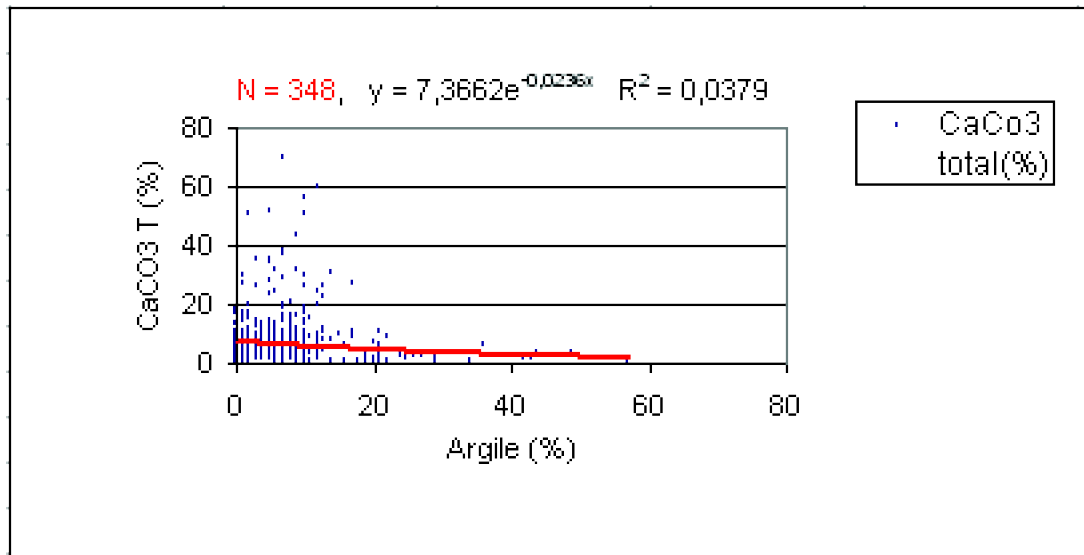


Figure 30-g: Corrélation calcaire / argile (Sbâa-Tsbit)

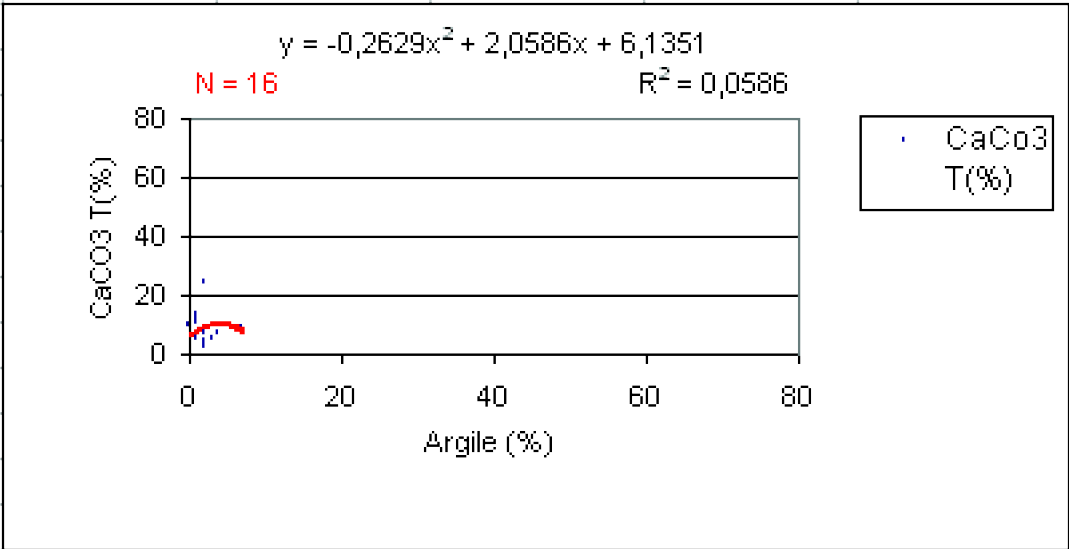


Figure 30-h: Corrélation calcaire / argile (Tézdaia)

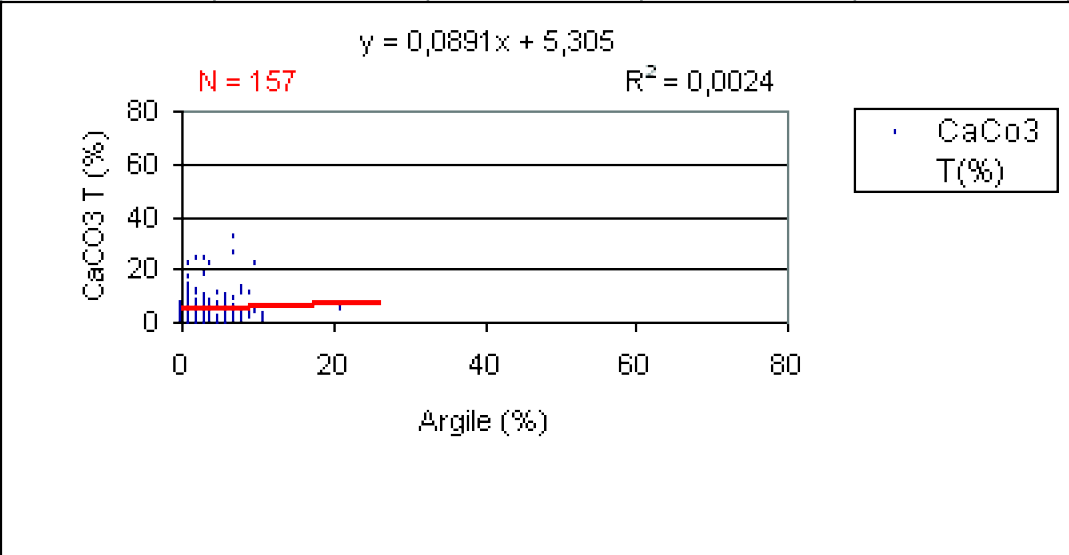


Figure 30-i: Corrélation calcaire / argile (Touat-Gourara)

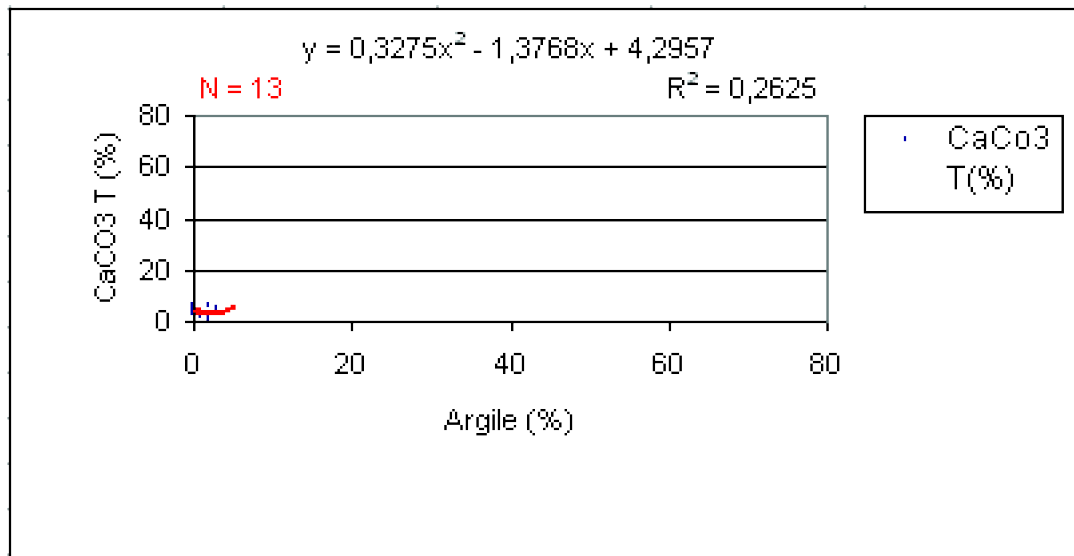


Figure 30-j: Corrélation calcaire / argile (Tousdit)

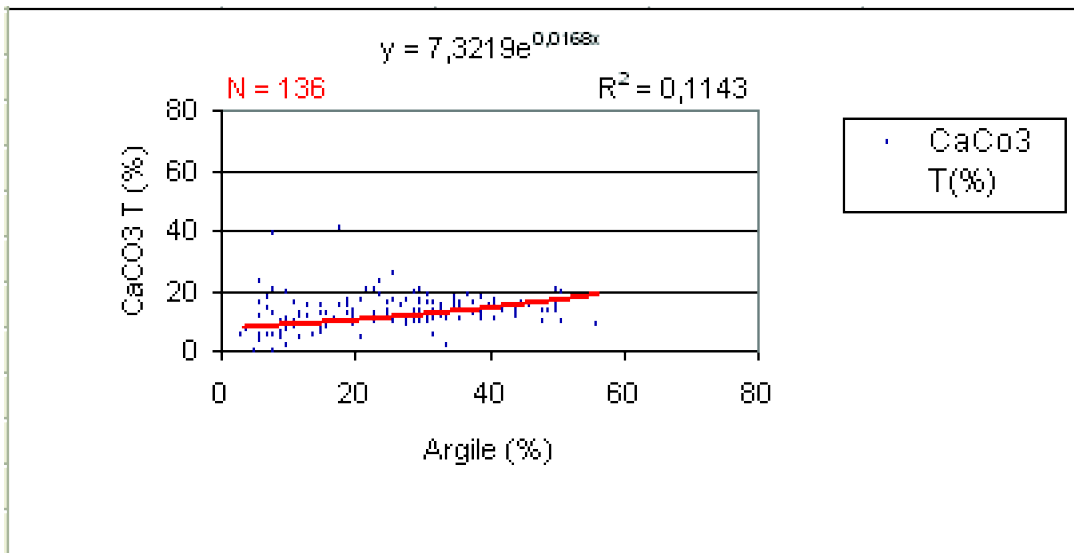


Figure 30-k: Corrélation calcaire / argile (Zousfana)

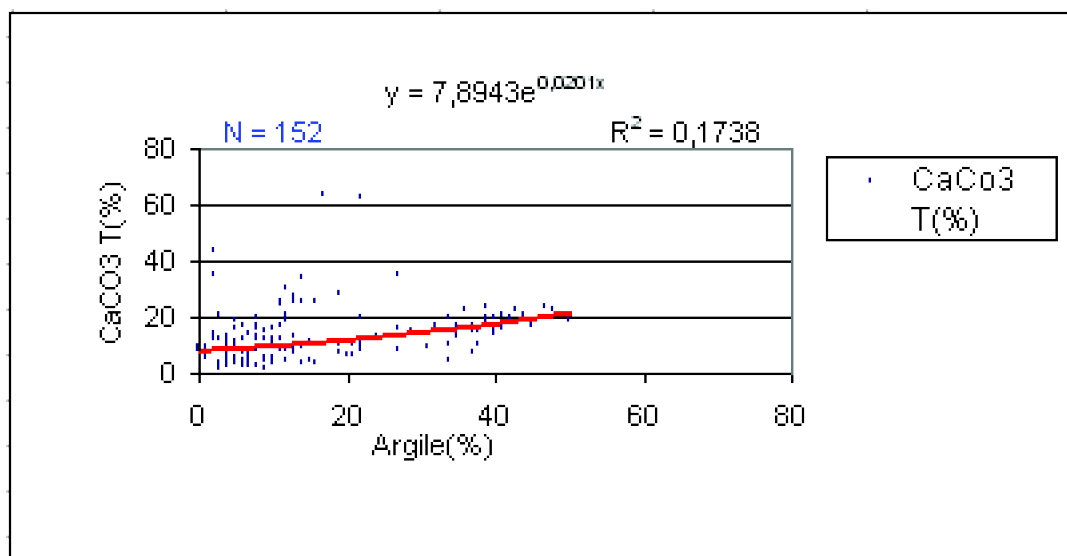


Figure 31: Corrélation calcaire / argile (Zone 2)

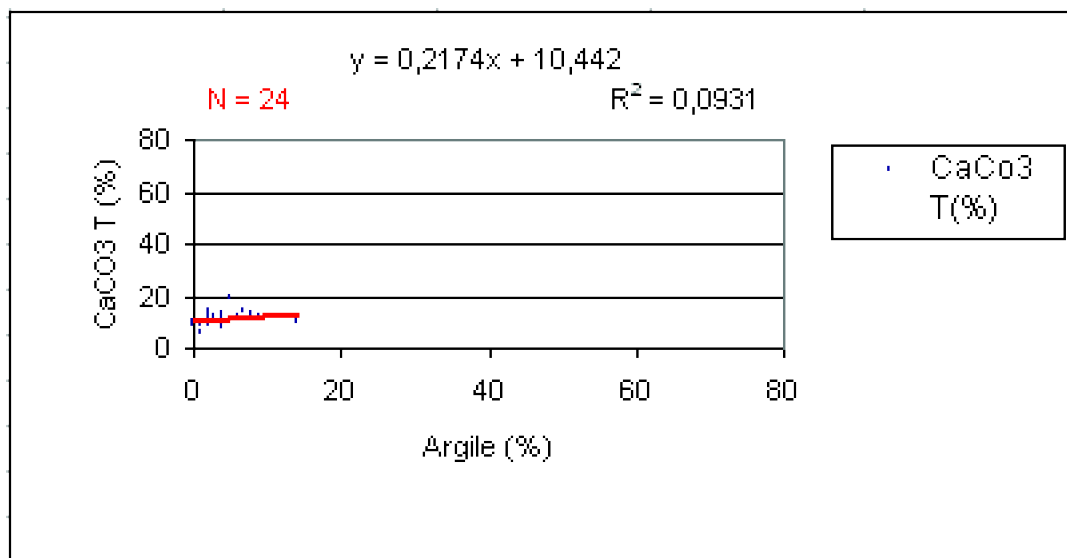


Figure 31-a: Corrélation calcaire / argile (M'guébra)

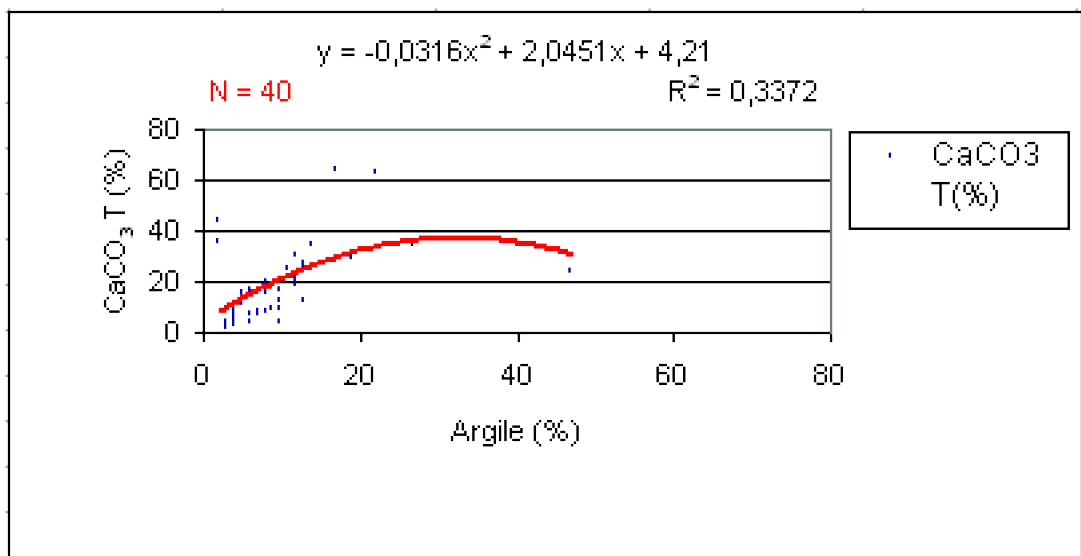
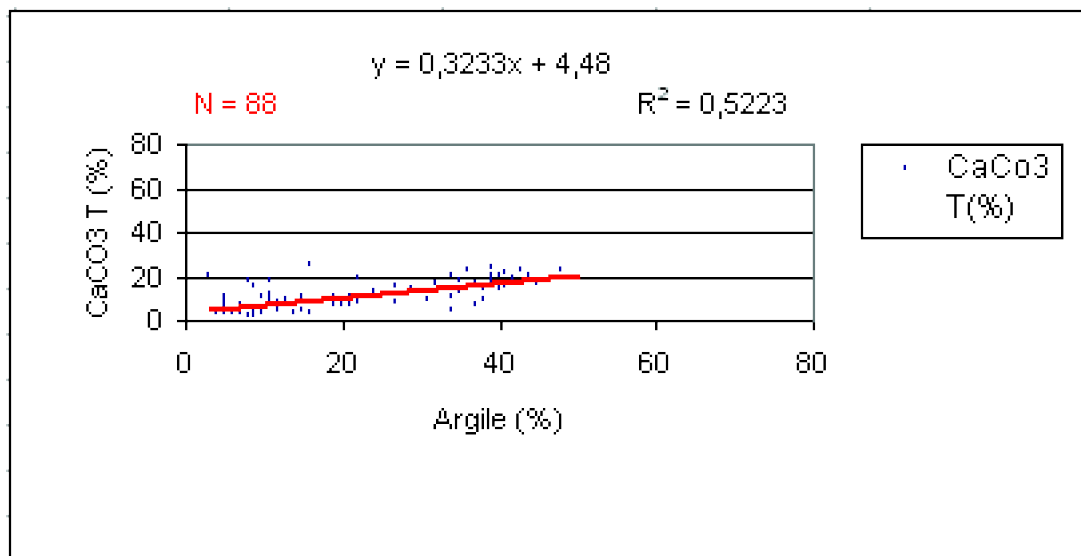


Tableau 29: Formules de la corrélation calcaire- argile dans les différentes zones

2. Gypse- Calcaire

2.1. A l'échelle du Sahara

La corrélation est négative et hautement significative pour les 1131 couples de données. La relation entre le calcaire et le gypse est inversement proportionnelle ($r = - 0.13$). En effet, l'observation du nuage de points de la figure 32 confirme cette tendance.

Le calcaire commence à avoir un effet sur le taux de gypse à partir de 30 % de CaCO₃.

2.2. A l'échelle des zones

Les deux droites de tendance linéaire des figures 33 et 34 montrent que la corrélation est négative entre le gypse et le calcaire. Ce résultat conforte celui déjà obtenus plus haut. Pour les deux zones, les plus fortes valeurs de gypse coïncident avec les taux de calcaire inférieurs à 20 %. En plus, la majorité des faibles taux de gypse (10 %) se situ également dans cette tranche. Au-delà de 20 % de CaCO_3 , la relation gypse – calcaire devient faible.

La zone 2 présente un coefficient de corrélation égale à - 0.14 et une probabilité de 0.25, la corrélation gypse – calcaire est de ce fait non significative pour les 64 couples d'analyse. Elle est par contre hautement significative pour les 1067 couples de la zone 1.

2.3. A l'échelle des régions

D'une manière générale, on constate que dans la région d'ADRAR, une augmentation du taux de calcaire s'accompagne d'une diminution du taux de gypse (figures 33-b, 33-e, 33-f, 33-g, 33-h). Les taux de gypse les plus élevés sont obtenus dans les sols dont le taux de CaCO_3 est inférieur à 20 %. Implicitement, on admet qu'il y'a une corrélation au sens des modèles regroupés dans le tableau 30.

Comme pour la corrélation précédente (calcaire – argile), la région de BECHAR semble être différente de celle d'ADRAR. En effet, dans cette région, les corrélations gypse – calcaire sont positives, c'est à dire contraires aux mêmes corrélations de la région d'ADRAR (négatives); sauf pour Méguiden.

Pour des couples de données variables allant de 10 (Abadla) à 108 (Zousfana), la relation gypse – calcaire est non significative dans toutes les zones de BECHAR et non significative aussi à M'guébra et Zélfana (zone 2).

Après cette analyse, on peut retenir les points suivants :

Il y'a une relation inversement proportionnelle entre le gypse et le calcaire, en particulier dans la région d'ADRAR.

Le seuil de 20 % de gypse semble se confirmer et rejoint les résultats de **DJILI (2000)** obtenus lors de d'étude des sols de l'Algérie du Nord comme étant la limite à partir de laquelle le taux de calcaire influe sur le taux de gypse.

Les faibles taux de gypse sont obtenus pour tous les taux de calcaire.

Les forts taux de gypse sont obtenus dans les sols dont le taux de calcaire est inférieur à 20 %. Lorsque le calcaire atteint 20 % dans le sol, le gypse diminue fortement jusqu'à sa disparition ou son évacuation du profil.

Ceci veut dire que lorsque le gypse est en solution, le calcaire est sous forme cristalline. Ce phénomène pourrait être dû à la différence de leur degré de solubilité (**Baci, 1982**). **Bouyadjev (1974)** a justifié ce phénomène par la différence de la composition minérale de ces deux sels solubles.

En fonction de leur coefficient de solubilité, ce sont les sels faiblement solubles (calcaire) qui se déposent en premier et les moyennement solubles, comme le gypse se

dépose en second lieu (F.A.O., 1974 in Baci, 1982).

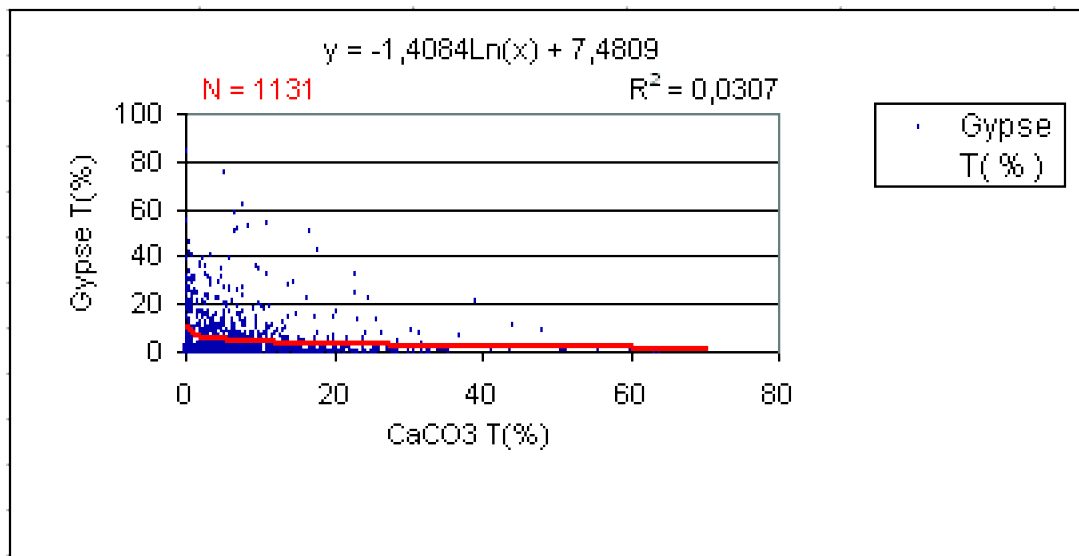


Figure 32: Corrélation gypse / calcaire (Zone 1 et 2)

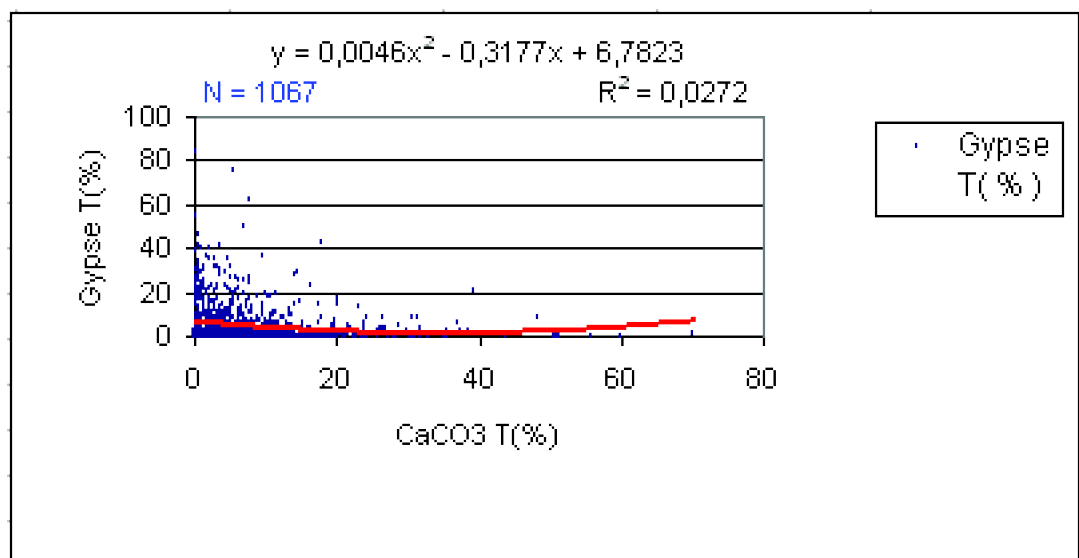


Figure 33: Corrélation gypse / calcaire (Zone 1)

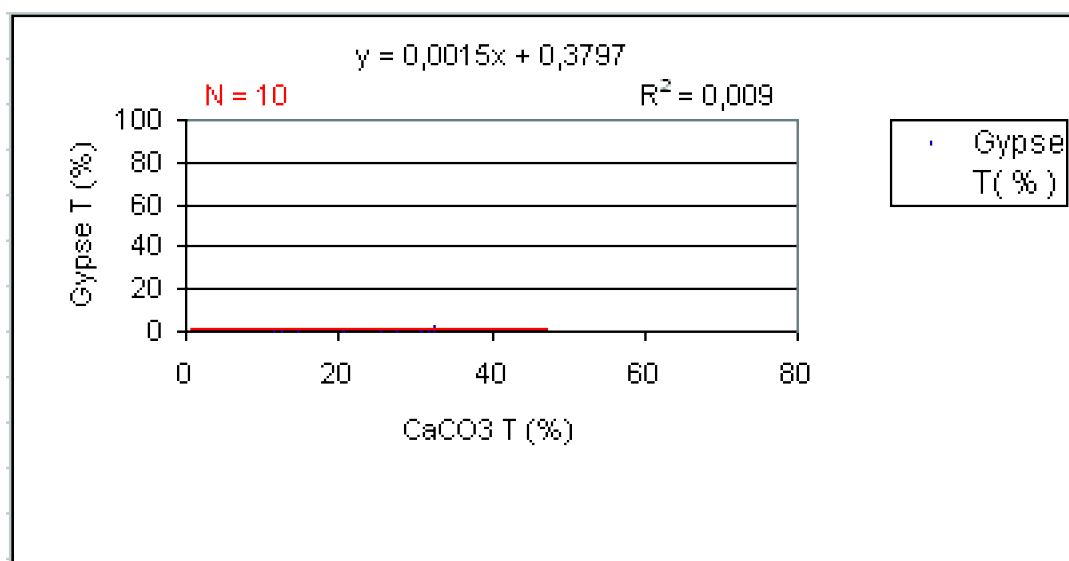


Figure 33-a: Corrélation gypse / calcaire (Abadla)

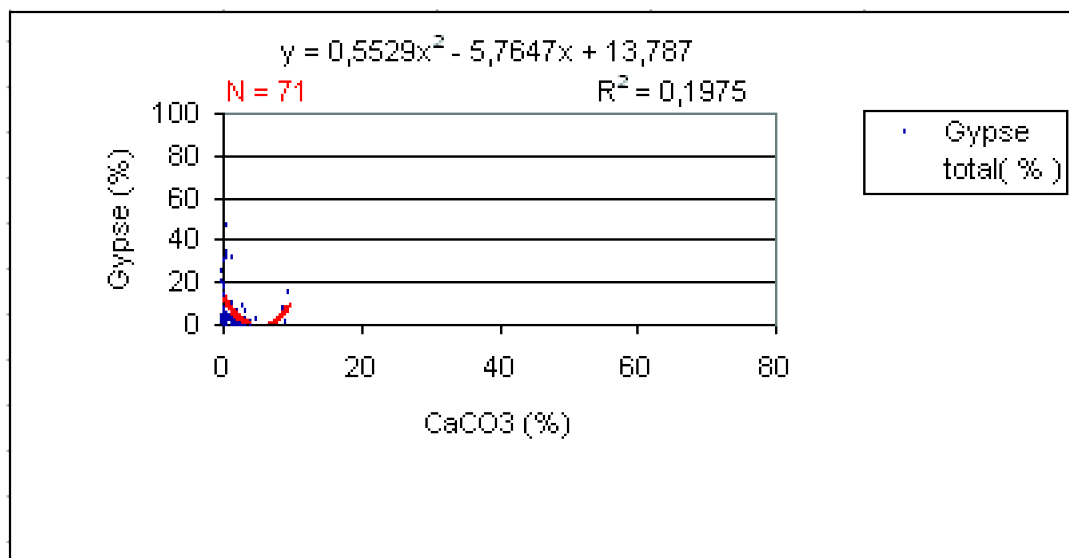


Figure 33-b: Corrélation gypse / calcaire (Ait Messoud)

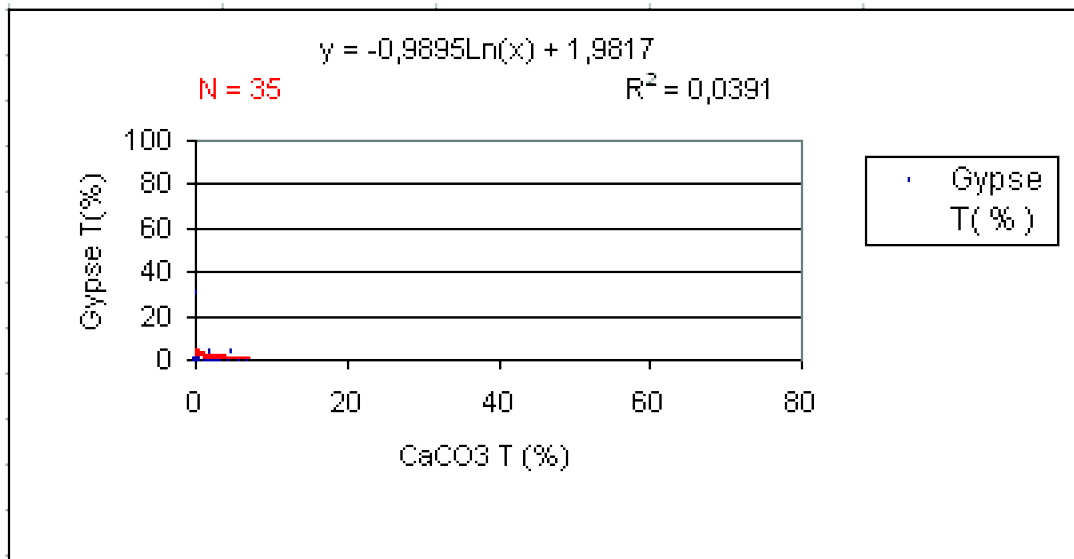


Figure 33-c: Corrélation gypse / calcaire (Méguiden)

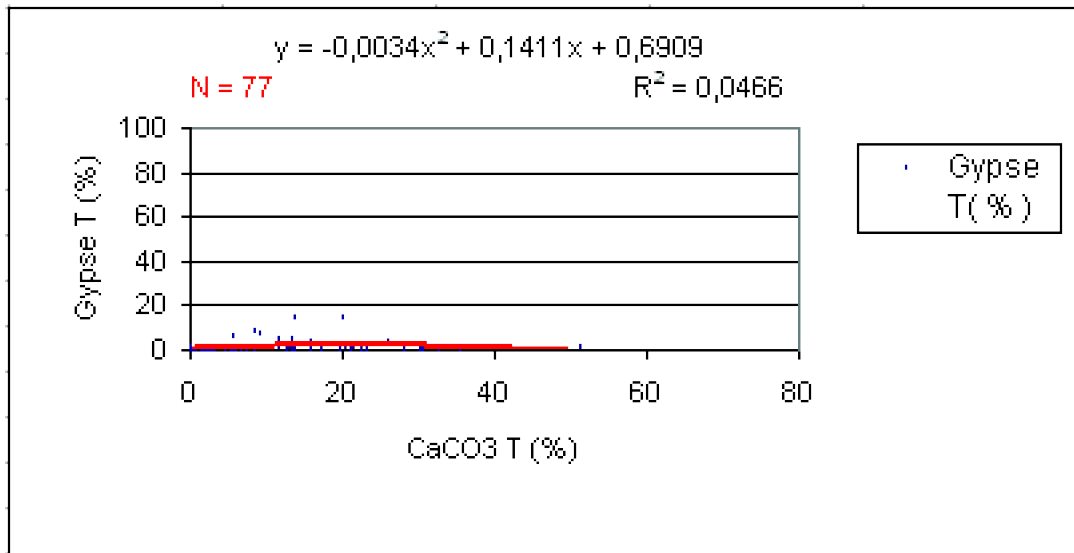


Figure 33-d: Corrélation gypse / calcaire (Saoura)

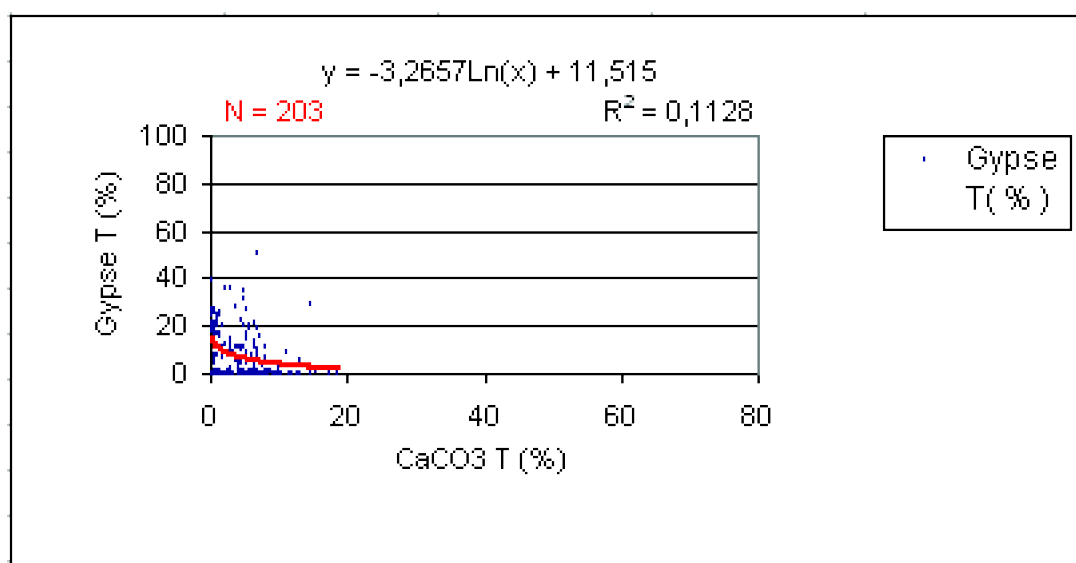


Figure 33-e: Corrélation gypse / calcaire (Sbâa)

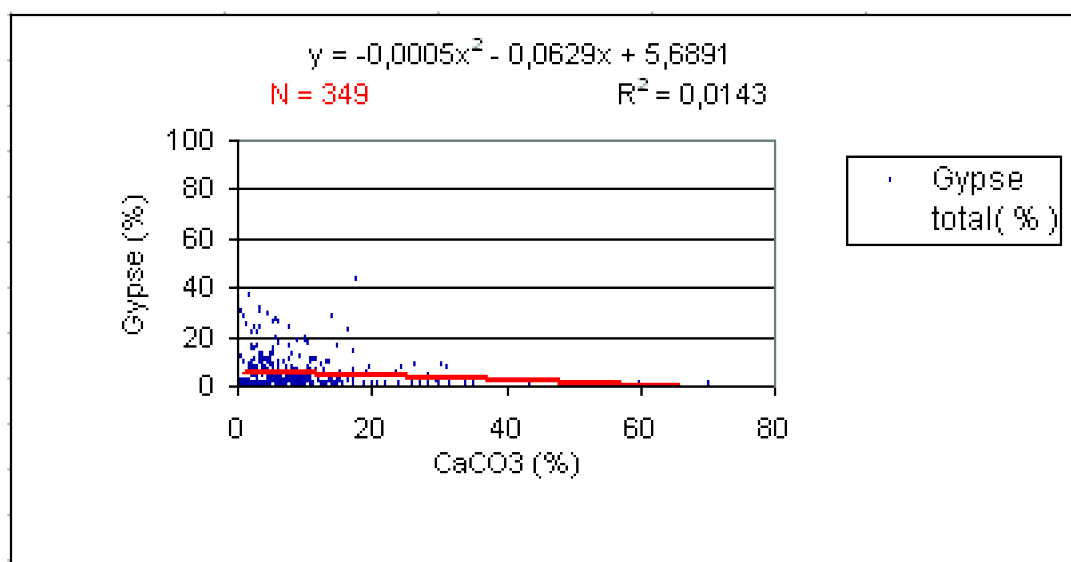


Figure 33-f: Corrélation gypse / calcaire (Sbâa-Tsabit)

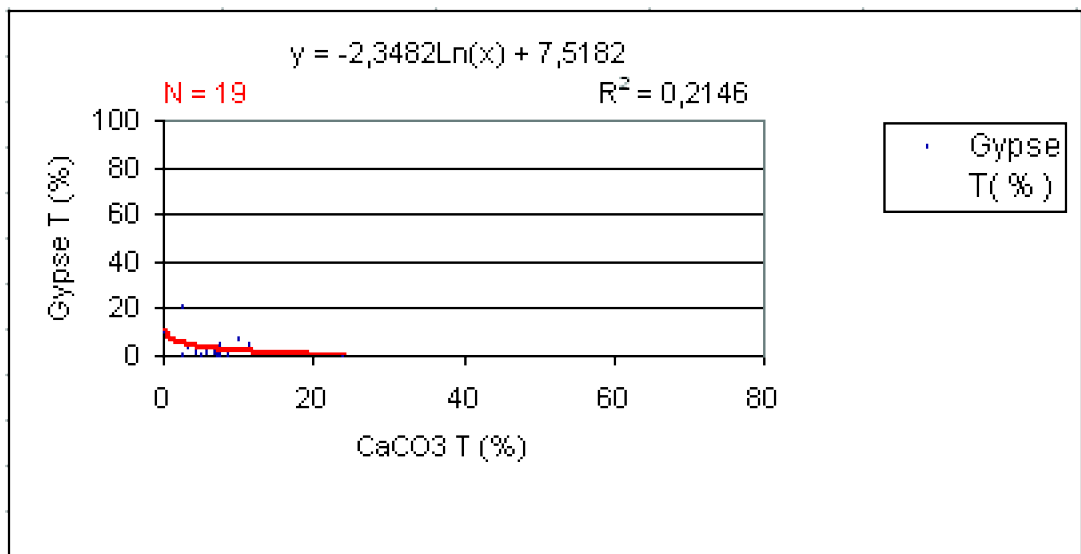


Figure 33-g: Corrélation gypse / calcaire (Tézdaia)

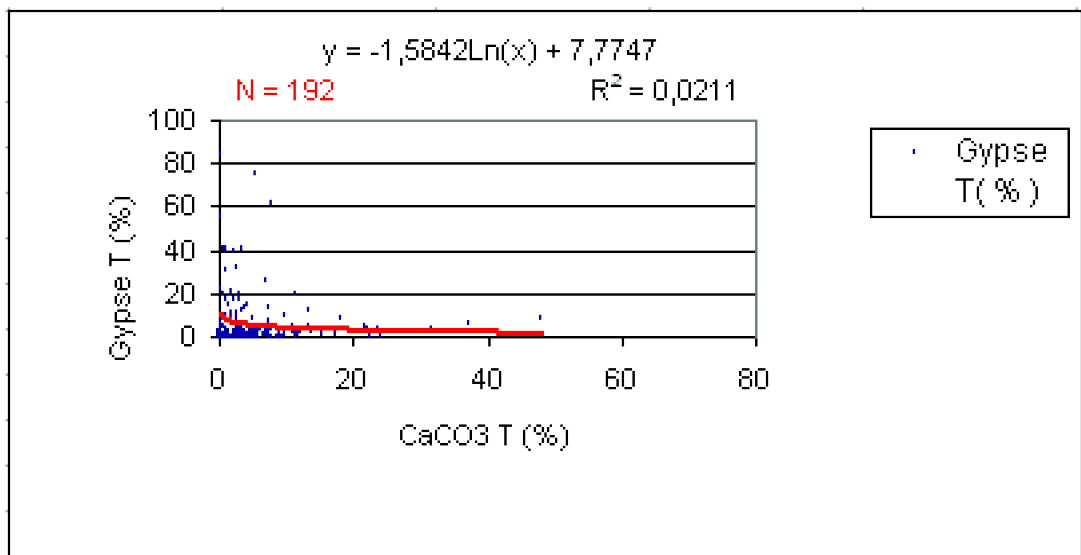


Figure 33-h: Corrélation gypse / calcaire (Touat-Gourara)

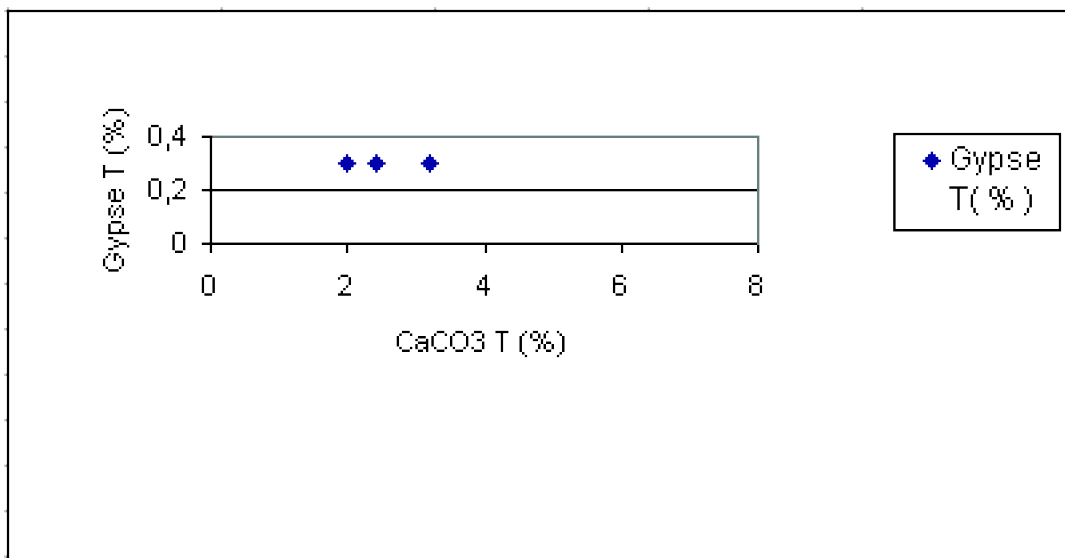


Figure 33-i: Corrélation gypse / calcaire (Tousdit)

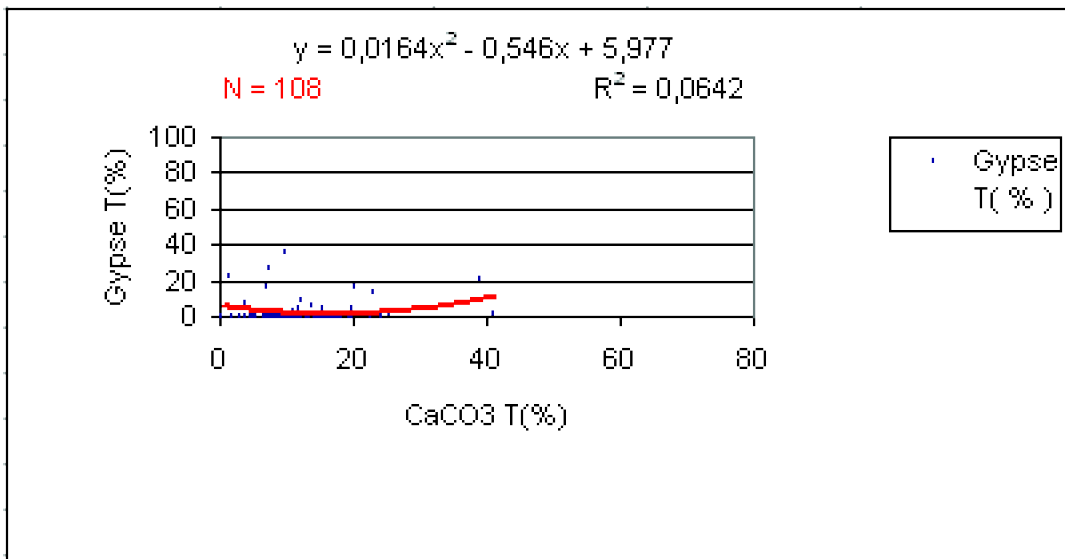


Figure 33-j: Corrélation gypse / calcaire (Zousfana)

Figure 34: Corrélation gypse / calcaire (Zone 2)

Figure 34-a : Corrélation gypse / calcaire (M'guébra)

Figure 34-b: Corrélation gypse / calcaire (Zélfana)

Tableau 30: Formules de la corrélation gypse - calcaire dans les différentes zones

3. Gypse – argile

3.1. A l'échelle du Sahara

Calculée sur 1118 couples de données, la corrélation entre le gypse et l'argile est statistiquement hautement significative et négative ($r = - 0.13$) mais reste relativement faible. Toutefois, la tendance générale est vers une diminution des taux de gypse quant les taux d'argile augmentent dans le sol, en particulier pour les teneurs supérieures à 30 % d'argile. En effet, l'équation de la régression linéaire indique que la part de l'argile dans la variation des teneurs en gypse n'est que de 1.78 %.

3.2. A l'échelle des zones

La droite de tendance linéaire de la zone 1 indique que la corrélation est négative et hautement significative (1052 paires de données).

L'analyse du nuage de points de la figure 36 indique que :

- Les fortes valeurs et la majorité des faibles taux de gypse se localisent dans les sols ayants moins de 20 % d'argile.
- Pour les sols argileux (> 20 %), le gypse est en faible quantité ou sous forme de trace dans le sol.

De ce fait, il ressort pour les sols sahariens que les sols les moins argileux sont les plus gypseux.

Dans la zone 2 par contre, les résultats statistiques des 66 couples indiquent que la corrélation est non significative.

3.3. A l'échelle des régions

L'observation des droites de tendance linéaire obtenues à l'échelle des régions ayant des nombres de couples variables (figures 36-e, 36-f, 36-g) indique que la corrélation est négative et significative à hautement significative entre le gypse et l'argile (tableau 28).

Cependant, certaines études où zones présentent un R^2 pratiquement nul (figures 36-b, 36-d, 36-h et 37-a), ce qui signifie que les deux variables sont indépendantes l'une de l'autre. Ce résultat, est en accord avec celui obtenu par (DJILI, 2000).

Globalement, quant le nombre de couple est élevé (1118 pour l'ensemble des données) et (1052 pour la Zone 1), la relation entre ces deux descripteurs est inversement proportionnelle.

Pour le reste des zones qui sont concernées par le présent travail, les résultats de la corrélation gypse – argile indiquent qu'il n'y a pas de relation entre ces deux paramètres (variables).

Nous pouvons peut-être avancer, que le nombre de couple aurait un effet sur cette relation.

Figure 35: Corrélation gypse / argile (Zone 1 et 2)

Figure 36: Corrélation gypse / argile (Zone 1)

Figure 36-a: Corrélation gypse / argile (Abadla)

Figure 36-b: Corrélation gypse / argile (Ait Messaoud)

Figure 36-c: Corrélation gypse / argile (Méguiden)

Figure 36-d: Corrélation gypse / argile (Saoura)

Figure 36-e: Corrélation gypse / argile (Sbâa)

Figure 36-f: Corrélation gypse / argile (Sbâa-Tsabit)

Figure 36-g: Corrélation gypse / argile (Tézdaia)

Figure 36-h: Corrélation gypse / argile (Touat-Gourara)

Figure 36-i: Corrélation gypse / argile (Tousdit)

Figure 36-j: Corrélation gypse / argile (Zousfana)

Figure 37: Corrélation gypse / argile (Zone 2)

Figure 37-a: Corrélation gypse / argile (M'guébra)

Figure 37-b: Corrélation gypse / argile (Zélfana)

Tableau 31: Formules de la corrélation gypse- argile dans les différentes zones

4. MO – calcaire

4.1. A l'échelle du Sahara

La corrélation est positive et hautement significative pour les 537 paires d'analyses.

Le coefficient de détermination est de 0.39. Les faibles taux de MO (< 2 %) peuvent se rencontrer aussi bien dans les sols à faibles taux de calcaire que dans les sols à forts taux de calcaire.

4.2. A l'échelle des zones

La régression de la figure 39, montre que la corrélation entre les 489 paires d'analyses est positive avec un coefficient de détermination de 0.50. Elle est statistiquement hautement significative.

Le nuage de points de la figure 39 montre que (les fortes teneurs) en matière organique sont obtenues pour des valeurs de calcaire comprises entre 20 % et 40 %.

Les faibles valeurs de la matière organique, quant à elles, sont rencontrés dans les sols a CaCO_3 inférieur à 20 %.

Contrairement, la corrélation de la zone 2 (figure 40) est négative pour les 48 couples avec un R^2 qui est égale à 0.04. Elle est non significative statistiquement.

Ce qui vient d'être avancé plus haut, semble être différent dans la zone 2, mais les teneurs en matière organique de cette zone sont inférieures à 0.4 %, ce qui signifie que toutes ces valeurs sont en réalité des faibles teneurs en les comparants à celles de la zone 1. Elles sont de ce fait identiques aux faibles teneurs de la matière organique de la zone 1. Elles sont toutes les deux rencontrées dans les sols dont les teneurs en calcaire sont inférieures à 20 %.

Il en découle que les faibles teneurs en matière organique correspondent aux teneurs en CaCO_3 inférieur à 20 %.

4.3. A l'échelle des régions

La faible gamme de variation de taux de matière organique, et le nombre relativement réduit de couples ne permettent pas d'effectuer des calculs robustes pour prédire une quelconque tendance à l'échelle de la région.

Néanmoins, la régression linéaire de la zone de Sbâa (figure 39-e) effectuée sur 183 paires a donné un coefficient de corrélation $r = - 0.2$. Ce coefficient est donc hautement significatif. Etant donné que les teneurs en calcaire sont inférieures à 20 %, ce résultat est analogue à celui obtenu pour les données de la zone 1.

Figure 38: *Corrélation MO / calcaire (Zone 1 et 2)*

Figure 39: *Corrélation MO / calcaire (Zone 1)*

Figure 39-a: Corrélation MO / calcaire (Abadla)

Figure 39-b: Corrélation MO / calcaire (Ait Messaoud)

Figure 39-c: Corrélation MO / calcaire (Aoulef)

Figure 39-d: Corrélation MO / calcaire (Saoura)

Figure 39-e: Corrélation MO / calcaire (Sbâa)

Figure 39-f: Corrélation MO / calcaire (Sbâa-Tsabit)

Figure 39-g: Corrélation MO / calcaire (Zousfana)

Figure 40: Corrélation MO / calcaire (Zone 2)

Figure 40-a : Corrélation MO / calcaire (M'guébra)

Figure 40-b : Corrélation MO / calcaire (Zélfana)

Tableau 32: Formules de la corrélation MO-calcaire dans les différentes zones

5. CE – calcaire

5.1. A l'échelle du Sahara

Avec un nombre de couples de 1773, la relation CE – calcaire est positive et significative. Avec une probabilité de 0.017, la variation de la CE n'est expliquée qu'à hauteur de 0.4 % par la variation du calcaire. Néanmoins, la figure 41, montre que la CE diminue au-delà de 30 % de carbonate de calcium.

5.2. A l'échelle des zones

Les deux corrélations (figures 42, 43) sont positives, l'augmentation de CaCO_3 s'accompagne d'une augmentation de la conductivité électrique (CE).

Cependant, les coefficients de détermination sont très faibles. Ils sont de 0.003 et de 0.062 respectivement pour la régression de la zone 1 et de la zone 2. La corrélation est non significative en zone 2 (175 couples) et hautement significative en zone 1 (1598 couples d'analyses).

Le nuage de points qui caractérise cette corrélation pour la zone 1 (figure 42) montre qu'effectivement, les fortes valeurs ainsi que la majorité des faibles valeurs de la CE coïncident avec les taux de calcaire inférieurs à 30 %.

On constate également, que l'augmentation de la CE s'accompagne d'une augmentation du CaCO_3 dans le sol jusqu'à 30 % de calcaire. Une diminution de la CE est observée au delà de cette teneur en calcaire (30 %) (figure 42).

5.3. A l'échelle des régions

Les droites de tendances de toutes les études font apparaître deux tendances ou deux

types de régression :

- Une tendance négative et hautement significative (figure 42-f).
- Une tendance positive et hautement significative pour les études Abadla, Saoura, Sbâa-Tsabit et Touat-Gourara (figures 42-a, 42-e, 42-g, 42-i), ainsi que M'rara en zone 2 (figure 43-b).

Ceci n'est cependant qu'une allure globale de cette régression.

L'observation des nuages de points laisse distinguer ce qui suit :

Pour l'ensemble des études à une précision près, les fortes CE sont obtenues dans les sols dont le taux de calcaire est inférieur à 30 %. L'étude d'Abadla (figure 42-a), semble être la plus salée. Les plus fortes teneurs en sels sont présentes même dans les sols qui contiennent des taux de carbonate de calcium qui dépassent les 30 %. La corrélation est hautement significative pour les 442 couples de données.

Les faibles conductivités électriques (CE) sont aussi concentrées dans ce type de sol (dont le taux de calcaire est inférieur à 30 %), sans autant dire qu'elles n'existent pas dans les sols qui dépassent cette teneur en calcaire.

On remarque aussi, que pour les 203 couples de données de l'étude de Sbâa (figure 42-f), la CE diminue quant le calcaire augmente.

Les figures 42-a, 42-e, 42-g, 42-i et 43-b montrent que la CE suit l'augmentation du calcaire jusqu'à 30 % où moins puis diminue. La corrélation est hautement significative pour toutes ces zones.

La corrélation CE – CaCO_3 est statistiquement non significative pour Ait Messaoud, Aoulef, Méguiden, Tousdit, Zousfana (figures 42-b, 42-c, 42-d, 42-j, 42-k), et non significative aussi pour M'guébra et Zélfana de la zone 2 (figures 43-a, 43-c).

Nous pouvons donc dire que l'étude de la corrélation CE – calcaire a révélé l'existence d'un lien entre les deux paramètres. La relation qui lie ces deux variables (paramètres) se distingue par les faits suivants :

La majorité des faibles valeurs de la CE et ses fortes valeurs coïncident avec des taux de carbonates de calcium inférieurs à 30 %.

L'analyse des nuages de points des différentes figures montre deux cas contradictoires de la CE en fonction des teneurs en CaCO_3 :

- **Premier cas** : Une phase d'augmentation de la conductivité électrique (CE) avec l'augmentation du calcaire jusqu'à 30 %. La seconde phase se situe au-delà de cette teneur en CaCO_3 . Elle est caractérisée par une diminution de la conductivité électrique (figures 42-g, 42-h).
- **Deuxième cas** : C'est l'inverse du premier. Il est caractérisé par une diminution de la CE, qui résulte d'une augmentation du calcaire (figures 42-b, 42-c, 42-f).

Donc le calcaire n'a d'effets sur la CE qu'à partir de 30 %.

Figure 41: *Corrélation CE / calcaire (Zone 1 et 2)*

Figure 42: *Corrélation CE / calcaire Zone 1*

Figure 42-a: Corrélation CE / calcaire (Abadla)

Figure 42-b: Corrélation CE / calcaire (Ait Messaoud)

Figure 42-c: Corrélation CE / calcaire (Aoulef)

Figure 42-d: Corrélation CE / calcaire (Méguiden)

Figure 42-e: Corrélation CE / calcaire (Saoura)

Figure 42-f: Corrélation CE / calcaire (Sbâa)

Figure 42-g: Corrélation CE / calcaire (Sbâa-Tsabit)

Figure 42-h: Corrélation CE / calcaire (Tézdaia)

Figure 42-i: Corrélation CE / calcaire (Touat-Gourara)

Figure 42-j: Corrélation CE / calcaire (Tousdit)

Figure 42-k: Corrélation CE / calcaire (Zousfana)

Figure 43: *Corrélation CE / calcaire (Zone 2)*

Figure 43-a: Corrélation CE / calcaire (M'guébra)

Figure 43-b: Corrélation CE / calcaire (M'rara)

Figure 43-c: Corrélation CE / calcaire (Zélfana)

Tableau 33: *Formules de la corrélation CE-calcaire dans les différentes zones*

6. CE – gypse

6.1. A l'échelle du Sahara

La régression linéaire est positive et hautement significative entre les 1213 paires d'analyses ($r = 0.42$).

Le nuage de points de la figure 44 montre que le gypse a moins d'effet sur la CE quand ses teneurs sont inférieures à 40 %. Au-delà de ce taux, la conductivité électrique de ces sols diminue pour atteindre ses plus basses valeurs à 80 % de gypse.

6.2. A l'échelle des zones

Dans la zone 1 (tableau 28) la corrélation est positive et hautement significative entre la CE et le gypse pour les 1105 couples, la part de la variation de la CE expliquée par la variation du gypse est faible ($R^2 = 0.15$).

La zone 2 (tableau 28) donne une relation positive et significative entre les 108 couples de variables ($R^2 = 0.099$).

La distribution des points des figures 45 et 46, montre que la salinité est faible dans les sols gypseux (teneur en gypse élevée).

De ce fait, la relation entre la conductivité électrique (CE) et le gypse est inversement proportionnelle dans ces sols.

6.3. A l'échelle des régions

L'allure des droites de régression linéaire montre que la corrélation est positive et hautement significative entre la conductivité électrique (CE) et le gypse dans toutes les régions, sauf pour Abadla, Méguiden, Tézdaia et Zousfana (107 couples de données) pour qui la corrélation est non significative. Cependant, ceci n'est qu'une tendance générale.

Le nuage de point des figures 45-b, 45-d, 45-e, 45-f et 45-h montre qu'une augmentation du taux de gypse dans le sol engendrerait une diminution de la CE.

Ce résultat concorde avec ceux obtenus par **Chauhan (1992) et Batra et al. (1997)**.

En plus, la corrélation est non significative entre la CE et le gypse dans deux études de la zone 2 (figures 46-a, 46-b).

Ceci est tout à fait juste, et rejoint les résultats de **Soltner, (1982) (in Djamaia, 1993)** sur le problème de sodium échangeable. En plus d'après **Vieillefon (1979) et Chioukh (1981)**, le gypse en se dissolvant, fournirait suffisamment de calcaire pour remplacer le sodium échangeable.

Figure 44: *Corrélation CE / gypse (Zone 1 et 2)*

Figure 45: *Corrélation CE / gypse (Zone 1)*

Figure 45-a: *Corrélation CE / gypse (Abadla)*

Figure 45-b: Corrélation CE / gypse (Ait Messaoud)

Figure 45-c: Corrélation CE / gypse (Méguiden)

Figure 45-d: Corrélation CE / gypse (Saoura)

Figure 45-e: Corrélation CE / gypse (Sbâa)

Figure 45-f: Corrélation CE / gypse (Sbâa-Tsabit)

Figure 45-g: Corrélation CE / gypse (Tézdaia)

Figure 45-h: Corrélation CE / gypse (Touat-Gourara)

Figure 45-i: Corrélation CE / gypse (Zousfana)

Figure 46: *Corrélation CE / gypse (Zone 2)*

Figure 46-a: Corrélation CE / gypse (M'guébra)

Figure 46-b : Corrélation CE / gypse (Zélfana)

Tableau 34: *Formules de la corrélation CE-gypse dans les différentes zones*

CONCLUSION GENERALE

La démarche adoptée dans cette étude a permis de compiler 628 profils constitués de 2428 horizons décrits et 1990 horizons analysés.

Le premier constat révèle à la fois l'hétérogénéité et la concentration certaines des études pédologiques dans le sud ouest algérien.

Aucune variable descriptive ou analytique n'est renseignée à 100 %. Ainsi, 20 % environ des variables descriptives ou analytiques sont renseignées à plus de 70 %, ce qui suggère le non-respect des normes d'études d'un / des profil(s) type(s) qui caractérise(nt) l'unité cartographique. Ce résultat est confirmé par les tests de fiabilité entre les données de la banque qui montrent que ces dernières ne sont pas toujours conformes et concordantes entre elles. La concordance entre certaines variables se situe parfois en dessous du seuil de 50 %.

L'étude statistique de cinq paramètres essentiels (argile, calcaire, gypse, matière organique et CE) d'abord par rapport à la base de données entière et ensuite séparément dans la zone 1 et dans la zone 2 et enfin dans chacune des régions étudiées, et ce dans les trois horizons du profil (H1, H2 et H3), indique que les sols du Sahara se caractérisent par une très forte variabilité spatiale de leur taux d'argile. Ainsi donc, ces sols peuvent être complètement dépourvus d'argile, peu argileux ou, au contraire très argileux.

Il existe une double variabilité spatiale des taux d'argile, une variabilité inter-régions et une variabilité intra-région, cette variabilité est masquée quand les données sont traitées à l'échelle des zones. Les fréquences de distribution de l'argile dans le sol

confirment ces résultats. En effet, plus de 50 % des horizons étudiés ne sont pas argileux ou très faiblement argileux (A1).

Les sols du Sahara sont dans leur majorité faiblement calcaires. L'étude de ce paramètre dans la zone 1 indique qu'il est homogène dans le profil, sa teneur moyenne avoisine les 12 %, contrairement à la zone 2 où le profil calcaire est de type descendant (accumulation en profondeur), mais sa teneur reste semblable à celle de la première zone. A l'échelle des régions, la teneur moyenne en calcaire est approximativement identique, sa distribution dans le profil varie d'une région à l'autre.

Les fréquences de distribution du calcaire indique qu'environ 40 % des horizons sont faiblement calcaires (T2).

Les statistiques indiquent que le profil moyen des sols sahariens est peu gypseux (plus de 50 % des horizons étudiés, toutes catégories confondues, contiennent moins de 3 % de gypse.) et légèrement ascendant. Ce paramètre est très variable dans l'espace.

L'étude des deux zones a montré que les résultats statistiques de la zone 1, contrairement à la zone 2, sont analogues à ceux de la base entière, le profil gypseux est franchement descendant, mais les taux de gypse restent très hétérogènes dans l'espace.

Les teneurs en gypse sont variables entre les régions et au sein même de la région. De ce fait, les sols peuvent être non gypseux, peu gypseux ou très gypseux.

Les résultats ont montré que plus de 70 % des horizons des sols du Sahara sont très faiblement gypseux (G1).

Avec les mêmes analyses et la même structuration, on a étudié la distribution de la matière organique de ces sols.

Les résultats montrent que les sols sahariens sont très faiblement pourvus en matière organique (inférieure ou égale à 1 %) avec environ 90 % de la classe des très faibles teneurs (M1).

Les mêmes résultats sont obtenus pour les deux zones, avec une hétérogénéité de ce paramètre au sein des horizons de la zone 1 et de la zone 2.

Les teneurs en matière organique sont, d'une manière générale, identiques dans les différentes régions (M1). Sa distribution dans le profil est dans la majorité des cas la seule différence.

Les statistiques descriptives de la CE indiquent que le profil moyen saharien est ascendant et pourvu d'une forte salinité. En effet, les valeurs moyennes de la CE dépassent 11 dS/m. De même, les valeurs de l'étendue (0,3 à 195 dS/m) signifient que les sols sahariens peuvent être aussi bien non salés qu'extrêmement salés. Ainsi donc, la salinité est un caractère très variable en milieu saharien.

Les paramètres statistiques de la zone 1 sont analogues à ceux de la base de donnée. Par contre, la zone 2 est moins salée que la zone 1 avec un profil de distribution légèrement concave.

La salinité affecte différemment les sols des régions avec une préférence pour l'horizon de surface dans 50 % de cas. Ils font ressortir une variabilité spatiale intra et inter régions.

L'analyse de la structure des données a révélé que les sols du sud d'Algérie sont pour la plupart (35 % de cas) très fortement salés (C5), surtout dans leurs horizons de surface.

L'étude des corrélations est réalisée aussi à l'échelle de la base de données (Sahara), puis à l'échelle de deux zones (zone 1 et zone 2), et enfin à l'échelle des régions.

La première relation étudiée est celle entre le calcaire et l'argile. La tendance générale est vers une augmentation des taux de calcaire quand les taux d'argile augmentent. Néanmoins, les plus forts taux de calcaire sont obtenus pour des teneurs en argile inférieures à 20 %, les faibles valeurs (et les valeurs moyennes) du calcaire peuvent être associées à n'importe quel taux d'argile. Ainsi, les sols sahariens peuvent être à la fois très argileux (ou peu argileux) et peu calcaires (ou très calcaires). Au-delà de 30 % d'argile, le calcaire diminue dans le sol.

A quelques détails près, les résultats obtenus pour les zones 1 et 2 sont analogues à ceux obtenus dans la base entière.

A l'échelle des régions les résultats obtenus sont d'une façon générale assez semblables.

Dans la majorité des cas, les teneurs en argile ne commencent à avoir un effet sur le taux de calcaire qu'à partir du seuil de 30 % d'argile.

La corrélation entre le gypse et le calcaire dans les sols sahariens est inversement proportionnelle. Le calcaire ne commence à avoir un effet sur le taux de gypse qu'à partir de 30 % de CaCO_3 .

L'étude des zones 1, zone 2 et des régions suggère que le seuil de 20 % est la limite à partir de laquelle le calcaire influe sur le taux de gypse.

A l'échelle du Sahara, la relation entre le gypse et l'argile est négative et hautement significative. Autrement dit, quand le taux d'argile augmente, le taux de gypse diminue dans ces sols, surtout au-delà de 30 % d'argile.

A l'échelle des zones et des régions, la corrélation entre ces deux paramètres est tantôt significative et tantôt non. Le nombre de couples et les étendues de ces deux paramètres auraient un effet sur les résultats obtenus.

A l'échelle du Sahara les faibles taux de MO (< 2 %) peuvent se rencontrer aussi bien dans les sols à faibles taux de calcaire que dans les sols à forts taux de calcaire.

A l'échelle des zones la corrélation MO – calcaire entre 489 paires d'analyses est positive dans la zone 1 avec un coefficient de détermination de 0.50.

Contrairement, la corrélation de la zone 2 est négative, mais statistiquement non significative. Cela serait dû aux faibles teneurs en matière organique de cette zone (inférieures à 0.4 %). Les faibles teneurs de matière organique correspondent aux teneurs en CaCO_3 inférieures à 20 %.

A l'échelle du Sahara, la variation de la CE n'est expliquée qu'à hauteur de 0.4 % par la variation du calcaire. Cependant, la CE diminue au-delà de 30 % de carbonate de calcium.

Les droites de tendances de toutes les régions font apparaître deux tendances, la première est négative et hautement significative et la seconde positive et hautement significative. L'observation des nuages de points laisse distinguer qu'à une précision près, pour l'ensemble des études, les faibles CE sont aussi bien obtenus dans les sols dont le taux de calcaire est inférieur à 30 % que dans les sols qui contiennent des taux de carbonate de calcium qui dépassent cette teneur. La relation qui lie ces deux variables (paramètres) montre donc que le calcaire n'a d'effets sur la CE qu'à partir de 30 %.

Les fortes teneurs en gypse (taux de gypse > 40 %) ont plus d'effet sur la CE que les faibles teneurs. La conductivité électrique de ces sols diminue pour prendre les plus basses valeurs à 80 % de gypse.

Cette diminution de la CE quant les taux en gypse augmentent dans le sol a été également observée à l'échelle des zones et des régions.

Cette étude qui a été menée sur une petite surface saharienne a montré que les sols sahariens sont peu argileux, peu calcaires, peu gypseux, pauvres en matière organique et très salés.

Tous les paramètres étudiés sont très variables dans l'espace et dans le profil. Il n'y a pas de différence significative entre la zone 1 et la zone 2 pour l'argile, le calcaire et le gypse. Cependant, les horizons de la zone 2 sont moins organiques et moins salés que ceux de la zone 1. Il y a une différence entre régions pour tous les paramètres.

Il est clair que les résultats obtenus sont des résultats préliminaires qui ont permis pour la première fois de quantifier statistiquement des données pédologiques issues de sols sahariens. Ces résultats doivent être confortés par la prise en compte de toutes les études menées au Sahara et discutés et comparés aux résultats obtenus dans des régions analogues, en particulier les régions du Maghreb, le Niger, le Tchad et l'Egypte.

BIBLIOGRAPHIE

- ABBABSA S., 1992** – Termes de référence des études pour le Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes. Prêt Bird: 3405 AL. Ed. INRA, Algérie, 102 p.
- ABDESSELAM S., 1998** - Contribution à l'étude des sols gypseux au Nord du Sahara algérien : Caractérisation et genèse. Cas des oasis de Tolga (région des Ziban). Mém. mag. I.N.A. Alger, 147 p.
- A.F.E.S., 1995** - Référentiel pédologique **I.N.R.A.**, **332 p.**
- A.G.I.D., 2003 - Les grandes nappes aquifères du Sahara. Journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud.
- Min. Ress. en eau, E.P. Algérienne des eaux, A.G.I.D., Séminaire d'El Oued ; 19 et 20 Mai 2003, 3 p.
- AMZALLAG E. et PICCIOLI N., 1978** - Introduction à la statistique. Ed. Hermann. Paris, 339 p.
- A.N.R.H., 2002** - Inventaire des sols d'Algérie (1963 – 2001). Doc. A.N.R.H., direction de la pédologie, Alger, 59 P.
- ARROUAYS D., JOLIVET CL., BOULONNE L., BODINEAU G., RATIE C., SABY N. et GROLLEAU E., 2003** - Le réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) de France. Etude et gestion des sols, vol. 10, n° 4 pp 241 – 250.
- AYACHE N., 1996** - Contribution à la création d'une banque de données pédologiques

- des sols calcaires de l'Algérie du Nord. Mém. ing., I.N.A. Alger, 70 p.
- Baci L. , 1982** – Contribution à l'étude de la salinisation des sols du Hodna (w. M'sila).Mém. ing., I.N.A. Alger, 110 p.
- BAISE D., 1988** - Guide des analyses courantes en pédologie: choix, expression, présentation, interprétation. I.N.R.A., Paris, 172 p.
- BALESDENT J., 1997** - Un point sur la matière organique du sol. Cambre de l'agriculture, N° 856, pp 17 – 22.
- BARDIER P., 2002** - Cours de Mapinfo V 7.0 Livret 1.Version du cour V 1.0 ENSG / Cersig, 66 p.
- BARRY J.P., CELLESN J.C., FAUREL L., 1974** - Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Ed. E.N.A.P., Uni. d'Alger, Serv. Ecolo., 42 p.
- BATRA L., KUMAR A., MANNA M. C., CHABRA R., 1997** - Microbiological and chemical amelioration of alkaline soil by growing karnal grass and gypsum application. Experimental Agriculture, 33, 4, pp 389-397.
- BENYAHIA H., 1993** - Banque de données de sols et critères de leur cartographie. Mém. ing., I.N.A. Alger, 55 p.
- BERNOU S., 1996** - Contribution à la création d'une banque de données pédologiques des sols gypseux de l'Algérie du Nord. Mém. ing., I.N.A. Alger, 48 p
- BERRACHED A., 1996** - Etude comparative de la dynamique des sels dans les régions Sahariennes. Mém. ing., I.N.A., Alger, 61 p.
- BEZZAZ F., 1992** - Application d'une banque de données aux sols algériens. Mém. ing., I.N.A., Alger, 89 p.
- BISIN G., 1969** - Une sorcellerie moderne : la météorologie. Ed. Feynerolles, Vol. 1, Paris, 195 p.
- BOYADJIEV T.G., 1974** - Contribution to the knowledge of gypsiferous soils. AGRON / SF / SYR / 67 / 522, F.A.O Rome.
- CAPOT-REY R., (1958)** - Le vent et le modelé éolien au Borkou. Trav. I.R.S., 1958, 149-157P.
- CAPOT-REY R. ; GREMION R., 1967** - Remarque sur quelques sables Sahariens. Travaux de l'I.R.S., Tome XXIII, 7 p.
- CHABANEL D., AFFAGARD A., JACQUIER C., DOSSO M., RUELLAN A., 1975** - Approche statistique de la pédologie : un exemple d'application de méthodes d'analyses multidimensionnelles a des données pédologiques de terrain. Tiré à part, science du sol, E.N.S.A. – I.N.R.A. Rennes, pp 61 – 68.
- CHAMAYOU H. et LEGROS J.P., 1989** - Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. ACCT, presses universitaire, France, 593 p.
- CHAUHUAN R. P. S., 1992** - Comparative efficiency of gypsum and iron pyrites in sodic soil reclamation. Journal of the Indian Society of Soil Science, 40, 2, pp 404-405.
- CHIOUKH S., 1981** – Etude expérimentale de l'amélioration des propriétés d'un sol salé. Mém. ing., I.N.A., Alger, 58 p.
- C.P.C.S., 1967** - Classification des sols. Laboratoire de géologie pédologie de

l'E.N.S.A. Paris Grignons, 87p.

- DAGNELIE P., 1980** - Théorie et méthodes statistiques. Vol. 1. Ed. presses agronomiques de Gembloux, 378 p.
- DAOUD Y. ; HALITIM A., 1994** - Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse vol. 5, n°3, pp 151-161.
- DELDIME R. et DEMOULIN R., 1975** - Introduction à la psycho-pédagogie à l'usage des étudiants. Ed. O.P.U., Alger, 307 p.
- DEMANGEOT P., 1981** - Caractérisation du milieu naturel désertique. Ed. Sedes, nouv. Ed., Paris, 263 p.
- DERDOUR H., ANGERS D.A. et LOVERDIERE M.R., 1993** - Caractérisation de l'espace poral d'un sol argileux : Effet de ses constituants et du travail du sol. Can. J. soil sci. 73, pp 299 – 307.
- DESPOIS J. et RAYNAL R., 1975** – Géographie de l'Afrique du nord-ouest. Ed. Payot, Paris, 510 p.
- DJAMAI R., 1993** – Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du lac Fetzara (Annaba). Mém. mag., I.N.A., Alger, 78 p.
- DJEDDI F. et LACHKHEM A., 1995** - Création et exploitation d'une banque de données pédologique relatives aux sols a sels du Nord-ouest algérien. Mém. Ing., I.N.A., Alger, 49 p.
- DJILI K. et KESLANI R., 1996** - Banque de données et contrôle de l'information pédologique. Un exemple d'application aux sols d'Algérie du Nord. Ann. de l'I.N.A., vol. 16, n°1 et 2, pp 97- 112.
- DJILI K., 2000** - Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Création d'une banque de données informatisées et utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la valorisation des données pédologiques. Thèse de doc., I.N.A., Alger, 243 p.
- DJILI K., DAOUD Y., GAOUAR A. et BELDJOUDI Z., 2003** – La salinisation secondaire des sols du Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. Cahier sécheresse, 14(4), pp 241-246.
- DOUAOUI A., 1993** - Contribution à l'étude des sols des plaines du Chellif. Variabilité spatiale de quelques propriétés physico-chimiques des sols du moyen Chellif. Incidences cartographiques. Mém. mag., I.N.A. Alger, 129 p.
- DRESCH J., 1982** – Géographie des régions arides. Ed. presses universitaires de France, 277 p.
- DUBIEF J., 1959** - Le climat du Sahara
Travaux de l'I.R.S., Tome I, mém. H.S., 109 cartes h.t., 312 p.
- DUBOST D., 1991** - Ecologie, aménagement et développement agricole des Oasis algérienne. Thèse de Doctorat-Rés., Uni. Tours, 541 p.
- DUCHAUFOR P., 1965** - Précis de pédologie. Deuxième Ed. Masson et Cie, Paris, 481 p
- DUCHAUFOR P., 1979** - Pédologie T2. Constituants et propriétés des sols. Ed. Masson, Paris, 459 p.

- DURAND J.H., 1954** - Les sols d'Algérie. S.C.H., S.E.S., pédologie n° 2, 244 p.
- DURAND J.H., 1983** - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. presses universitaires de France, 339 p.
- FALIPOU P. et LEGROS J.P., 2002** - Le système STIPA-2000 d'entrée et édition des données pour la base nationale de sols DONESOL II. Etude et gestion des sols, vol. 9, n°1, pp 55 – 70.
- F.A.O., 1990** - Management of gypsiferous soils. F.A.O. bull. n° 62, Rome, 98 p.
- FEDERROF N.; COURTEY M.A., 1989** - Indicateurs pédologique d'aridification : Exemple du Sahara. Bull. Soc. Géol. France, (8) t., vol. n°1, pp 43 - 53.
- FLORET C., 1982** – L'aridité en Tunisie présaharienne. Climat, sol, végétation et aménagement. Travaux et document de l'O.R.S.T.O.M., Paris, 544 p.
- GASCUEL-ODOUX C., 1984** - Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol. Thèse de doc. ing. E.N.S.M Fontainebleau & E.N.S.A.-I.N.R.A. Rennes, 235 p.
- GAUCHER G., 1981** - Traité de pédologie agricole. Les facteurs de la pédogenèse. Ed. Dunod, Paris, 697 p.
- GRAINGER A., 1983** – La désertification. Un dossier Earthscan. Institut international de l'environnement et du développement, Ed. Harmattan, Paris, 119 p.
- HADID R., 1992** – Fertilisation des céréales en milieu salé saharien : Essai de transformation des eaux d'irrigation en solution nutritive. Mém. ing., I.N.A., Alger, 52 p.
- HALITIM A., 1988** - Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U. Alger, 384 p.
- HAMDI-AISSA B., 2001** – Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doc., INA-PG, France, Agronomie et Environnement, dynamique des milieux et organisation spatiale, 195 p.
- I.N.C.T., 1998** - Un S.I.G. du Recensement Général de la Population et de l'Habitat. I.N.C.T., Alger.
- I.N.R.A., 2003** – Carte pluviométrique, feuille au 1 / 6.250.000. Moyenne de 25 années (1926 – 1950). Dépt. SIG, INRA, Algérie.
- JAFARZADEH A.A. et BURNHAM C.P., 1992** - Gypsum gystols in soils. Journal of soil science, vol. 43, n° 3, pp 409 – 420.
- JAMAGNE M., HARDY R., KING D. et BORNAND M., 1995** - La base de données géographique des sols de France. Etude et gestion des sols, vol. 2, n°3, pp 153 – 172.
- JAMAGNE M., King D., D aroussin J., Le Bas C., 1993** - Evolution et état actuel des programmes européens de connaissance et de gestion des sols. Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux, 28, 2-3, pp 135 - 163.
- KESLANI R., 1992** - La banque de données des études pédologiques réalisées à l'I.N.A. Mém. Ing., I.N.A., Alger, 61 p.
- KING D., 1984** – Analyse de quelques concepts en cartographie des sols basés sur une automatisation des cartes dérivées. Agronomie, vol. 4(5), pp 461-470.

-
- LAROUSSE, 2001**- Encyclopédie Ed. françaises, librairie Larousse, 1304 p.
- LEGROS J.P. et BORNAND M., 1992** – Cartographie numérique. Premier bilan. Tiré à part, I.N.R.A., France, pp 48-56.
- LEGROS J.P., 1978** – Etude bibliographique. Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. Ann. Agro., vol. 29(5), pp 499-519.
- LEGROS J.P., FALIPOU P., DURANT DIVOL F., 1992** - Vérification de la qualité de l'information dans les bases de données de sol. Science du sol, Vol. 30, 2, pp 117-131.
- LOUKILI M., BOCK L. ENGEL P. et MATIEU L., 2000** - Approche géomorpho-pédologique et système d'information géographique (sig) pour la gestion des terres au Maroc. Etude et gestion des sols, vol. 7, n° 1, pp 37 – 52.
- LOZET J. et MATHIEU C., 1990** - Dictionnaire de science du sol. Deuxième Ed., Lavoisier, Paris, 383 p.
- MALEY N., 1980** - Les changements climatiques de la fin du tertiaire en Afrique : Leur conséquence sur l'apparition du Sahara et de sa végétation. In the Sahara and the Nile: Quaternary environments and the prehistoric occupation in northern Africa. U.S.T.L. Montpellier, France : pp 63 – 86.
- MARTIN A.J.W. et FAURE H., 1980** - the Sahara and the Nile: Quaternary environments and the prehistoric occupation in northern Africa. Ed. collectif, 775 p.
- MATOUB N., 1994** - Evaluation de l'état de fertilité potassique des sols de l'Algérie du Nord. Mém. ing., I.N.A., Alger, 55 p.
- MEDIOUNI K., 1997** - Organisation et potentialités de la diversité biologique algérienne. Min. Envi., Tome II, Projet Alg. / 97/ G31/ FEM / PNUD, 158 p.
- MOKADEM A. et BOLLEN G., 1998** - La carte des sols dans un SIG : application au classement des terres. Rapport de la journée a thème conjointe des sociétés Belge de pédologie et de génie rural. Faculté universitaire des sciences agronomique de Gembloux. Unité de geopédologie, 28 p.
- NOLIN M.C. et CAILLIER M.J., 1992** - La variabilité des sols. III - Stratégie d'échantillonnage. Agrosol, vol. 5, n° 2, pp 69- 76.
- PEDRO G., 1984** - La genèse des argiles pédologiques. Ses implications minéralogiques, physico-chimiques et hydriques. Sciences géologiques. Sci. Geo. Bull. 37, 4, pp 333-347.
- POUGET M., 1968** - Croûte et encroûtement gypseux de nappe dans le sud tunisien. Cah. ORSTOM, sér. pédol., Vol VI N° 3 – 4 pp 310 – 365.
- RUELLAN A., 1984** - Les sols calcaires. Les principaux travaux de pédologues français. A.F.E.S., livre jubilaire du cinquantenaire, 1934 –1984, pp 111 – 118.
- SABY N., SCHVARTZ C., WALTER C., ARROUAYS D., LEMERCIER B., ROLAND N. et SQUIVIDANT H., 2004** - Base de données d'analyses de terres. Procédure de collecte et résultats de la campagne 1995-2000. Etude et gestion des sols, vol. 11, n° 3, pp 235 – 253.
- SALAH D., 1994** - Evaluation de l'état de fertilité phosphatée des sols d'Algérie. Mém. ing., I.N.A., Alger, 76 p.
-

- SCHVARTZ C., WALTER C., CLAUDOT B., BOUEDO TH., AUROUSSEAU P., 1997** – Synthèse nationale des analyses de terres réalisées entre 1990 et 1994. Constitution d'une banque de données cantonales. Etude et gestion des sols, vol. 4, n° 3, pp 194 – 204.
- TEISSIER M., 1965** - Les crues d'oueds au Sahara Algérien de 1950 à 1961. Trav. I.R.S., Tome XXIV , 29 p.
- TOUAF L., 2001** - Evaluation du niveau de salinité des sols du Nord de l'Algérie. Mém. mag., I.N.A., Alger, 71 p.
- TRANCHEFORT J., 1974** - La régression. Application à l'agronomie. Bureau d'études statistiques de l'I.T.C.F., Paris, 178 p.
- U.S.D.A., 1994** - Keys to soil Taxonomy. Soil conservation service, United States Department of Agriculture, sixth edition, 306 p.
- VAUCLIN M., 1982** - Méthodes d'études de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. Ed. I.N.R.A., pub : Les colloques de l'I.N.R.A. n°15. Paris, pp 9 – 43.
- VESSEREAU A., 1988** - Méthodes statistiques en biologie et en agronomie. C.E.R.E.S.T.A., techniques et documentation. Ed. Lavoisier, deuxième édition, 538 p.
- vieillefon J ., 1979** – Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux. Cah. Orstom, sér. Pédol., vol. XVII, 3, pp 195-223.
- VOLTZ M., 1986** - Variabilité spatiale des propriétés physiques du sol en milieu alluvial. Essai de cartographie quantitative des paramètres hydrodynamiques. Thèse de doc. ing. E.N.A.M. de Montpellier, 198 p.
- WALTER C., 1990** - Estimation de propriétés du sol et quantification de leur variabilité a moyenne échelle : Cartographie pédologique et géostatistique dans le sud de Lille et Vilaine (France). Thèse de doc. de l'université de Paris 6, 172 p.
- WATSON A., 1985** - Studies of gypsum crust in southern Tunisia and the central Namib desert. DAI Boston M.A. 0213H, U.S.A., pp 28-44

ANNEXES

Annexe 1 : Fiches Analytiques

PARAMETRE										
										pH CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂
METHODE D'ANALYSE										
										pH CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂
PREPARATION DE L'ECHANTILLON										
										CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂
SCHEMATA REPRESENTATIF										
										CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂
L'EXPLICATION DES RESULTATS										
										CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂
										CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂
REMARQUES										
										CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂ CaCl ₂

Tableau 1: Fiche analytique n° 1

Produit net (t/m)						
Chaux						
Acier (tonne %)						
Alumine %						
INDICATEURS						
capit. %						
Chaux vit. %						
Alumine vit. %						
Alumine %						
Alumine vit. %						
CaO vit. %						
MAGNÉSIE (mg/kg)						
MgO (mg/kg)						
Chaux vit. %						
Acier %						
CaO						
CaO vit. %						
CaO vit. %						
CaO vit. %						
CaO vit. %						
BASES INOXYDABLES (groupé) (de est.)						
CaO+						
MgO+						
Zn						
Mn						
S						
P						
CaO vit. %						
SOLUTION DU SUIV						
DE						
Conductivité (µmhos/cm)						
CaO (mg/kg)						
MgO (mg/kg)						
Ca (mg/kg)						
Ca+Mg (mg/kg)						
Ca+Mg (mg/kg)						
Ca+Mg (mg/kg)						
Ca (mg/kg)						
Ca (mg/kg)						
Ca						
CaO vit. %						
CaO vit. %						
CaO vit. %						
CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES						
Densité (g/cm ³)						
Densité (g/cm ³)						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
pH						
TITRES						
CaO						
CaO						

Tableau 2: Fiche analytique n° 2

	Titulaire	Titre (ANRH)	Titre (ANRH)
ANALYSES	p	%	%
	Eq	%	%
	Lq	%	%
	S	%	%
	S ₀	%	%
GÉOMÉTRIE	PI	%	%
	C	cm ³	cm ³
	L	cm ³	cm ³
MATIÈRE ORGANIQUE	C _{org}	%	%
	C _{tot}	%	%
NÉCESSAIRES NUMÉRIQUES	C _{tot} (g/kg)	%	%
	C _{org} (g/kg)	%	%
	C _{tot} (g/kg)	cm ³ /100g	cm ³ /100g
	C _{org} (g/kg)	cm ³ /100g	cm ³ /100g
COMPLÈTES DES UNITÉS (ANRH)	PI	cm ³ /100g	cm ³ /100g
	L	cm ³ /100g	cm ³ /100g
	S	cm ³ /100g	cm ³ /100g
	S ₀	cm ³ /100g	cm ³ /100g
Des valeurs valides (ANRH)	S ₀ (g/kg)	%	%
	PI	%	%
SOLUTIONS EN SOL	C _{tot}	mg/kg	mg/kg
	C _{org}	mg/kg	mg/kg
	S ₀	mg/kg	mg/kg
	PI	mg/kg	mg/kg
	C _{tot}	mg/kg	mg/kg
	C _{org}	mg/kg	mg/kg
	PI	mg/kg	mg/kg
	PI	mg/kg	mg/kg
CARACTÈRES NUMÉRIQUES	C _{tot} (g/kg)	mg/kg	mg/kg
	C _{org} (g/kg)	mg/kg	mg/kg
	PI (g/kg)	mg/kg	mg/kg
	PI (g/kg)	mg/kg	mg/kg
	PI (g/kg)	mg/kg	mg/kg
	PI (g/kg)	mg/kg	mg/kg

Tableau 3: Comparaison des unités de deux fiches analytiques de l'ANRH

Annexe 2 : Résultats statistiques

Paramètre	Argile				Limon				Sable				C _{tot}				Unités des valeurs
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
BENELUX	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	8	8	10	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Tableau 1: Résultats statistiques de la banque

Variables	Argile			Calcaire			Gypse			MO			CE			statistique descriptive		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17
Moyenne	10,24	7,0294	15,215	12,71	12,01	11,34	11,04	10,545	11,915	11,101	0,4001	0,268	0,1011	24,001	15,515	12,811	10,215	12,811
	8	8	0	8,5	8,2	8,2	8,2	8,66	1,704	0,4	0,3	0,3	0,3	17,08	11,1	7,8	11,1	7,8
Ecart type	4	4	0	4	4	4	4	3,8	3,8	0,8	0,3	0,00	0,01	4	4	4	4	4
	12,71	11,66	13,026	11,607	11,113	10,617	10,121	9,625	7,6179	7,6179	0,702	0,463	0,1022	26,81	17,02	11,507	11,507	11,507
Ecart type	17,911	20,24	17,514	12,71	12,01	11,34	11,04	10,545	11,915	11,101	0,4001	0,268	0,1011	24,001	15,515	12,811	10,215	12,811
	10,24	7,0294	15,215	12,71	12,01	11,34	11,04	10,545	11,915	11,101	0,4001	0,268	0,1011	24,001	15,515	12,811	10,215	12,811
0	0	0	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

Tableau 2: Résultats statistiques de la Zone 1

Variables	Argile			Calcaire			Gypse			MO			CE			statistique descriptive		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17
Moyenne	24,652	24,652	17,778	17,778	20,702	20,702	20,702	0,7	0,7	0,441	0,002	0,774	0,002	17,916	14,757	14,757	14,757	14,757
	20	20	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,4	0,1	0,05	0,05	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4
Ecart type	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4
	10,528	10,528	15,708	10,007	10,803	7,922	7,922	7,922	7,922	0,122	0,002	0,610	0,8803	18,7	10,708	18,7	18,7	18,7
Ecart type	20,40	20,40	17,076	15,00	14,803	10,104	10,104	0,7	0,7	0,15	0,002	0,257	0,4404	10,27	0,4477	10,27	10,27	10,27
	0,173	0,173	0,130	0,172	0,033	0,822	0,822	0,7	0,7	0,203	0,002	0,275	0,880	18,7	11,75	11,75	11,75	11,75
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,0	0,00	0,00	0,44	0,4	0,44	0,44	0,44
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 2-a: Résultats statistiques d'Abadla

Variables	Argile			Calcaire			Gypse			MO			CE			statistique descriptive		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17
Moyenne	3	3,95	7	1,74	1,005	1,207	1,207	1,943	1,406	0,34	0,005	0,025	11,74	15,821	24,80	15,821	15,821	15,821
	3	6	6	1,207	1,207	0,95	1,11	1,71	1,4	0,75	0,02	0,07	8,77	10,14	18,03	18,03	18,03	18,03
Ecart type	0	0	0	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,00	0,1	0,8	0,804	0,706	0,706	0,706	0,706
	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45
Ecart type	11,125	12,01	11,4	11,407	11,903	11,403	11,403	11,403	11,403	0,012	0,005	0,014	12,64	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45
0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tableau 2-b: Résultats statistiques d'Ait Messaoud

Variables	Argile			Calcaire			Gypse			MO			CE			statistique descriptive		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17
Moyenne	0,2050	0,2278	3,4107	5,0704	3,0182	0,8182	0,7	0,7	0,7	0,2618	0,261	0,049	0,049	10,049	15,80	15,80	15,80	15,80
	6	6	6	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74
Ecart type	0	0	0	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050
Ecart type	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025
	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025
0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tableau 2-c: Résultats statistiques d'Aoulef

Variables	Argile			Calcaire			Gypse			MO			CE			statistique descriptive			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17	18
Moyenne	2,028	10,75	8,3800	8,3811	2,8710	1,0228	0,0017	0,5088	2,187	0,08	0,7	2,0000	1,075	5,0750	10,75	10,75	10,75	10,75	
	8	8,5	6	1,7	2,24	0,8	0,75	0,20	0,7	0,70	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Ecart type	0	0	0	0,2	0,8	0,3	0,35	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Ecart type	7,110	7,303	7,084	1,571	1,0130	0,7387	0,702	0,720	0,717	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tableau 2-d: Résultats statistiques de Méguiden

Variables	Argile			Limon			Sable			MO			CE			Indicateur composite
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Moisture	10,297	10,297	10,297	0,7873	0,7873	0,7873	0,2227	0,2227	0,2227	0,29	0,29	0,29	0,2228	0,2228	0,2228	0,2228
Saturat	8	8	8	0,34	0,34	0,34	0,66	0,66	0,66	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
	18,327	11,105	11,375	0,3253	11,503	10,161	0,008	0,2203	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703
	191,04	200,53	145,18	0,4271	1,0383	1,0671	1,0391	1,0391	1,0391	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074
	87,546	10,273	0,2071	0,5273	10,43	85,884	10,43	90,57	27,05	67,163	50,04	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074
	0	0	0	0,3	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,37	0,11	0,11	0,1	0,1	0,02	0,02
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tableau 2-e: Résultats statistiques de Saoura

Variables	Argile			Limon			Sable			MO			CE			Indicateur composite
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Moisture	10,297	10,297	10,297	0,7873	0,7873	0,7873	0,2227	0,2227	0,2227	0,29	0,29	0,29	0,2228	0,2228	0,2228	0,2228
Saturat	8	8	8	0,34	0,34	0,34	0,66	0,66	0,66	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
	18,327	11,105	11,375	0,3253	11,503	10,161	0,008	0,2203	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703	0,2703
	191,04	200,53	145,18	0,4271	1,0383	1,0671	1,0391	1,0391	1,0391	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074
	87,546	10,273	0,2071	0,5273	10,43	85,884	10,43	90,57	27,05	67,163	50,04	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074
	0	0	0	0,3	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,37	0,11	0,11	0,1	0,1	0,02	0,02
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tableau 2-f: Résultats statistiques de Sbâa

Variables	Argile			Limon			Sable			MO			CE			Indicateur composite
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Moisture	0,324	0,324	0,324	0,676	0,676	0,676	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324
Saturat	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tableau 2-g: Résultats statistiques de Sbâa-Tsabit

Variables	Argile			Limon			Sable			MO			CE			Indicateur composite
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Moisture	0,324	0,324	0,324	0,676	0,676	0,676	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324
Saturat	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tableau 2-h: Résultats statistiques de Tézdaia

Variables	Argile			Limon			Sable			MO			CE			Indicateur composite
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Moisture	3,1132	3,1132	3,1132	0,8868	0,8868	0,8868	0,1132	0,1132	0,1132	0,1132	0,1132	0,1132	0,1132	0,1132	0,1132	0,1132
Saturat	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
	0,407	0,407	0,407	0,593	0,593	0,593	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tableau 2-i: Résultats statistiques de Touat-Gourara

Variables	Angle			Talaure			Dyane			MU			CF			Indicateur de complexité
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Tousdit	18	7	15	30	34	33	0,07	0,06	0,07	0	0	0	2	1	3	0,106
	2	1	2	10	12	2	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.294,4	2.122,9	1.229,9	1.244,9	1.144,4	2.284,4	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001
	47	4	15	7.007	1.407	5,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001
	11.880	100	810,3	24.012	24.727	112,01	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001
0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	
0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	
0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	
0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	

Tableau 2-j: Résultats statistiques de Tousdit

Variables	Angle			Talaure			Dyane			MU			CF			Indicateur de complexité
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Zoufana	22.071	25.253	25.444	11.202	40.544	1.204	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	23	27,5	30	11,45	14,31	0,18	0,8	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11.501	1.380	11.007	1.081	5.703	0,701	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	11.000	14.011	14.011	10.000	10.011	10.011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tableau 2-k: Résultats statistiques de Zoufana

Variables	Angle			Talaure			Dyane			MU			CF			Indicateur de complexité
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Gouffo	11,159	13,168	14,676	0,300	0,370	5,374	0,5	0,507	10,608	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
	8	8	10	8,04	12	12	0,3	1,4	3,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13,463	13,202	13,745	0,110	0,047	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	10,7	12,500	12,207	0,101	45,48	28,7	0,003	149,24	0,0014	0,00048	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tableau 3: Résultats statistiques de la Zone 2

Variables	Angle			Talaure			Dyane			MU			CF			Indicateur de complexité
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
M'guébra	3,2	1,3711	3,89	0,875	0,022	10,074	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2,8118	2,1437	3,800	0,0113	0,0113	1,803	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tableau 3-a: Résultats statistiques de M'guébra

Variables	Angle			Talaure			Dyane			MU			CF			Indicateur de complexité
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
M'ra	5,846	21,746	21,486	0,04	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001
	28	17,8	17	0,81	0,82	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14,017	15,607	14,027	0,004	0,004	0,004	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001
	100,00	27,138	10,82	27,138	20,203	85,023	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tableau 3-b: Résultats statistiques de M'ra

Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie.

Centrales	Argile			Calcaire			Sable			40			70			Indiqués descriptifs
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Zélfana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Moussu
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Moussu
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Moussu
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Moussu
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Moussu

Tableau 3-c: Résultats statistiques de Zélfana