

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret-
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences de la Nature & de la vie



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master académique
Domaine : Science de la Nature et de la Vie
Filière : "Sciences Biologiques"
Spécialité: "Ecosystèmes steppiques et Sahariens"

Présenté par :
Mlle. GHARNOU Aicha

THÈME :
Influence du pH du sol sur le phosphore assimilable dans une zone semi-aride : Cas de la Région de Ksar Chellala(Wilaya de Tiaret).

Soutenu publiquement le

Jury :

Présidente : Mme. OULBACHIR Karima

Promoteur : Mr. BENAHMED Mohamed

Co-encadreur: /

Examineur : Mr. OUADAH Sahraoui

Année universitaire : 2017-2018

Dédicaces

Je rends grâce à Dieu le tout puissant et miséricordieux pour m'avoir donné la force et les moyens de suivre cette formation.

Je dédie ce modeste travail à celui qui a éclairé mon chemin et sans lui je n'aurais Jamais arrivé à ce que je suis aujourd'hui mon père Abed El Kader

A la lumière de ma vie ma mère qui m'a soutenu dans le pire et m'a partagée mes peines ; A mes frères : Ahmed, Mohamed, et surtout ma cher Farouk qui m'aide avec sa protection et ces conseils.

A mes sœurs : Mimouna, Aya, Asmaa, kholoud, Naima, Sabah, Hanene, Jasmine.

A mes oncles Rabeh, M'hamed, Arbie,

A mon cher ami : Djabari Amine

A mes enseignants et surtout Mr. Benahmed. M, Mr. Ouadhah. S, MrTadj, Mr.Dahmani. W, Mr Dahman. djamel, Mr. Behih. Din, Mr. Abdeslam.

A mes ami(es) et mes collègues et étudiants de ma promotion de 2^{ème} année Master « écosystème steppique et saharien » sans exception.

Remerciements

« Celui qui ne remercie pas les gens, ne remercie pas Allah »

Je remercie le bon Dieu qui (ALLAH) qui m'a donné la force et le courage d'accomplir ce travail. Et m'a prie qui ne sera pas le dernier et min grand salut sur le premier éducateur notre prophète Mohamed.

Je tiens à exprimes mes remerciements :

A monsieur BENAHMED Mohamed, mon promoteur pour avoir encadré et dirigé ce travail.

Je souhaite également remercie les membres de jury qui m'a a fait profiter de ses précieuses remarques avec nos profonds respects

Je remercie Madame OULBACHIR Karima, D'avoir accepté de présider jury

Monsieur OUADAH Sahraoui, D'avoir accepté d'examiner ce travail

A Monsieur Tadj. et monsieur Ouadhah.s et monsieur Dahmani W. pour toute l'aide qu'il m'a apporté.

Je remercie Mr Dahmandjamal et Mr BehihDin responsables du laboratoire de l'INSID de Ksar Chellala et Mr Boudaoud Directeur de l'INSID de ksar Chellala et toute l'équipe du service du laboratoire de l'INSID de Ksar Chellala pour leur précieuse aide et collaboration.

Je voudrai terminer en remerciant ma famille pour le soutien et les encouragements qu'ils madonné. Un gros merci pour tous et c'est encoure peu de le dire.

A tous et à toutes, je leurs dis Merci

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale..... 01

Première Partie : Synthèse Bibliographique

Chapitre I :Le Sol

I.1. Principaux composants du sol.....	02
I.1.1. Une fraction minérale.....	02
I.1.2. Des organismes vivants.....	02
I.1.3. De l'humus.....	02
I.2. Évolution d'un sol.....	02
I.3. Caractéristiques physicochimiques du sol.....	03
I.3.1. La texture.....	03
I.3.1.1. L'étude granulométrique.....	04
I.3.1.1.1. Les argiles.....	04
I.3.1.1.2. Les limons (ou silts).....	06
I.3.1.1.3. Les Sables.....	07
I.3.1.2. Classification des textures.....	08
I.3.1.2.1. Texture sableuse.....	08
I.3.1.2.2. Texture limoneuse.....	08
I.3.1.2.3. Texture argileuse.....	08
I.3.1.2.4. Texture équilibrée (ou franche).....	08
I.3.2. La Structure.....	09
I.3.2.1. Définition.....	09
I.3.2.2. Origine des structures.....	09
I.3.2.3. Les types de structure.....	10
I.3.2.4. Stabilité de la structure.....	11
I.3.2.5. Les actions structurantes.....	11
I.3.2.5.1. Influence des calcaires.....	11
I.3.2.5.2. Influence de l'argile.....	11
I.3.2.5.3. Action de la faune et les micro-organismes du sol.....	11
I.3.2.6. Alternance humectation-dessiccation.....	12
I.3.2.7. Importance de la structure.....	12
I.3.3. La densité réelle et la densité apparente du sol.....	13

I.3.3.1. La porosité totale.....	13
I.3.3.2. Influence de la texture du sol sur sa porosité.....	13
I.3.3.3. Influence de la matière organique sur la porosité.....	13
I.3.4. Conductivité hydraulique.....	14
I.3.5. La capacité de rétention du sol en eau.....	14
I.3.6. La matière organique.....	14
I.3.7. Le Calcaire (CaCO ₃).....	14
I.3.7.1. Propriétés des sols calcaires.....	15
I.3.8. Le pH du sol.....	15
I.3.9. La conductivité électrique.....	16

Chapitre II :Le phosphore dans le sol

II.1. Découverte de phosphore.....	17
II.3. Origine du phosphore.....	18
II.3.1. Origine ignée.....	18
II.3.2. Origine sédimentaire.....	18
II.3.3. Origine diverses.....	18
II.4. Différents états du phosphore dans le sol.....	18
II.4.1. Phosphore total.....	18
II.4.2. Phosphore minéral.....	19
II.4.3. Phosphore organique.....	19
II.4.4. Phosphore assimilable.....	19
II.5. Phosphore dans le sol.....	20
II.5.1. Le phosphore insoluble des roches mères ou rétrogradé.....	21
II.5.2. Le phosphore sous la forme organique.....	22
II.5.3. Le phosphore absorbé sur les argiles.....	22
II.5.4. Le phosphore de solution du sol.....	22
II.5.5. Le phosphore facilement échangeable.....	23
II.6. Le pH et les formes de phosphore dans le sol.....	23

Deuxième Partie : Matériel et Méthodes

I. Objectif du travail.....	24
II. Présentation de la zone d'étude.....	24
II.1. Localisation.....	24
II.2. Géologie.....	25
II.3. Ressources en eaux.....	26

II.4. Ressources en sols.....	26
II.4.1. Sols peu évolués.....	26
II.4.1.1. Les sols peu évolués d'érosion.....	26
II.4.1.2. Les sols peu évolués d'apport alluvial.....	27
II.4.1.3. Sols Calcimagnésiques.....	27
II.4.1.4. Les Rendzines.....	27
II.4.1.5. Les sols bruns calcaires.....	27
II.5. Etude climatique.....	28
II.5.1. Précipitations.....	28
II.5.2. Température.....	29
II.5.3. Synthèse climatique.....	29
II.5.3.1. Quotient pluviométrique d'Emberger.....	29
II.5.3.2. Diagramme ombrothermique de Bagnoles et Gausсен.....	30
III. Echantillonnage.....	31
IV. Analyses physico-chimiques du sol.....	31
IV.1. Analyse granulométrique.....	31
IV.2. Mesure de la densité apparente.....	32
IV.3. L'humidité.....	33
IV.4. Le pHeau.....	33
IV.5. Le pHKCl.....	33
IV.6. La conductivité électrique (CE).....	33
IV.7. Le calcaire.....	34
IV.7.1. Le calcaire total.....	34
IV.7.2. Le calcaire actif.....	34
IV.8. Dosage de carbone organique.....	34
IV.9. Matière organique.....	35
IV.10. Le phosphore assimilable.....	35

Troisième Partie : Résultats & Discussion

I. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques.....	36
I.1. Analyse granulométrique.....	36
I.2. Variation de la teneur en phosphore assimilable (P₂O₅) dans le sol.....	36
I.2.1. Influence de l'humidité (%).....	37
I.2.1. Influence du pH.....	39
I.2.3. Influence de la CE.....	41

I.2.4. Influence du calcaire (CaCO₃).....	42
I.2.4.1. Le calcaire total.....	42
I.2.4.2. Le calcaire actif.....	44
I.2.5. Influence de la matière organique (%)......	46
Conclusion générale.....	48
Références bibliographiques.....	49
Résumé	

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Position du phosphore dans le tableau périodique.....	17
Figure 02: Cycle du phosphore en sol calcaire.....	20
Figure 03: Effet du pH sur la dynamique du phosphore assimilable dans le sol.....	23
Figure 04: Situation géographique de la zone d'étude.....	24
Figure 05 : Le climagramme d'Emberger de la zone d'étude (2002-2016).....	30
Figure 6: Diagramme ombrothermique de BangnoletGaussen de la zone d'étude (2002-2016).....	31
Figure 07: Le triangle texturale des sols.....	32
Figure 08: Variation de la teneur en P_2O_5 durant les trois périodes de prélèvement	37
Figure 09: Variation de l'humidité durant les trois périodes de prélèvement.....	38
Figure 10: Variation de la teneur en P_2O_5 en fonction de l'humidité du sol durant les trois périodes de prélèvement.....	39
Figure 11: Variation du pH durant les trois périodes de prélèvement.....	40
Figure 12: Variation de la teneur en P_2O_5 en fonction du pH durant les trois périodes de prélèvement.....	40
Figure 13: Variation de la CE durant les trois périodes de prélèvement.....	42
Figure 14: Variation de la teneur en $CaCO_3$ total durant les trois périodes de prélèvement.....	43
Figure 15: Variation de la teneur en P_2O_5 en fonction du $CaCO_3$ total durant les trois périodes de prélèvement.....	43
Figure 16: Variation de la teneur en $CaCO_3$ actif durant les trois périodes de prélèvement.....	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Fractions granulométriques du sol.....	04
Tableau 02 : Caractéristique des principales argiles du sol.....	06
Tableau 03 : Différents types de textures d'après.....	08
Tableau 04 : Régime annuel des précipitations,(2002-2016)	28
Tableau 05 : Régime mensuel des précipitations (2002-2016).....	28
Tableau 06 : Régime pluviométrique saisonniers (2002-2016).....	28
Tableau 07 : Température moyenne mensuel annuel de la zone d'étude, (ONM (2002-2016), Ksar Chellala).....	29
Tableau 08 : Température moyenne mensuel et précipitation mensuel de la zone d'étude (2002-2016).....	30
Tableau 09 : Analyse granulométrique des échantillons étudiés.....	36
Tableau 10 : La teneur en P₂O₅ des sols étudiés.....	37
Tableau 11 : L'humidité (H%) des sols étudiés.....	37
Tableau 12 : Le pH des sols étudiés.....	39
Tableau 13 : La CE des sols étudiés.....	41
Tableau 14 : Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol.....	42
Tableau 15 : Le CaCO₃total dans les sols étudiés.....	42
Tableau 16 : Le CaCO₃ actif dans les sols étudiés.....	44
Tableau 17 : Norme d'interprétation de la matière organique.....	
Tableau 18 : La teneur en matière organique.....	47

LISTE DES ABREVIATIONS

°C : Degrés Celsius

CE : Conductivité électrique

dS/m : Décisiemens par mètre

Ech : Echantillon

Km : Kilomètre

m : Mètre

m/s : Mètre par seconde

m³/s : Mètre cube par seconde

méq/l : Milliéquivalent par litre

mg/l : Milligramme par litre

mm : Millimètre

MO : Matière organique

mol : Mole

mS/cm : Millisiemens par centimètre

N : Normalité

O.N.M : Office National Météorologique

P : Précipitation

pH : Potentiel d'hydrogène

T : Température

V : Volume

µm : Micromètre

INSD : Institut National des Sols et d'Irrigation et Drainage.

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

Introduction Générale

Introduction Générale

Le sol est un milieu fragile et très complexe, trop longtemps considéré comme un simple support de l'agriculture. C'est un milieu vivant, interface entre la biomasse, l'atmosphère et l'hydrosphère.

Les sols des zones steppiques, qui reposent le plus souvent sur des formations marneuses et gréseuses, en souffrent davantage à cause des contraintes suscitées. Cette dégradation du sol affecte ainsi leur fertilité, d'où leurs réserves en matières organiques et minérales appauvries (Frossard et *al*, 1996).

Le phosphore dans le sol doit être caractérisé dans le but d'établir un diagnostic du comportement des cultures, d'élaborer un pronostic sur la fertilité phosphorée d'un sol et des recommandations en matière de fertilisation.

L'irrigation est considérée comme un moyen de compensation, comme un moyen de production de biomasse végétale et surtout comme moyen de changement de la qualité des sols du point de vue chimique, physique et biologique. Elle joue un rôle très important dans les régions caractérisées par des précipitations faibles et irrégulières, des températures, des taux d'évaporation élevés.

C'est dans ce contexte que nous avons essayé de déterminer l'effet du pH du sol et quelques paramètres physico-chimiques sur la mobilité du phosphore assimilable dans un sol steppique sous l'effet des eaux d'irrigation souterraines. Notre expérimentation a été réalisée en conditions climatiques semi-arides de la région de Ksar Chellala.

Notre travail est divisé en trois parties, en premier lieu partie bibliographique divisée en deux chapitres : le premier sur le sol et le deuxième sur le phosphore dans le sol. En deuxième lieu partie expérimentale consacrée à la présentation de la zone d'étude, l'échantillonnage et les analyses physico-chimiques du sol. La troisième partie est consacrée aux résultats et discussion. Enfin une conclusion générale.

Première Partie
Synthèse Bibliographique

Chapitre I

Le sol

Chapitre I : Le Sol

I.1. Principaux composants du sol

Le sol est un système complexe formé de très nombreux composants minéraux et organique soumis à des phénomènes physique, chimique et biologique en constante interaction. Il comprend :

I.1.1. Une fraction minérale

Faite de fragments de roche issus du sous-sol comprenant, du plus fins au plus gros, des argiles, des limons, des sables, et d'anion comme les anions phosphate, (PO_4^{3-}), sulfate (SO_4^{2-}) et nitrate (NO_3^-). Les silicates tels les argiles, constituent 95% des roches de la croûte terrestre ; quant au grain de sable, il s'agit d'un cristal de quartz, forme cristalline de la silice. (Duchaufour, 1988).

I.1.2. Des organismes vivants

Racines, champignons, invertébrés, quelques, vertébrés et une multitude de micro-organismes qui transforment la matière organique en matière minérale.

I.1.3. De l'humus

Matière organique en cours de minéralisation essentiellement issue des feuilles mortes, cadavres, excréments. Système vivant, le sol contribue à la pérennisation des cycles de la matière comme ceux de l'azote, du carbone, du phosphore, du soufre...

En surface, les roches soumises à des variations de température, au vent et à l'eau éclatent en fragments de plus en plus petits. On parle de (gélifraction), d'érosion éolienne et hydrique. Transportés plus ou moins loin par l'eau et le vent, ceux-ci se déposent sous forme d'argiles, de sables et de limons et constituent la fraction minérale d'un sol. Dans le sol, de nombreux phénomènes chimiques interviennent, telle l'hydrolyse et la dissolution des carbonates. Ils dépendent des conditions de pH, d'humidité, de température, d'oxygénation du milieu, ainsi que de la diversité des êtres vivants.

Des molécules de toute nature vont échanger et mettre en commun, des «électrons », en quantité plus ou moins grande et plus ou moins rapide (Duchaufour, 1988).

I.2. Évolution d'un sol

Les sols se forment sur des milliers d'années. Leur évolution dépend notamment du relief, de facteurs climatiques, des organismes qui y vivent, de la roche-mère du sous-sol et

des activités humaines. Ainsi, selon les aires biogéographiques, les sols évoluent, la roche-mère sera altérée dans sa partie supérieure par des réactions physique, chimique et biochimiques, ce qui « l'éloignera » progressivement de la surface (Denis.Angers et *al*, 1995).

On distingue ainsi dans le monde de nombreux type de sols plus ou moins fertiles et plus ou moins cultivables. Parmi eux, on compte notamment les podzols, les rendosols ou rendzines (sols peu évolués et caractérisés par leur richesse en carbonates), les bruni sols (sols bruns pouvant se mettre en place sous des forêts à feuillage caduque), les rankosols ou rankers et les calcosols (Denis.Angers et *al*, 1995).

I.3. Caractéristiques physicochimiques du sol

Le sol comporte trois phases : une phase solide (qui est minérale et organique), une phase liquide ou solution du sol (qui correspond à l'eau et aux éléments dissous), et une phase gazeuse (composée principalement de dioxygène, de méthane, de dioxyde de carbone)...

I.3.1. La texture

La texture précise la proportion des divers éléments physiques du sol (Denis.Angers et *al*, 1995)

Attribuer une qualification texturale à un sol, c'est lui reconnaître un ensemble de propriétés et d'aptitudes particulières.

En effet dire qu'une terre est de texture argileuse c'est considérer bien qu'elle ne se forme pas uniquement des argiles, que son comportement est celui généralement d'argile à savoir par exemple : imperméabilité, ressuyage long, forte capacité de rétention d'eau et forte capacité d'échange.

La notion de texture est plus facilement applicable aux propriétés physiques des sols, elle inclut ce pendant aussi leur comportement physico-chimique (Denis.Angers et *al*, 1995).

Nous pouvons avoir une idée de la texture d'un sol sur le terrain en frottement entre le pouce et les autres doigts un peu de terre on peut détecter les éléments qui font plus de 0.1mm ils grattent entre les doigts. Si l'on n'a pas cette impression de grattage c'est que la terre contient du limon ou de l'argile, il est possible de distinguer les deux. Il suffit de rouler un petit peu de terre humide entre les deux mains pour obtenir quelque chose qui a la forme d'une baguette de pain. Si ce morceau de terre a tendance à s'effriter c'est qu'il s'agit de limon.

Mais il est rare de trouver un terrain qui ne soit constitué que d'un seul élément. Généralement on retrouve les différentes particules dans des proportions très variables.

I.3.1.1.L'étude granulométrique

L'analyse granulométrique consiste à différencier par la taille, les éléments minéraux du sol et à quantifier leur répartition pondérale dans de diamètres prédéfinis (moyen et inférieure à 2mm) ces analyses s'effectuent au laboratoire sur des échantillons du sol après destruction des particules selon leur dimensions par la méthode internationale de Robinson, Kohn. (Musy et Soutter, 1991).

Tableau01 :Fractions granulométriques du sol.

Classes granulométriques	Sables	Limons	Argiles
Diamètre des grains	2 mm - 50 μm	50 μm - 2 μm	< 2 μm

I.3.1.1.1.Les argiles

Selon l'étude granulométrique, on entend par argile la fraction de diamètre (des particules) inférieur à 2 microns (μm). (Duchaufour, 1988).

Les argiles sont définis comme des silicates d'aluminium plus ou moins hydratés, microcristallins, à structure en feuillets (phyllithes) toutes fois comme le fait remarquer (Hiller, 1984 in Kenadi, 2003) le terme argile ne désigne pas seulement une gamme de dimension des particules mais un grand groupe de minéraux, dont les microcristaux sont très structurés de forme colloïdale.

Minéraux non gonflants ; (illites, micas, kaolinites,.....), leur surface spécifique est faible, l'eau s'absorbe au niveau des surface des cristallites et dans les particules délimitées par l'association des particules comme pour les autre minéraux du sol.

Minéraux gonflants (Smectites, Montmorillonite, Vermiculite...), ils se différent des précédents par l'accessibilité de l'eau aux surfaces internes.

Pour ces minéraux c'est la nature des cations compensateurs détermine le processus de gonflement et par suite la distribution de l'eau au niveau des surfaces des minéraux argileux ainsi que son énergie de fixation. (Duchaufour, 1979).

a) Origine des argiles

Les argiles prennent naissance de l'héritage et des transformations des phyllithes préexistantes ou bien encore de néoformation. L'altération différentielle des minéraux primaires livre un mélange souvent complexe ; illites vermiculites, édifices inter stratifiés et kaolinites. Ces minéraux sont généralement concentrés dans la fraction inférieure à un appelle « argile » ou fraction fine cristallisée, mais peuvent être également dispersés dans les autres fractions granulométrique (Duchaufour, 1979).

b) Types d'argiles

Sur le plan géologique on distingue deux grands types :

a) Les argiles d'altération qui proviennent de la décomposition sur place de la roche mère cristallisée.

b) Les argiles de sédimentation qui proviennent le plus souvent des précédentes après transport et sédimentation (Duchaufour, 1970 in ZeraguetM, 2000).

c) Rôles des argiles dans la cohésion des particules primaires

Les argiles peuvent jouer le rôle de ciment de particules et peuvent être à l'origine des structures qui résultent des processus de retrait en périodes sèches, le type d'argile peut influencer le type de structure.

Les argiles gonflantes favoriseraient une meilleure structure du sol que les argiles non gonflantes, la cohésion des particules est influencée par plusieurs facteurs dont la composition granulométrique est plus précisément la teneur en argile (Monnier et Fies, 1983 in Bouzza, 1995).

d) Relation matière organique et argile

L'argile et l'humus se combinent entre eux sous forme de colloïde (Boyer J, 1982). a trouvé une corrélation hautement augmentent la capacité totale d'échange du sol : 1g d'humus fixe environ 5 fois de cation plus que 1g d'argile, la capacité de fixation des 2% d'humus d'un sol représente donc l'équivalent de celle de 10% d'argile.

Grace à la présence du calcium les colloïdes sont floculés et s'associent pour former le complexe « argilo humique » essentiellement chargé négativement dans lequel, l'humus joue un rôle protecteur vis-à-vis de l'argile.

La liaison fixatrice de la matière organique sur les argiles dépend de la valeur des cations et leur degré d'hydratation. (Duchaufour, 1970).

e) Influence des argiles sur les propriétés physique du sol

D'après Lennoz et Gratin (1989) le premier facteur de la stabilité d'un sol est sa teneur en argiles. Les sols les moins stables ont une teneur en argile inférieur à 10%.

Le complexe argilo humique confère aux sols lors qu'il se trouve à l'état floccule. L'essentiel de leurs propriétés exerçant un rôle liant vis-à-vis des autres particules élémentaires ; les limons et les sables(Vilain, 1987).

Les phénomènes de floculation et dispersion des argiles ont un aspect plus utilitaire ainsi une argile dispersée correspond à un « ciment » encore fluide incapable de retenir incontestablement aux phénomènes d'érosion.

A noter que le type d'argile peut influencer l'état structural du sol. Des argiles gonflantes favoriseraient une meilleure structure du sol que les argiles non gonflantes.

On peut également ajouter que d'après (Vilain, 1987), le rapport limons/argile supérieur à 2 indique une faible stabilité structurale. C'est le seuil retenu pour diagnostic des sols à structure battante.

Tableau02 : Caractéristique des principales argiles du sol (Tessier et Pedro, 1984, in Saim. Z, 1991).

Feuillet	Particules réelles unités morphologiques				Assemblage des particules
		Dénomination	Stabilité ou conditions édaphiques	Charge externe	
1/1	Monocristalline	crystallite	Définie	0	
2/1 Anhydres	Poly cristalline	Micro domaine	Définie	++	Château de carte ou empilement face à face
2/1 hydrates	Mono ou poly Cristalline	Quasi cristal	Evolutive	+	Réseau

I.3.1.1.2. Les limons (ou silts)

C'est l'ensemble des éléments minéraux dont le compris entre 20 et 50 µm le terme limon est utilisé de façon équivoque car il désigne selon les cas la fraction siliceuse ou un mélange à dominance siliceuse; de limon et de sable (Musy et Soutter, 1991).

La texture limoneuse est souvent défavorable car les limons lors de pluies, les pores est confère l'instabilité de la structure (battance), il est dépourvu de propriétés colloïdes.

Les limons sont plus fins que les sables fins possèdent une certaine activité chimique peuvent avoir une capacité de rendement appréciable à l'égard de l'eau (Gauthier, 1991).

I.3.1.1.3. Les Sables

C'est formé des fragments minéraux les plus résistants à l'altération, le minéral dominant étant le quartz. Selon le diamètre cette fraction peut aussi se diviser en deux catégories :

- Sables grossiers ; leur diamètre entre 2mm et 0.2mm.
- Sables fins ; leur diamètre ; entre 0.2mm et 0.05mm.

En fonction de la densité des minéraux, on sépare deux fractions dans les sables : les minéraux lourds ($d > 2,9$) et les minéraux légers ($d < 2,9$).

Ils se mobilisent au niveau physique de la rigidité de système, d'où le terme squelette. Ils possèdent également dans le domaine hydrique des propriétés de rétention capillaire qui leur confèrent un rôle particulier dans les sols (Chartien, 1986 in Kenadi, 2003).

La texture n'a qu'une importance pour la macroporosité, toute fois dans le cas des sols riches en sables grossiers ces dernières peuvent avoir une certaine importance en augmentant la macroporosité, surtout si la texture est continue (cas fréquent dans les sols ferrallitiques) (Boyer, 1982).

✚ **Les minéraux lourds** : Ce sont les plus résistants aux attaques des agents de la pédogenèse. Ce sont donc des témoins et des résidus du matériau originel du sol. On détermine le pourcentage de chaque espèce minérale et on peut construire des graphiques ou des tableaux correspondant au spectre de la répartition des minéraux lourds de la fraction sableuse.

✚ **La morphoscopie** : C'est l'étude de l'aspect extérieur des minéraux. On s'adresse surtout aux quartzs, qui, étant très durs et très nombreux, gardent les traces d'usures auxquelles ils ont été soumis très longtemps. La forte résistance du quartz à l'altération en fait un enregistreur des actions physiques et chimiques auxquelles il a été soumis.

✚ **Les minéraux légers** : Ce sont surtout des quartzs mais aussi des feldspaths, des micas et des Feldspathoïdes. Ce sont des minéraux très importants car ils constituent une réserve de potasse ainsi que d'autres ions (Na, Ca, Fe, Mg, etc.) dans le sol.

I.3.1.2. Classification des textures**I.3.1.2.1. Texture sableuse**

Sol bien aéré, facile a travaillé, pauvre en réserves d'eau, pauvre en éléments nutritifs, faible capacité d'échange anionique cationique. (Duchaufour Ph, 1988).

I.3.1.2.2. Texture limoneuse

Selon Duchaufour(1995), ce type de texture est caractérisé par la dominance de limon(Silt) et l'insuffisance d'argile, ceci peut provoquer la formation de structure massive accompagnée de mauvaises propriétés physiques. Cette tendance est corrigée par une teneur suffisante en humus et calcium.

I.3.1.2.3. Texture argileuse

Sol chimiquement riche, mais a mauvaises propriétés physiques, milieu imperméable et mal aéré, formant obstacle à la pénétration des racines, travail du sol difficile, en raison de la forte plasticité (état humide), ou de la compacité (état sec).

I.3.1.2.4. Texture équilibrée (ou franche)

Elle correspond à l'optimum dans la mesure où elle présente la plupart des qualités des trois types précédents, sans en avoir les défauts, exemple de granulométrie favorable à la culture. 25% d'argile 30% à35% de limon et40% à 45%de sable.

Tableau 03 : Différents types de textures d'après (Morel, 1996).

Types de textures	Type de sol	Travail de sol
Texture argileuse	Sols lourds	Difficiles à travailler
Texture Sableuse	Sols légers, souvent secs	Faciles à Travailler
Texture équilibrée	Sols limon-argile, sableux	Faciles à Travailler
Texture Limoneux	Sols riches en limons	Sols peu perméable et mal aéré

I.3.2. La Structure

I.3.2.1. Définition

Elle correspond à la façon dont les minéraux sont agencés. La structure est un état du sol, variant à court terme, par exemple selon les saisons. Elle dépend directement de la texture (l'inverse n'est pas vrai) mais aussi de l'état des colloïdes, du taux d'humidité ou de matière organique et dans une large mesure de l'activité de la faune on l'observe aux échelles macroscopique-structure proprement dite ou microscopique ; ou parle dans ce cas de microstructure. La solidité de la structure, sa résistance aux agents de dégradation, est évaluée par des tests de stabilité structurale.

Selon leur taille, les structures agrégées se divisent en quatre types, reflétant des propriétés physiques ou chimiques différentes.

- Micro agrégats de 2 à 20 μm , très stables de matière organique fortement aromatique liée aux argiles et aux limons fins, et de polysaccharides bactériens.
- Micro agrégats de 20 à 250 μm , contenant des limons grossiers et des sables, agrégés par des polysaccharides bactériens.
- Macro agrégat de 250 à 2000 μm , formés des précédents et de sables grossiers reliés par des polysaccharides des cellules bactériennes et du mycélium.
- Macro agrégats supérieur à 2000 μm , composés des précédents associés à des particules de matière organique libre, des racines et du mycélium, ces dernières consolidant le tout (Michel Jet *al.*, 1995).

I.3.2.2. Origine des structures.

Elles résultent de processus de nature variés, biologique, chimique et enfin, physique et mécanique. La dominance de tel ou tel processus est à l'origine des divers types de structures. Le rôle des ciments flocculés est considérable. Il s'agit des éléments fins ou colloïdaux formant des ponts ou des revêtements autour des particules minérales plus grossières et les liants entre elles plus ou moins intimement.

I.3.2.3. Les types de structure

Les facteurs de structuration permettent d'élaborer une classification génétique des structures :

- ❖ Structure particulaire (sans agglomération).
- ❖ Structure due à facteurs chimique (massive ou précipitée ou petits agrégats).
- ❖ Structures à des facteurs biologiques (structures construites).
- ❖ Structures dues à facteurs physiques (structures par fragmentations).

Le glossaire de pédologie ne reconnaît que trois grandes classes fondées sur la morphologie : particulaire, massive, fragmentaire (Bonneau M et Souchier B ; 1979).

a. Structure particulaire : éléments non associés entre eux parce qu'il y a peu de colloïdes ou des colloïdes non flocculés. La structure particulaire est cohérente lorsqu'il y a une certaine quantité d'élément colloïdal qui lie les particules grossières.

b. Structure massive ou cohérente : le sol, sur une certaine épaisseur, forme un bloc sans fissures. La structure massive est fragile lorsqu'elle peut être rompue assez aisément pour donner des fragments.

c. Structure fragmentaire : les constituants du sol sont unis en agrégats de dimensions et formes variées (feuillet, prismes, polyèdres) qui peuvent être facilement séparés les uns des autres (Gauthier J., 1991).

d. Structures construites : le ciment d'origine biologique joue un rôle important.

e. Structure grenue : agrégats subsphériques peu poreux de 1 à 10 mm.

f. Structure grumeleuse : agrégats de forme arrondie irrégulière, très poreux, de 1 à 10 mm.

g. Structure nuciforme : à éléments arrondis irréguliers de taille supérieure à 1 cm.

h. Structure par fissuration : le retrait et le gonflement sont les principaux facteurs en jeu.

i. Structure polyédrique : éléments cohérents, isodimensionnels, à arêtes vives de quelques mm à plusieurs cm.

j. Structure prismatique : la dimension verticale est la plus grande et peut atteindre un à plusieurs dm.

k. Structure lamellaire : la plus forte dimension est horizontale (fragipan).

I.3.2.4. Stabilité de la structure

Les structures ne sont pas nécessairement permanentes, elles peuvent se modifier en fonction des circonstances (météorologie, mode de mise en valeur....etc) ; à certaines périodes, elles peuvent devenir moins favorables se dégrader.

Mais il est également possible qu'elles se reconstituent, si les conditions redeviennent favorables (Duchaufour Ph, 1988).

I.3.2.5. Les actions structurantes**I.3.2.5.1. Influence des calcaires**

Le calcaire intervient à la stabilité structural du sol par l'action du calcium (Ca^{++}), il assure une bonne structure malgré le pH supérieure à 7, il joue rôle un prépondérant dans le comportement physique du sol par son rôle flocculant vis-à-vis des argiles et son rôle stabilisants pour les composés humiques (Bonneau et Souchiar, 1979).

C'est par l'humus calcique que les rendzines doit grumeleuses ou granuleuse être stable (Clement J, 1981).

I.3.2.5.2. Influence de l'argile

Selon Boulaine, 1980, le taux de limon et d'argile ainsi que la nature minéralogique de ce dernier. Sont des facteurs déterminant vis-à-vis la stabilité structurale. Les argiles de types 2/1 surtout les montmorillonites sont plus favorables à la formation d'une structure favorable que les argiles de type 1/1.

Les argiles peuvent jouer le rôle de particules et peuvent être à l'origine des structures qui résultent des processus de retraitons période sèche (Monnier et Fies, 1983 in Bouzza, 1995).

I.3.2.5.3. Action de la faune et les micro-organismes du sol

D'après Morel (1996), ces organismes produisent des substances liantes et en particuliers des polysaccharides de haute viscosité qui établissent des ponts et forment des filets grâce à leurs structure tertiaires et quaternaires. Ainsi ces structures interviennent elles dans la formation et stabilisation des agrégats 40 à 60% de la masse microbienne serait associe aux agrégats de 2 à 20 μm , les champignons demeurent préférentiellement localise a l'extérieurs des agrégats qu'ils peuvent stabiliser physiquement grâce à une action d'enrobage

par leur filet mycéliens, leur action touche les agrégats plus volumineux que ceux concernés par l'activité microbienne.

I.3.2.6. Alternance humectation-dessiccation

Selon Musy et Soutter(1991), le principal effet de l'humification semble toutefois être lié à la formation des poches d'air, l'augmentation de la pression de l'air provoquée par celle de l'eau peut alors excéder la résistance mécanique des agrégats déjà à moindre par l'action dispersive de l'eau et provoque leur éclatement.

Lors de la dessiccation, le volume diminue jusqu'à l'humidité dite limite de retrait au de la qu'elle il ne varie pratiquement plus des fissures apparaissent, le sol passe d'un état continue a un «état fragments. Des particules minérales grossières ou des fragments organiques présents dans la masse de terre constituent autant de discontinuités, point de départ des fissures (Vilain., 1987).

I.3.2.7. Importance de la structure

a) Sur le plan pédologique :

- ✚ La structure conditionne les principales propriétés du sol.
- ✚ L'aération (macroporosité) la rétention de l'eau (microporosité) la perméabilité.
- ✚ La facilité de travail du sol (plus la structure du sol est compacte plus le travail est difficile).
- ✚ La facilité de réchauffement dans la mesure où elle agit sur l'aération et la circulation de l'eau.
- ✚ L'activité biologique (Louis Eliard, 1979, in LabbO, 2001).

b) Sur le plan agronomique :

Les conséquences de la structure des sols sont multiples :

- ✚ L'arrangement des particules (sous la forme d'agrégats ou non) influe sur la forme, la dimension et la distribution des vides et en conséquence sur les propriétés de transfert.
- ✚ Le mode et la force de liaison entre les particules ont des conséquences sur la propriété mécanique de matériaux pédologique ; en particulier sur leur résistance à la pénétration (des racines ou d'outils) et au compactage.
- ✚ Les structure les plus favorables semblent être les structure grumeleuses ou polyédrique les plus fines. Elles facilitent la pénétration des racines et leurs mises au contact avec la masse du sol (Denis Baizeet Bernard J,1995).

I.3.3. La densité réelle et la densité apparente du sol

La prosimètre d'un sol est en relation avec deux valeurs caractéristiques, la densité réelle de la fraction solide, indépendante des vides, elle varie entre 2.4 à 2.6 ; la densité apparente du sol sec, la densité apparente varie de la 2.

I.3.3.1. La porosité totale

La porosité c'est-à-dire le volume des vides, exprimé en % volume total divisé lui-même en deux parties ; capacité en air et en eau (Duchaufour Ph, 1995).

La porosité donne une bonne idée de l'état structural avec, avantage certaine, la possibilité de mesure comparative. Selon la taille des pores, celle se subdivise en macroporosité (vides >50 μm , pouvant être remplis par l'eau de gravité rapidement drainée et souvent colonisés par les racines moyennes). En microporosité ou porosité capillaire, constituée des vides de 0.2 à 50 μm retenant l'eau utile aux plantes ; et en microporosité, dont les vides inférieures à 0.2 μm retiennent l'eau inutilisable (Gobat J.U., Aragno M., Matthy W., 1995).

D'après Musy et Soutter(1991). Le système poral peut être décomposé en plusieurs classes, on parle de porosité résiduelle pour la partie du système constituée des pores obstrués, dépourvu de communication avec l'extérieur, les pores communicants formant alors la porosité effective. On distingue ainsi la porosité texturale présentant le volume des vides inters agrégats.

I.3.3.2. Influence de la texture du sol sur sa porosité

Selon Duchaufour Ph, (1995) pour les sols à granulométrie fine, les pores grossiers sont présents dans les sols a structure construite ou à structure fragmentaire (porosité fissuration).

Dans les sols riches en argile la teneur eau influe fortement sur la répartition des pores grossiers car elle gouverne la formation ou la fermeture des fissures, la microporosité est une valeur relativement stable, car elle est directement fonction de la granulométrie est qu'au contraire la macroporosité peut varier fortement selon l'état structural, en particulier sous l'influence des traitements culturaux (Vanwambreke, 1974 in Kenadi, 2003).

I.3.3.3. Influence de la matière organique sur la porosité

Morel et Quantin(1974) in Kenadi(2003). Ont confirmé que les amendements organiques particulièrement les fumiers de ferme permettent une amélioration durable de la macroporosité (la microporosité reste stable).

I.3.4. Conductivité hydraulique

D'après Musy et Soutter(1991), la perméabilité intrinsèque d'un sol est le pouvoir de résistance à l'écoulement que manifeste un sol à n'importe quel fluide, les facteurs régissant sur la perméabilité intrinsèque et par suit conductivité hydraulique du sol révèle de sa texture aussi bien que de sa structure. En effet, au niveau textural, la granulométrie détermine la surface spécifique du sol et ainsi l'intensité des forces d'adsorption. Au niveau structural, le mode d'arrangement des particules du sol en définissent l'espace détermine la vitesse de cet écoulement (plus le diamètre des pores est élevée et plus la résistance moyenne du sol est faible.

I.3.5. La capacité de rétention du sol en eau

Le sol joue en quelque sorte le rôle d'un réservoir des apports discontinus d'eau (pluie, irrigation) qui seront restitué à la plante de façon quasi continue la capacité de rétention d'eau d'un est la quantité d'eau que peut retenir un volume donne du sol, elle est exprimée en « g » par 100g de terre.

I.3.6. La matière organique

La matière organique du sol est l'ensemble des substances carbonées, provenant de débris des végétaux, des déjections et cadavres d'animaux et ainsi que des apports méthodiques de l'agriculteur (épandage de fumier, incorporation d'engrais organiques...etc. (Melab, 1996).

I.3.7. Le Calcaire (CaCO₃)

Le calcaire (CaCO₃)est un élément constitutif des sols, il joue un rôle particulièrement important sur la structure du sol. Coagulation de l'argile formation d'humâtes de calcium intervenant dans la constitution des agrégats (Diehl R, 1975).

Le calcaire intervient par l'action du calcium (Ca⁺⁺) en assurant un bonne structure malgré le pH un peu supérieur à 7, il joue un rôle prépondérant dans le comportement physique du sol par son pouvoir flocculant vis-à-vis des argiles et son rôle stabilisant pour les composée humiques, il contribue fortement a l'organisation de la structure du sol a la stabilisant pour les composée de cette structure (Bonneau et Souchier, 1979).

Le calcaire joue également un grand rôle sur la matière organique favorisons son humification.

I.3.7.1. Propriétés des sols calcaires

Selon Legros (2007), les sols calcaires et les sols saturés en calcium ont en commun :

Un pH relativement élevée ; il est voisin de la neutralité dans les sols saturés et 7,5 à 8,5 dans les sols calcaire ;

Une belle structure fragmentaire et anguleuse en particulier si le sol est riche en argile ; au contraire, les sols acidifiés ont souvent une structure continue ou massive ;

Une bonne stabilité de cette structure mesurée par des tests adéquats ;

Une teneur notable en composés organiques stables, teneur en matière organique des sols est proportionnelle à leur teneur en calcium échangeable; le rôle stabilisateur du calcium est ainsi mis en évidence ;

I.3.8. Le pH du sol

Pour Baize (1988), le pH est un mode d'expression de la concentration en ion H^+ d'un liquide (sur nageant).

On oppose l'acidité actuelle, qui correspond à la concentration en ions H^+ libres, existant dans la solution du sol, à l'acidité potentielle qui exprime la somme des ions H^+ échangeables constituons une réserve actuellement non disponible, et qu'on mesure soit par titration soit par échange avec une solution saline tel que le chlorure de potassium. En raison de l'échange l'ion K^+ contre l'ion H^+ , on obtient un pH plus bas (Duchaufour, 1995).

Le pH agit efficacement sur les propriétés du sol d'une façon sur tout indirect, il agit aussi sur les micro-organismes qui à leur tour agissent directement sur les propriétés physique du sol.

Ainsi, au milieu acide $pH < 5,5$ la stabilité structurale du sol est généralement mauvaise (destruction des silicates, mauvaise évolution de la matière organique fraîche).

Au milieu alcalin : si le pH est nettement supérieur à 7,5, il est vraisemblable que les ciments seront stables et bien flocculés ceci nous amène à observer une bonne stabilité de structure (Duthil, 1973).

Le pH est un mode d'expression de la concentration en ion H^+ d'un liquide (au laboratoire, il s'agira du liquide surnageant dans un bécher, après agitation d'une certaine quantité de sol dans l'eau distillée). Il s'exprime selon une échelle de 0 à 14, les valeurs faibles indiquent une acidité, les valeurs supérieures à 7 correspondent à un caractère basique,

en ce qui concerne les horizons pédologiques, la première version du référentiel français (2) propose les adjectifs suivants (Baize, 1988):

pH inférieur à 3,5 hyper acide

pH entre 3,5 et 5,0 très acide

pH entre 5,0 et 6,5 acides

pH entre 6,5 et 7,5 neutre

pH entre 7,5 et 8,7 basique

pH supérieur à 8,7 très basique

Le pH est le nombre qui exprime le cologarithme de la concentration des ions H^+ d'un milieu aqueux.



Le pH est exprimé par un chiffre compris entre (0) et (14)

- Un milieu acide $pH < 7$.
- Un milieu neutre $pH = 7$.
- Un milieu basique $pH > 7$.

Si un sol contient beaucoup d'ion H^+ dans la solution du sol, ou fixé sur le complexe argilo-humique, il sera acide, si les quantités d'ions H^+ et des cations minéraux (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , ...) s'équilibrent, le sol est neutre. Si les cations métalliques (alcalins et alcalino-terreux) sont plus abondants que les ions H^+ , le sol est basique (Ellard, 1979).

I.3.9. La conductivité électrique

La conductivité électrique est un critère d'évaluation du niveau de la stabilité des sols, elle est exprimée en mS/cm. La chute de rendement augmente avec l'augmentation de la conductivité électrique des sols, et la limite de tolérance correspond au seuil au-delà duquel la plante meurt (Bernstein, 1964, in Kenadi, 2003).

Chapitre II

Le phosphore dans le sol

CHAPITRE II : Le phosphore dans le sol

Le phosphore (P) est un élément chimique non métallique abondant dans la nature. Il est le onzième constituant de la croûte terrestre (0,12 %) (Bachelier et Belin, 1997) où il se combine à d'autres éléments pour former un grand nombre de minéraux, tels que les phosphates et les fluoro phosphates d'aluminium, de calcium, de fer ou de manganèse. Il est l'un des cinq éléments nutritifs essentiels (carbone, hydrogène, oxygène, azote et phosphore) à la croissance des végétaux. Le phosphore est un élément essentiel pour la croissance des plantes (Richardson *et al.*, 2009).

II.1. Découverte de phosphore

La découverte du phosphore remonte à 1669, par l'alchimiste hambourgeois HenniBrandt. C'est probablement le seul élément isolé initialement dans de la matière organique animale, puis végétale (Greenwood et Earnshaw, 1984). Il n'a été identifié dans l'apatite qu'en 1779 par TorbenBergman et JoseohLouis Proust.

Le phosphore provient de l'altération des roches (Larsen, 1967), il est présent en quantités variables dans les minéraux silicatés, il entre surtout dans la composition de près de 200 minéraux phosphatés, le principal minéral des sols est l'apatite (Frossard *et al.*, 1995).

Le phosphore est élément chimique P, de numéro atomique 15, de masse atomique 30.9737, comme le montre la figure 1.

6 C 12,0107	7 N 14,00674	8 O 15,9994
14 Si 28,0855	15 P 30,973761	16 S 32,064
32 Ge 72,61	33 As 74,92160	34 Se 78,96

Figure 1: Position du phosphore dans le tableau périodique (Bossche, 1999).

Le phosphore est le 11^{ème} élément par ordre d'abondance dans les roches cristallisées, la concentration moyenne y est évaluée à 1120 ppm. Ses concentrations dépendent de ses origines géologiques et des minéraux constructifs du sol (apatite, phosphates tricalciques amorphes ou cristallisés, phosphates de fer, d'aluminium et de magnésium) (Diehl, 1975).

En effet, ces teneurs sont de l'ordre de 0,3 à 1 % dans les sols dérivés de roches cristallines ou volcaniques, ces dernières correspondent pour une couche arable de 3.000

tonnes à une masse de l'ordre de 1 à 10 tonnes (Morel, 2003). Dans les cas extrêmes, la concentration en phosphore dans les sols s'échelonne de 100 à 3.000kg/ha (Bonneau et Souchier, 1994).

Le phosphore se trouve surtout sous forme d'ortho-phosphate (acide phosphorique) (Morel, 2003).

II.3. Origine du phosphore

II.3.1. Origine ignée

Il s'agit des roches qui contiennent jusqu'à 35 et 37 % de phosphore exprimé en P_2O_5 (Gervy, 1970).

On les rencontre dans les terrains anciens ou elles peuvent constituer des couches atteignant plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

Ces gisements résultant d'intrusions du magma dans des roches cristallines qui ont donné naissance à des veines ou filons (Gervy, 1970).

Le phosphore est lié au calcium et au fluor dans une construction moléculaire appelée fluorapatite de formule (Sanfourche, 1947).

II.3.2. Origine sédimentaire

Cette catégorie de phosphore fournit plus de 85 de la production mondiale. Elle est très répandue et se rencontre dans des étages géologiques très variés (Gervy, 1970).

II.3.3. Origine diverses

✚ Les déjections d'oiseaux qui ont donné naissance à des dépôts de guano, sous climats humides ;

✚ Les phosphorites du Quercy se sont constituées à l'intérieur des roches formées dans le calcaire du jurassique moyen.

✚ Certaines roches ferrugineuses se révèlent d'une telle richesse en phosphore qu'elles doivent être spécialement traitées donnant ainsi lieu à la production d'un engrais (Mendjour, 1990).

II.4. Différents états du phosphore dans le sol

II.4.1. Phosphore total

C'est l'ensemble de toutes les formes de phosphore présentes dans un échantillon de sol, qu'elles soient minérales ou organiques.

II.4.2. Phosphore minéral

C'est le phosphore inclut dans des minéraux comme les apatites, dans tous les composés d'oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, ainsi que dans les phosphate tricalciques associés à un calcaire actif (très insolubles dans les milieux calcaires).

II.4.3. Phosphore organique

Le phosphore organique correspond à celui que l'on retrouve dans la matière organique fraîche et l'humus. Dans les sols cultivés de longue date, sa proportion varie entre 25 et 30% du phosphore total, tandis que dans les zones dotées d'une couverture végétale permanente naturelle (forêts et prairies), elle oscille entre 75 et 80 % (Fardeau et Conesa, 1994). Cette forme de phosphore est susceptible de devenir assimilable grâce à l'action des micro-organismes et à la minéralisation de l'humus

II.4.4. Phosphore assimilable

Fardeau (1993) définit le phosphore assimilable ou biodisponible comme celui constitué par la quantité du phosphore présent dans le système sol-solution, capable d'atteindre la solution sous forme d'ions phosphates à un rythme compatible avec la vitesse d'absorption végétale.

En période de pleine croissance, les végétaux absorbent le phosphore sous différentes formes anionique : PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, certains de ces anions se trouvent dans la solution du sol, d'autres sont adsorbés sur les surfaces externes des minéraux argileux, et sur les surface des oxydes et hydroxydes de fer et/ou d'aluminium. Les anions adsorbés sont rapidement mobilisables vers la solution du sol. Cette quantité de phosphore assimilable est très variable selon la période de temps considérée comme nécessaire pour alimenter la plante (un jour, un mois, trois mois, etc.).

Par conséquent, les phosphates bio disponibles sont facilement extractibles chimiquement en vue d'en estimer la quantité.

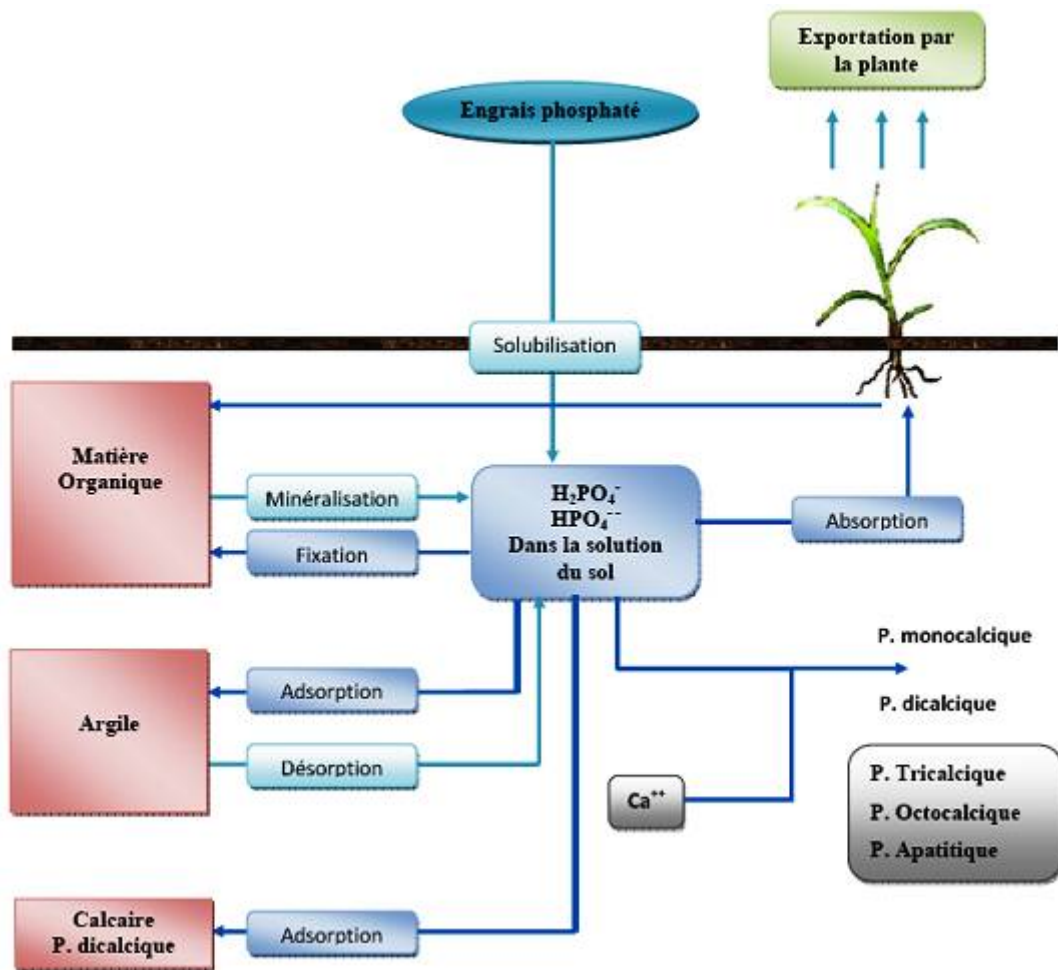


Figure 2: Cycle du phosphore en sol calcaire (Duthil, 1976).

II.5. Phosphore dans le sol

Dans le sol, les ions phosphates subissent des transformations par des réactions chimiques, physiques et biologiques comme l'adsorption, la minéralisation, la précipitation, l'altération et la réorganisation microbienne. Ainsi, le cycle comprend le processus de prélèvement du phosphore par la plante, les transformations des formes organiques et les réactions chimiques de fixation et d'immobilisation dans le sol (Demers, 2008).

D'après Drouet (2010), dans le sol un cycle actif du phosphore peut être distingué : ce cycle est très semblable à celui de l'azote et les micro-organismes jouent également un rôle important dans le processus de minéralisation et d'immobilisation.

Généralement le phosphore se retrouve dans le sol associé à des cations, à des oxydes ou des hydroxydes métalliques. Certains se retrouveront rapidement en solution, d'autres migreront plus lentement de la phase solide vers la solution et d'autres encore ne se solubiliseront qu'avec l'activité d'organismes vivants (Beaudin, 2008). De nombreuses études

ont démontré l'influence des propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol sur le comportement du phosphore (Giroux et Tran, 1994). Le pH, la concentration en Fe, Al et Ca, la texture et le contenu en matière organique sont autant de propriétés du sol qui affectent la disponibilité du phosphore (Mkhabela et Warman, 2005).

La teneur en phosphore d'un sol est exprimée, comme pour les engrais, en anhydride phosphorique P_2O_5 , bien que cet élément ne soit prélevé par les racines que sous la forme d'anions PO_4^- .

L'alimentation phosphatée des plantes est étroitement liée à la teneur en anhydride phosphorique des sols qui de plus s'y trouve sous des formes diversement accessibles aux racines.

Le phosphore dissous dans la solution du sol et le phosphore absorbé sur le complexe absorbant, constituent la réserve rapidement assimilable par les plantes. Le phosphore dissous est immédiatement disponible mais il ne représente que quelques grammes à l'hectare par libération progressive et remise en solution des ions fixés sur le complexe absorbant, la quantité d'ions PO_4 dissous dans l'eau du sol se renouvelle constamment mais cette libération se fait de plus en plus difficilement au fur et à mesure que les stocks d'ions fixés diminuent. Quand il ne reste que très peu d'ion PO_4 fixé, le complexe absorbant le retient très fortement : le sol économise ses réserves, et l'alimentation de la plante devient insuffisante (Anonyme, 1980 in Makhlouf, 1997).

Localisation dans le sol

Solution	100g
Complexe	500kg
Humus	1 tonnes
Roche Mère	10 tonnes

II.5.1. Le phosphore insoluble des roches mères ou rétrogradé

Il représente la très grande majorité du P_2O_5 total du sol, forme quasiment inutilisable par la plante. Mais c'est la réserve générale à partir de laquelle, à la suite de nombreuses et lentes transformations de nature physico-chimique ou biologique, une petite fraction parviendra au bout de la chaîne dans les solutions du sol.

II.5.2. Le phosphore sous la forme organique

Dans la matière organique le rapport N/P₂O₅ est voisin de 4, c'est-à-dire qu'un sol avec une teneur en azote organique de 1‰ contiendra environ 0,25‰ de P₂O₅ combiné à la matière organique.

Le P₂O₅ organique représente une part variable mais importante du P₂O₅ totale. Sur 30cm d'épaisseur d'un sol dosant 1‰ d'azote organique il y a environ 1000kg de P₂O₅ organique. C'est relativement peu rapport au P₂O₅ totale, mais cette fraction organique joue un rôle important dans le sol. C'est une réserve facilement mobilisable par la minéralisation de l'humus qui libère du P₂O₅ à l'état minéral.

Par combinaison de l'humus et de phosphorique, il y a formation d'humophosphates qui protègent les ions PO₄ d'une fixation plus ou moins irréversible par le sol. L'humus joue donc à l'égard de phosphore un double rôle de mise en réserves facilement mobilisable, et de protection de ces réserves.

II.5.3. Le phosphore absorbé sur les argiles

Les ions phosphoriques peuvent être fixés sur le complexe argilohumique, particulièrement sur les argiles, par l'intermédiaire du calcium, le sol met en réserve une partie du P₂O₅ des engrais et le restitue en suite aux solutions en du sol, au fur et à mesure que la plante abaisse leur concentration en ions phosphoriques par l'absorption d'une partie de ces ions. Les ions PO₄ fixés sur l'argile calcique sont facilement récupérables. La quantité de P₂O₅ absorbé dépend du taux d'argile, de la capacité échange de cette argile et pH C'est-à-dire de la quantité d'ions calciums présents.

II.5.4. Le phosphore de solution du sol

C'est au terme de transformations et d'échanges continus dans le sol, la fraction du P₂O₅ total plus faible et importante, puisque ce sont ces ions phosphoriques dissous dans les solutions qui seront absorbés par priorité.

La concentration de la solution en P₂O₅ est extrêmement faible 0,2 à 0,5mg par litre. Dans les sols riches on peut atteindre et dépasser 1mg par litre, dans les sols pauvres on peut descendre à 0,1mg.

Il est intéressant de rapprocher ces 0,2 à 0,5kg/ha dans les solutions du sol, des 500 à 3000kg de P₂O₅ absorbé, et des 1000 à 25000 kg P₂O₅ total.

L'ensemble des deux dernières catégories de P_2O_5 , celui des solutions du sol et celui absorbé sur le complexe, représente ce que l'on appelle le «POOL alimentaire ». Il existe un état d'équilibre permanent et rapide entre les ions dissous dans les solutions et ceux adsorbés qui constituent ensemble les ions iso topiquement échangeables (Gros A., 1979).

II.5.5. Le phosphore facilement échangeable

C'est l'ensemble des ions adsorbés sur le complexe adsorbant du sol et constitue de ce fait l'essentiel du pool alimentaire des plantes (Fardeau et Frossard, 1991). D'après Lambert (1979), d'acide phosphorique est un anion et ne peut être retenu par le complexe que par l'intermédiaire d'un cation : fer, aluminium, mais plus généralement le calcium.

II.6. Le pH et les formes de phosphore dans le sol

✚ Le phosphore lié au calcium, forme hautement assimilable, n'existe en quantité appréciable que dans les sols peu acides (pH entre 6 et 7) ;

✚ Le phosphore lié à l'aluminium est normalement assimilable par les plantes, mais cette assimilabilité décroît très fortement lorsque le pH s'abaisse au-dessous de pH5 ;

✚ Le phosphore complexé par la matière organique est d'autant mieux libéré que celle-ci se minéralise plus vite, ce qui correspond également à des réactions du sol relativement peu acide (pH entre 5.5 et 7 pour les sols ferrallitiques) (Lunze, 2000).

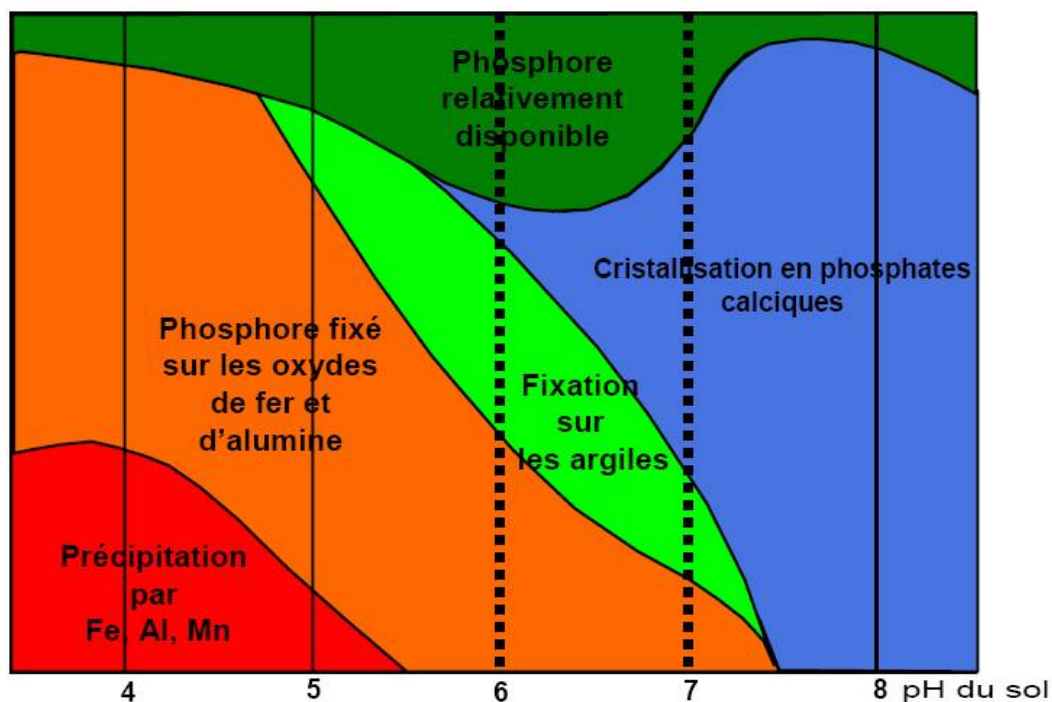


Figure 3: Effet du pH sur la dynamique du phosphore assimilable dans le sol (Brady et Weil., 2000).

Deuxième Partie

Matériel & Méthodes

I. Objectif du travail

L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'effet du pH et quelques paramètres physico-chimiques du sol sur la dynamique du phosphore dans un sol steppique, il consiste à suivre l'évolution du phosphore assimilable dans le sol au cours du temps avant et après irrigation. La parcelle avant irrigation a été retenue comme témoin.

II. Présentation de la zone d'étude

La région de Ksar Chellala est située au cœur de la steppe centrale de l'Algérie, elle se localise sur le versant du Djebel BenHamed à une altitude moyennede800m. Les reliefs environnants culminent pour le plus haut d'entre eux à près de 1100m. Le paysage de manière générale reflète un environnement de type steppique dégradé ou l'on découvre une végétation à base d'Afla et d'Armoise.

Le couvert végétal arborescentes totalement absent du fait d'un climat qui ne cesse de se dégrader de puis quelques décennies. A ce propos, nous notons une quantité de précipitations variable au gré des saisons et des années d'environ 250 mm/moyenne.

II.1. Localisation

La commune de Ksar Chellala qui fait partie de la région de l'Oued Touil (Wilaya de Tiaret) est située à environ 116 kilomètres au Sud-Ouest de la ville de Tiaret chef-lieu de wilaya.

Cette Daïra est limitée administrativement :

- ✚ Au Nord et à l'Ouest par la Wilaya de Djelfa
- ✚ A l'Est par la commune de Rechaigua
- ✚ Au Sud par la commune de Zmalet Emir Abdelkader

La distance entre le chef-lieu de commune de Ksar Chellala et les communes limitrophes est comme suit:

- ✚ Ksar Chellala – Serguine 18 Km
- ✚ Ksar Chellala – Zmalet Emir Abdelkader 42 Km

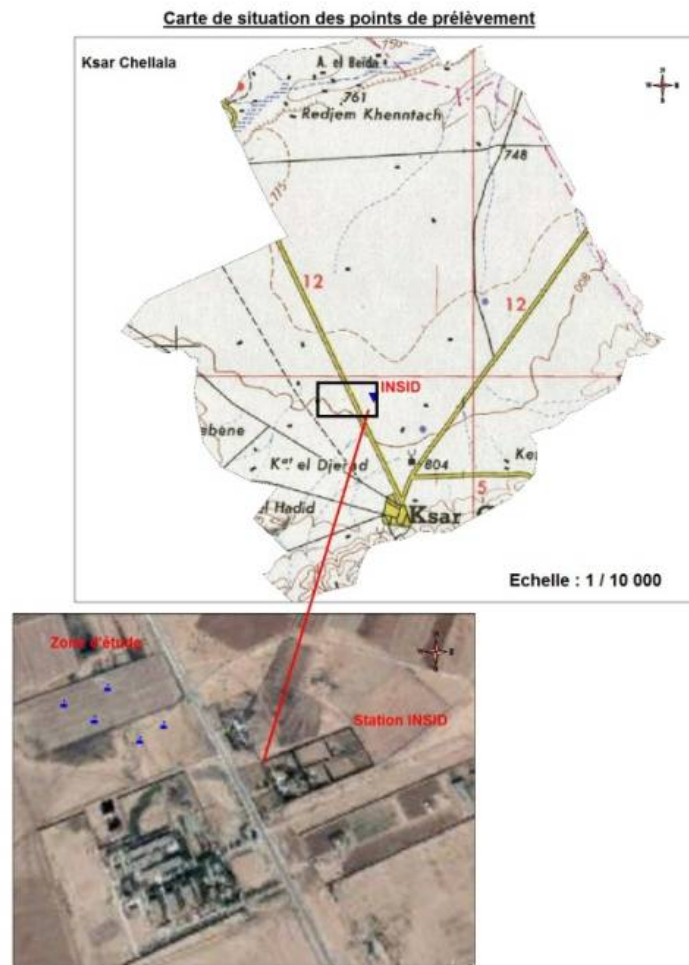


Figure 4: Situation géographique de la zone d'étude.

II.2. Géologie

Les reliefs sont essentiellement composés de calcaire appartenant à l'étage crétacé. d'autre formation gréso-calcaires et marno calcaires sont visibles mais de moindre importance se remarquent dans la zone. La richesse de ces formations réside dans le fait qu'il existe des aquifères riches en eau aux débits importants particulièrement dans les communes de Ksar Chellala, Serghuine, Z.E.A et Rechaiga au niveau de l'étage albien. Il s'agit de formations jeunes à l'exception de l'émergence du Jurassique dans le mont de Ksar Chellala et celles du Crétacé sur les collines environnantes. La démarcation nord de la Steppe correspond au Crétacé Inférieur du Djebel Rechaiga, unité tectonique anticlinale prolongée à l'ouest par le Mont du Nador et l'Oued Soussalem. Le trias affleure rarement en diapirs localisés à HassiFedoul et dans le Djouabi avec une lithologie à gypses argiles cargneules et dolomies. Comme le Trias à l'extrême ouest, le Jurassique au Nord-Est semble être noyé dans les affleurements du Pliocène et est représenté par le massif du Rechaiga-Foucauld ou affleure essentiellement le groupe calcaire du Jurassique supérieur.

II.3. Ressources en eaux

➤ D'après l'étude Australienne, les ressources en eau de la zone d'Oued Touil s'élèvent à environ 3600 litres/s, pouvant irriguer 10 000 hectares.

➤ Les crues de l'Oued Touil qui se jettent dans la mer sont estimées à environ 17000 m³/s, ce qui suppose d'importantes possibilités de recharge de la nappe et de collecte des eaux de ruissellement.

➤ Il existe un certain nombre de forages (près d'une trentaine) dans la zone dont la profondeur varie de 100 à 200 mètres, avec un débit variable de 20 à 70 litres/s et une eau douce proche de 1 gramme par litre de résidus secs. Le nombre de puits s'élève à 320.

D'une façon générale, les ressources en eau de la zone d'Oued Touil sont importantes, mais malheureusement mal prospectées.

II.4. Ressources en sols

II.4.1. Sols peu évolués

Ces sols dont l'évolution se trouve toujours empêchée par des phénomènes d'érosion ou d'apport se distinguent par leur position topographique, par leur origine et par leurs caractères morphologiques. Au niveau de cette classe deux types de sols ont été identifiés et qui sont:

- ❖ Les sols peu évolués d'érosion
- ❖ Les sols peu évolués d'apport alluvial

II.4.1.1. Les sols peu évolués d'érosion

a. Les sols peu évolués d'érosion lithiques

Ces sols ont été observés sur du calcaire dur, par foissils sont en juxtaposition avec les sols réglo saliques.

La contrainte majeure de ces sols est qu'ils sont superficiels (la profondeur varie entre 10 et 20 cm) et que leur aspect des surfaces trop caillouteuses, ce qui rend très complexe leur utilisation.

L'aménagement de ces sols à horizon de surface peu structuré et moyennement caillouteux, consiste à approcher de la ruine boisement sur les flancs des versants moyennement et fortement érodés afin de stabiliser l'éboulement et à une amélioration pastorale sur certains sols lithiques moyennement stables et ce par des espèces peu exigeantes en profondeur et pouvant s'adapter aux terrains caillouteux.

b. Les sols d'érosion régosoliques

Ces sols observés en zones de montagne et sur un faciès lithologique sensible à l'érosion couvrent.

Ce sont des sols superficiels et leur horizon de surface repose directement sur la roche mère composée essentiellement de marnes et argiles.

II.4.1.2. Les sols peu évolués d'apport alluvial

Ces sols observés au niveau des terrasses et se caractérisent principalement par :

- ❖ Pente comprise entre 0 et 3% permettant un accès facile à la parcelle.
- ❖ Un aspect de surface non caillouteux très favorable à la mécanisation.
- ❖ Une profondeur supérieure à 80cm permettant l'introduction d'une large gamme de cultures.
- ❖ Absence totale de risque de salinité.

II.4.1.3. Sols Calcimagnésiques

Les principales propriétés de cette classe sont dues à la présence du calcaire actif à des taux parfois élevés et selon le matériau sur lequel les sols se sont développés et leur position topographique, on distingue au niveau de cette classe deux types de sols : les Rendzines et les sols bruns calcaires.

II.4.1.4. Les Rendzines

Ces sols Calcimagnésiques peu évolués à profil type A/C, ont été observés en zone de piémont sur faciès riche en calcaire.

Ce sont des sols peu profonds, présentent une texture équilibrée légèrement dominée par la fraction limono sableuse avec incorporation de quelques cailloux calcaires altérés en profondeur.

II.4.1.5. Les sols bruns calcaires

Ces sols observés en zone de piémonts Ils présentent un profil de type A(B)C peu riche en calcaire que les Rendzines mais assez pourvu en éléments fins.

Ces sols moyennement profonds présentent des caractéristiques physiques favorables à leur utilisation qui s'articule autour :

- ✚ Aspect de surface sans aucune contrainte pour les travaux du sol.

- ✚ Une profondeur de 75 cm permettant l'introduction d'une large gamme des cultures.
- ✚ Absence de niveau limitant (croûte et encroûtement).
- ✚ Texture équilibrée favorable tout type d'utilisation.

II.5. Etude climatique

Le climat est constitué par l'ensemble des phénomènes météorologique qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point donné de la surface terrestre (Odile, 1979 in Houari, 2015).

Les données climatiques donc proviennent de la station météorologique de Ksar Chellala située à environ 40 km de la zone d'étude, la station se trouve à une altitude de 800m. Ces données s'étalent sur une période de 15 ans entre (2002-2016).

II.5.1. Précipitations

Tableau 04 : Régime annuel des précipitations, (2002-2016), ONM Ksar Chellala.

Année	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
PP mm	110.78	248.42	250.93	185.72	246.92	254.78	272.85	354.86	297.17	309.99	234.61	259.9	255.88	215.38	197.09

D'après le tableau 04 de précipitations moyennes annuel de la zone d'étude, on observe que l'importante quantité était en 2009 de l'ordre de 354.86 mm par rapport aux autres années et la moyenne la moins faible était en 2002 de l'ordre de 110.78 mm.

Tableau 05 : Régime mensuel des précipitations (2002-2016).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
PP (mm)	10.84	17.83	19.65	28.40	30.94	13.62	7.37	8.92	31.73	35.06	23.02	18.98

D'après le tableau 05, des précipitations moyennes mensuel de la zone d'étude on observe que le mois d'octobre est le plus pluvieux avec 35,06mm et le mois de juillet est le moins pluvieux avec 7.37mm.

Tableau 06: Régime pluviométrique saisonniers (2002-2016).

Saisons	Hiver	Printemps	Eté	Automne
P (mm)	53.99	88.36	35.58	101.74

D'après le tableau 06 du régime pluviométriques saisonnier de la zone d'étude on observe que la saison la plus pluvieuse est l'Automne par contre la saison d'été est moins pluvieuse de type APHE.

II.5.2. Température

Tableau07: Température moyenne mensuel annuel de la zone d'étude, (2002-2016), ONM Ksar Chellala.

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
T °C	8.95	9.43	13.14	17.18	21.89	27.84	32.03	30.89	24.93	20.33	14.59	9.02

D'après le tableau07 de la température moyenne mensuel et annuelle on observe que le mois le plus chaud est juillet avec une température de 32.03 °C et le mois le plus froid est janvier avec température de 8.95 °C.

II.5.3. Synthèse climatique

II.5.3.1. Quotient pluviométrique d'Emberger

C'est un quotient pluviométrique qui permet de définir les types de bioclimats méditerranéens. Il prend en compte les précipitations (P) et les températures (T). Pour le paramètre température, on remarque l'existence de deux extrêmes thermiques qui peuvent être caractérisés par la moyenne des minima thermiques du mois le plus froid (m) et la moyenne des maxima thermiques du mois le plus chaud (M). Il détermine l'aridité d'une station donnée. Il s'exprime par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{3.43 * P}{M - m}$$

P : la pluviométrie moyenne annuelle en mm

M : la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C

m : la moyenne des températures maximales du mois le plus froid en °C

D'après les données climatiques : M = 37.99, m = 3.43, P = 246.35 alors :

$$Q_2 = \frac{3.43 * 246.35}{37.99 - 3.43} = 24.41$$

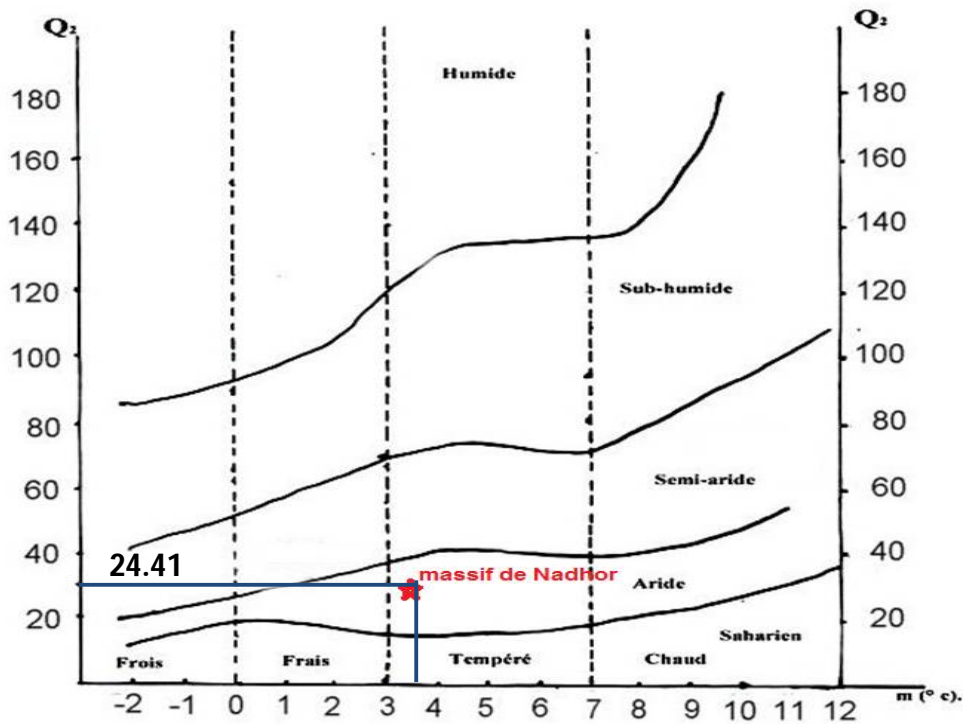


Figure5 : Le climagramme d'Emberger de la zone d'étude (2002-2016).

D'après le climagramme d'Emberger (figure 5), on résume que notre zone d'étude est de climat aride tempéré.

II.5.3.2. Diagramme ombrothermique de Bagnoles et Gausson

Tableau08: Température moyenne mensuel et précipitation mensuel de la zone d'étude (2002-2016).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
T (°C)	8.95	9.43	13.14	17.18	21.89	27.84	32.03	30.89	24.93	20.33	14.59	9.02
PP (mm)	10.84	17.83	19.65	28.40	30.94	13.62	7.37	8.92	31.73	35.06	23.02	18.98

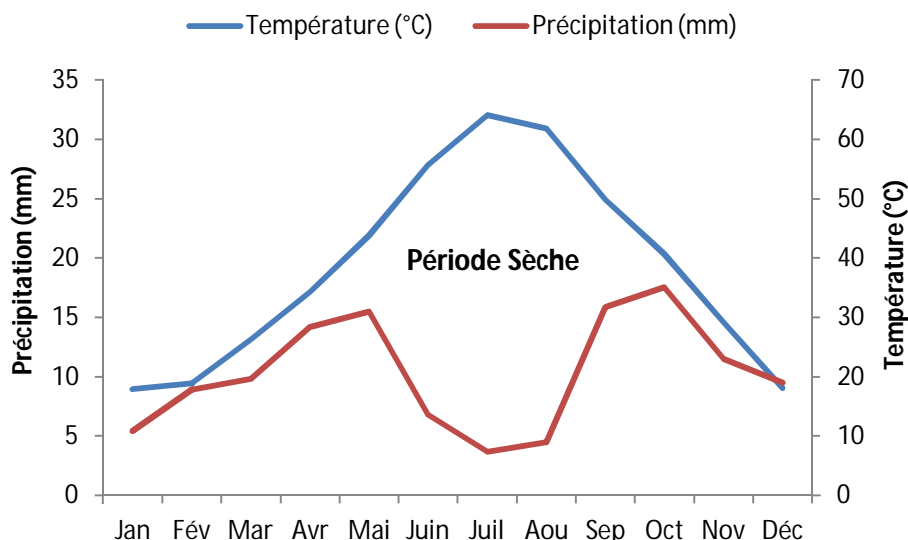


Figure6: Diagramme ombrothermique de BangnoletGaussen de la zone d'étude (2002-2016).

D'après le diagramme ombrothermique de Bangnolet Gaussen (figure 6), on observe que la période sèche s'étale de mois de février jusqu'à novembre (09 mois).

III. Echantillonnage

Le sol a été prélevé selon un protocole d'échantillonnage systématique répartis selon les diagonales. Les sols analysés sont prélevés dans des parcelles irriguées et sans irrigation (témoin). Au niveau de chaque parcelle cinq (5) prélèvements ont été effectués en surface (0-30 cm) à l'aide d'une tarière pédologique.

Les échantillons sont ramenés au laboratoire, étalés, séchés à l'air libre, puis tamisés à 2 mm et conservés dans des sachets jusqu'au moment des analyses.

IV. Analyses physico-chimiques du sol

IV.1. Analyse granulométrique

Par la méthode internationale en utilisant la pipette de robinson qui permet de connaître la répartition des particules minérales inférieures à (2mm), selon la classe de grosseur, il s'agit de déterminer la répartition des particules d'un échantillon selon les différentes fractions granulométriques (Baize, 1988).

Selon cette méthode, la destruction de la matière organique est faite par l'eau oxygénée (H_2O_2), la dispersion des particules est réalisée par addition de pyrophosphate de sodium. Le prélèvement des argiles et limons a été effectué par la pipette de Robinson; les sables ont été

recupérés par tamisage. La composition granulométrique est exprimée en pour cent (%). Cette analyse sert à déterminer la texture du sol par l'utilisation du triangle textural.

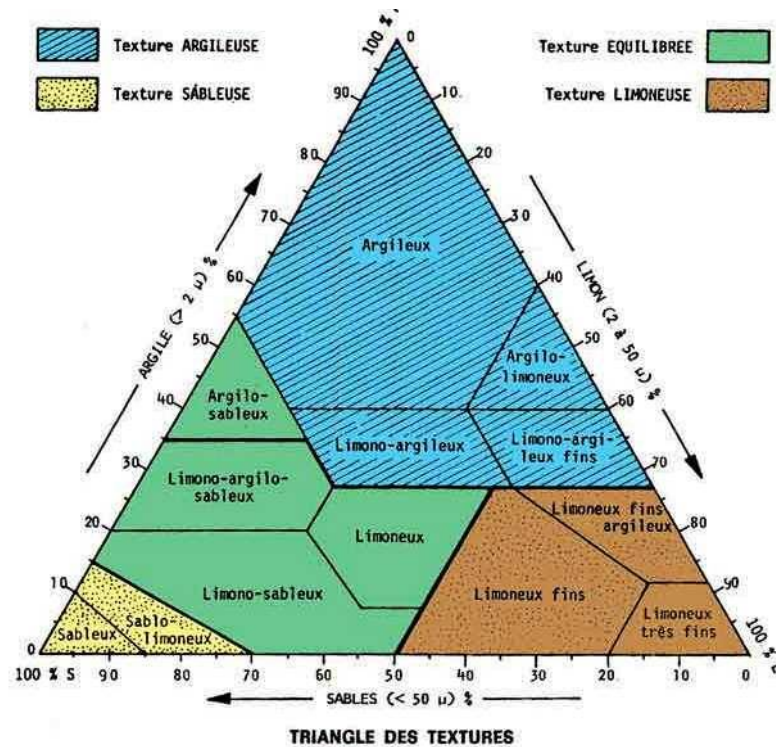


Figure 7: Le triangle texturale des sols (Duchaufour, 1977).

IV.2. Mesure de la densité apparente

La densité apparente (Da) est le poids des grains solides par le volume de terre en place (son volume apparent, dont une partie seulement est occupée par les grains solides, le reste par les pores).

On mesure la densité apparente par enfoncement d'un cylindre de volume connu sur terrain au niveau du premier horizon (0-30 cm); et par détermination du poids sec de cet échantillon.

Connaissant le poids de l'échantillon à l'état sec (P) et le volume du cylindre (V), on calcule la densité apparente (Da) par la formule :

$$Da(g/cm^3) = \frac{P}{V}$$

IV.3. L'humidité

C'est la teneur en eau de l'échantillon, l'humidité d'un échantillon est déterminée par différence de poids, une prise d'essai de 5g (P1) est prélevée et passée à l'étuve à 105°C pendant 24h.

Après 24h l'eau contenue dans l'échantillon s'est évaporée, l'échantillon est posé à nouveau, après l'avoir laissé refroidir au dessiccateur, on aura le poids (P2), l'humidité du sol est égal à :

$$H \% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

L'utilisation de capsule en verre à couvercles rodés permet d'éviter un ré humectation au cours du transport de l'étuve à la balance. Elle est aussi appelée "humidité résiduelle".

IV.4. Le pH_{eau}

Le pH (eau) est déterminé dans une suspension de terre fine dans de l'eau distillée. Le rapport sol/liquide est égal à 1/2,5. Le pH est mesuré après 02 heures de rapport de suspension. La lecture se fait à l'aide d'un pH-mètre (pH-mètre étant préalablement étalonné à l'aide d'une solution tampon de pH connu ; pH =7).

IV.5. Le pH_{KCl}

Le pH (KCl) se fait de la même que le pH (eau) mais la mesure et prise après une nuit de contact entre la terre et la solution.

IV.6. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre comme dans le cas des eaux mais avec un protocole différent. Cette conductivité (mS/cm) exprime la capacité d'un sol mis en solution à se faire traverser par un courant électrique. La mesure de ce paramètre nécessite une petite préparation décrite ci-dessous :

- On pèse 10 g de terre qu'on met dans un flacon, puis on ajoute 50 ml d'eau distillée (rapport de 1/5), l'ensemble est mélangé à l'aide d'un agitateur mécanique pendant 20 min.

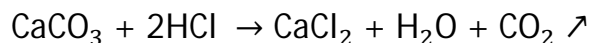
- Après 20 min d'agitation, on mesure la conductivité à l'aide d'un conductimètre en prenant en considération la température du mélange eau-sol.

IV.7. Le calcaire

IV.7.1. Le calcaire total

Il est plus souvent, la valeur de calcaire déterminé par "Calcimètre de Bernard".

Le principe de dosage est fondé sur la réaction caractéristique suivante :



C'est la mesure de CO_2 dégagé suite à l'action d'un excès d'acide Chlorhydrique sur un point connu de l'échantillon.

Le volume de CO_2 dégagé est proportionnel à la quantité de carbonate de calcium existante dans l'échantillon analysé :

$$\text{Taux de CaCO}_3 \text{ en } \% = (\hat{P} \cdot v) / (P \cdot V) \times 100$$

P : Poids de prise d'essai de l'échantillon.

\hat{P} : Poids de CaCO_3 .

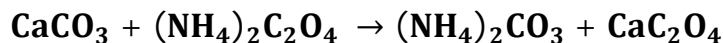
V : Volume de CO_2 dégagé par l'échantillon.

v : Volume de CO_2 dégagé par CaCO_3 .

IV.7.2. Le calcaire total

Le calcaire actif est une partie de calcaire total qui se trouve dans le sol à des dimensions très fines. Pour doser le calcaire actif, on a exploité la propriété de calcaire à se combiner aux oxalates pour précipiter sous forme d'oxalate de calcium.

Alors le principe de dosage se résume :



L'oxalate précipité est déterminé par l'infiltration et l'oxalate en excès est dosé par manganimétrie.

IV.8. Dosage de carbone organique

La teneur en carbone est déterminée par la méthode de «Anne » qui se base sur un titrage par le sel de Mohr. Ce dernier oxyde les bichromates de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) qui sont dans la solution $\text{H}_2\text{C}_5\text{MnO}_4$, dosés en excès.

Les bichromates vont être fixés avec les molécules de carbone, ce qui reste de bichromates va être oxydés par le sel de Mohr :

$$C \% = (Y - X)/0,615/P$$

Y : La quantité du sel de Mohr qui a oxydé tous les bichromates dans l'essai témoin.

X : La quantité du sel de Mohr qui a oxydé tous les bichromates dans l'échantillon du sol.

P : la prise d'essai (2g),

IV.9. Matière organique

Pour passer du taux de carbone au taux de matière organique total, on utilise le coefficient de multiplication 1,72 (Baize, 2000). **MO % = C% x 1,72.**

IV.10. Le phosphore assimilable

Il est déterminé par la méthode Olsen recommandée pour les sols calcaires, neutres ou basiques. Le bicarbonate de sodium utilisé pour extraire le phosphore disponible dans le sol.

Troisième Partie

Résultats & Discussion

I. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques

I.1. Analyse granulométrique

Les résultats des analyses granulométriques du sol prélevé au niveau des parcelles irriguées et témoin sont résumés dans le tableau09.

L'analyse granulométrique a pour but de définir la texture du sol, le pourcentage de ses différents éléments constitutifs expliquent ses propriétés physiques et mécaniques liées à la teneur en eau et son mouvement, à son comportement vis à vis de l'air, des racines et des instruments de culture (Soltner, 2000 in Djebli A, 2013).

Tableau09 : Analyse granulométrique des échantillons étudiés.

Ech	Granulométrie			Texture
	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	
01	16.80	29.17	54,03	Sablo limoneuse
02	11.69	22.38	65,93	Sablo limoneuse
03	10,15	24,23	65,62	Sablo limoneuse
04	10,98	23,11	65,91	Sablo limoneuse
05	09,01	29,74	61,25	Sablo limoneuse
Moy	10,05	25,69	62,55	Sablo limoneuse

Les résultats de l'analyse granulométrique (tableau09) présente le taux de limon, d'argile et du sable en pourcentage dans le sol étudié. D'après ces résultats, nous constatons que le pourcentage des fractions (sable +limon) est élevé et très dominant. Par contre, la fraction

argileuse est moins présentée dans le sol. La teneur en phosphore d'un sol croit avec la finesse de la texture, l'argile en contient plus que le sable (Baeyens, 1967).

En se référant aux moyennes des valeurs granulométriques; Argiles (**10,05%**), limons (**25,69%**) et sables (**62,55%**), dans le triangle des classes fondamentales de texture du sol (Duchaufour, 1997), nous pouvons constater que le sol de notre zone d'étude est Sablo-limoneux (figure 7).

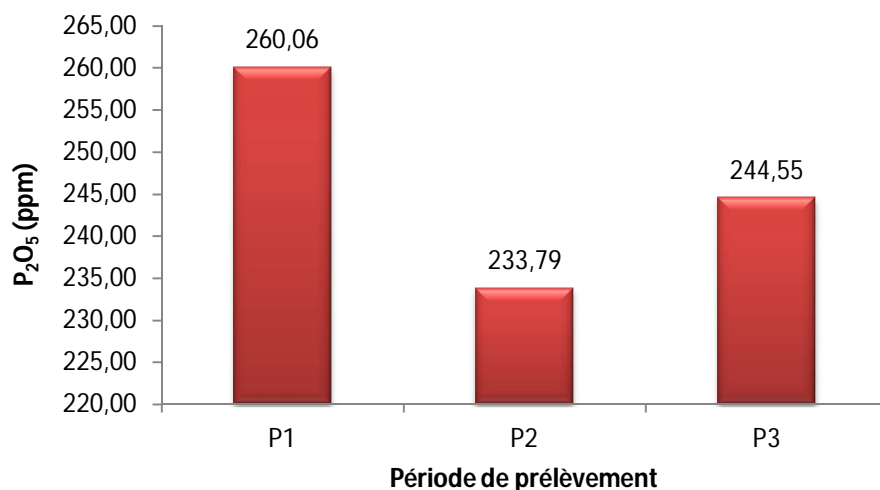
I.2.Variation de la teneur en phosphore assimilable (P_2O_5) dans le sol

Les valeurs de la teneur en P_2O_5 présente dans le sol (tableau 10) se situent entre une valeur minimale de l'ordre de 212,75 ppm observée dans la deuxième période de prélèvement (10 jours après irrigation) et une valeur maximale de l'ordre 297,24 ppm, enregistrée dans la première période (avant irrigation).

Tableau 10 : La teneur en P_2O_5 des sols étudiés durant les trois périodes de prélèvement.

Echantillon	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
P_2O_5 (ppm) Avant Irrigation	266,51	217,36	249,62	297,24	269,59
P_2O_5 (ppm) 10 Jours après Irrigation	237,33	212,75	216,59	247,31	254,99
P_2O_5 (ppm) 20 Jours après Irrigation	231,95	247,31	222,73	271,89	248,85

La figure (08) indique que la teneur en P_2O_5 dans le sol est influencée par les eaux d'irrigation, elle diminue dans la deuxième période de prélèvement (10 jours après irrigation), tandis qu'elle augmente durant la troisième période (20 jours après irrigation).

Figure 8: Variation de la teneur en P_2O_5 durant les trois périodes de prélèvement.

I.2.1. Influence de l'humidité (%)

D'après les résultats obtenus dans le tableau 11 : on remarque que les valeurs de l'humidité du sol avant irrigation varient entre **0,98%** et **1,88 %**, cette teneur en eau diminue dans la deuxième période de prélèvement (10 jours après irrigation) et varie entre **0,94 %** et **1,81 %**.

Tableau 11: L'humidité (H%) des sols étudiés.

Echantillon	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
H(%) Avant Irrigation	0,98	1,05	1,65	1,88	1,84
H(%) 10 Jours après Irrigation	0,94	0,99	1,63	1,81	1,79

H(%) 20 Jours après Irrigation	1,88	1,04	1,06	1,66	1,84
---------------------------------------	------	------	------	------	------

Le taux d'humidité augmente dans la troisième période de prélèvement (20 jours après irrigation). Cette diminution peut être expliquée par l'effet de précipitations totales sur la teneur en eau dans le sol durant cette période.

L'humidité du sol est nécessaire pour l'absorption des ions phosphatés par la plante, car la dessiccation diminue la solubilité des phosphates, elle est nécessaire aussi pour les processus de diffusion qui est un moyen important de transport du phosphore dans la solution du sol jusqu'à la surface racinaire (Duthil, 1973). Une certaine humidité est toujours nécessaire pour l'absorption du phosphore par les plantes.

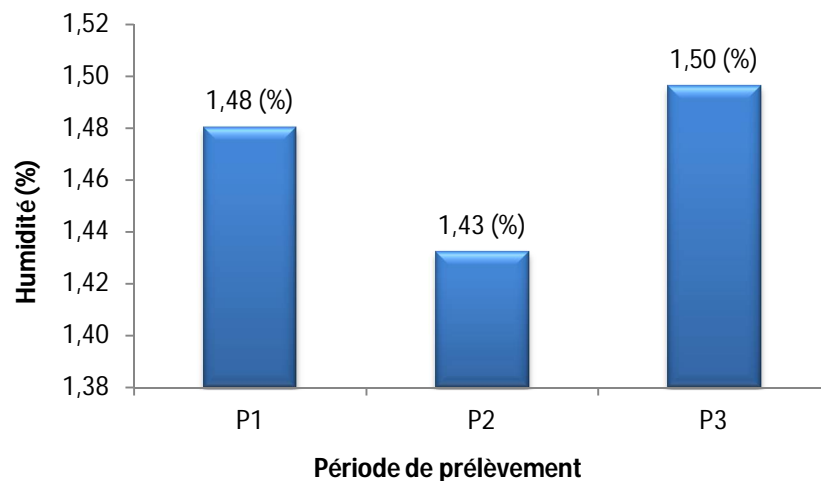


Figure 9: Variation de l'humidité durant les trois périodes de prélèvement.

Selon Cambell (1994), une certaine humidité est toujours nécessaire pour l'absorption des ions phosphatés par les plantes car la dessiccation diminue la solubilité des phosphates.

D'après la figure9, on remarque une diminution de la teneur en eau dans le sol dans la deuxième période de prélèvement (10 jours après irrigation). Tandis qu'elle augmente dans la troisième sous l'effet des eaux de précipitations.

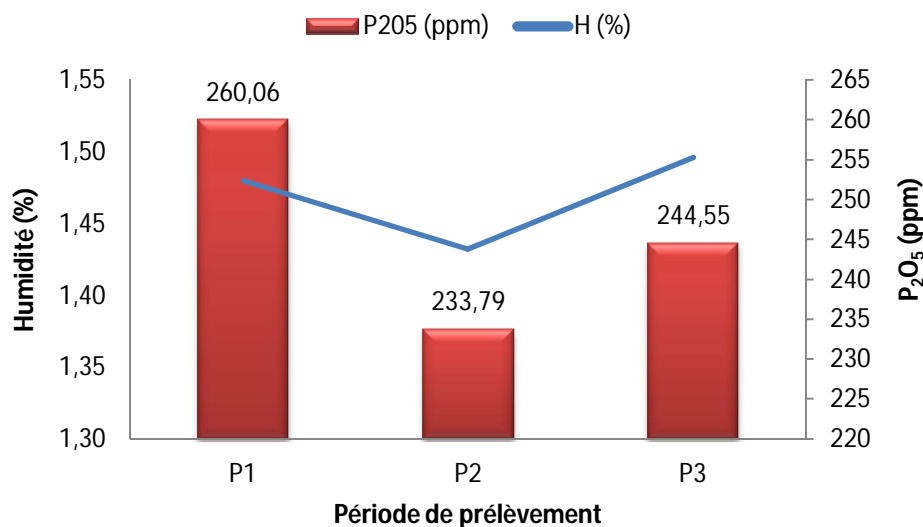


Figure10: Variation de la teneur en P_2O_5 en fonction de l'humidité du sol durant les trois périodes de prélèvement.

La figure (10) indique que la teneur en P_2O_5 est influencée par le taux d'humidité, elle diminue dans la deuxième période de prélèvement (10 jours après irrigation, tandis qu'elle augmente dans la troisième période (20 jours après irrigation). Cette diminution peut être expliquée par l'eau qui entraîne la dissolution

I.2.1. Influence du pH

Le pH moyen du sol est de l'ordre de **8.71**. Cette valeur de pH est considérée comme légèrement basique. Ceci est dû aux teneurs élevées en calcaire, la valeur minimale **8,07** est enregistrée dans la troisième période de prélèvement (30 jours après irrigation) et la valeur maximale **8,98** dans le sol avant irrigation (tableau 12).

Tableau 12: Le pH des sols étudiés.

Echantillon	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
pH (Avant Irrigation)	8,40	8,81	8,75	8,98	8,60
pH (10 Jours après Irrigation)	8,59	8,60	7,93	8,86	8,56
pH (20 Jours après Irrigation)	8,45	8,34	8,37	8,07	8,30

De nombreux travaux ont mis en évidence l'influence directe ou indirecte du calcaire sur la variation du pH. Floate et Enrigh (1991) ont trouvé une relation hautement significative entre l'apport du calcaire et l'augmentation du pH.

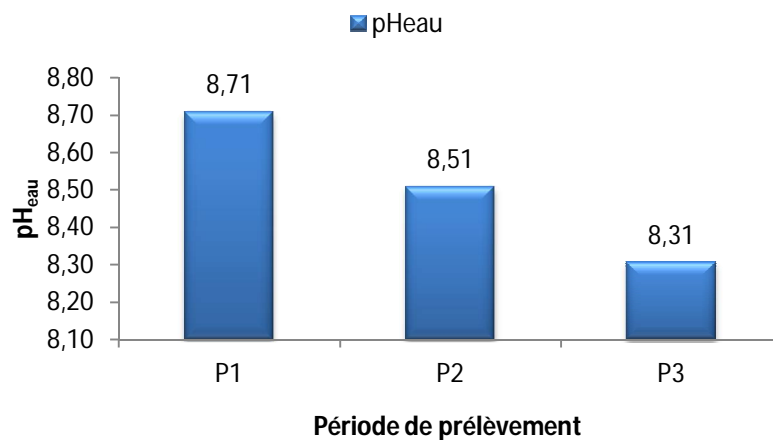


Figure 11: Variation du pH durant les trois périodes de prélèvement.

L'évolution du pH en fonction du temps montre une diminution légère et progressive. 10 et 20 jours après irrigation. La diminution du pH atteint en moyenne 8,31 (Figure 11).

Les formes dissoutes dans la solution du sol facilement utilisables par les plantes seraient H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} . En dehors de la zone de pH (6.5-7.5), la solubilité des ions phosphoriques diminue considérablement suite à la dynamique d'autres éléments comme le fer, l'aluminium en sol acide et le calcium en sol alcalin. Ces éléments en se combinant au phosphore, donnent lieu à des composés peu solubles, difficilement accessibles aux plantes (Brahimi, 1991 in Bouhania R et Zehri Samia, 2005).

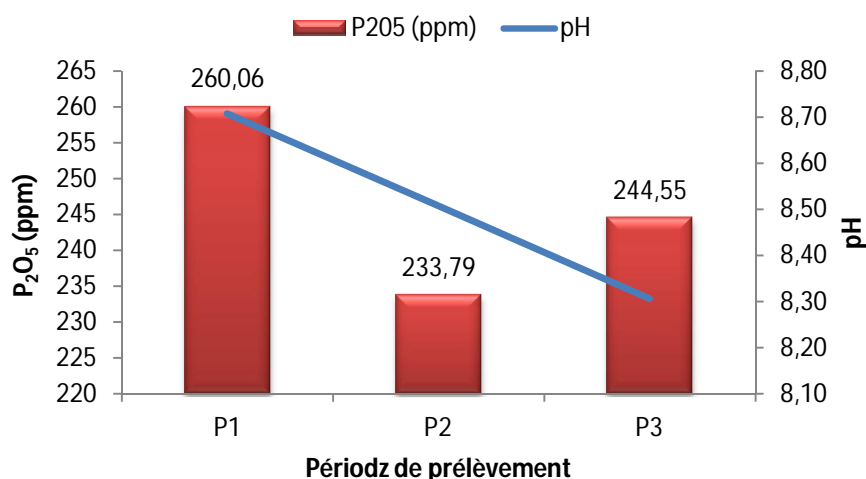


Figure 12: Variation de la teneur en P₂O₅ en fonction du pH durant les trois périodes de prélèvement.

La figure 12 montre l'évolution de la teneur en P_2O_5 en fonction du pH. Le calcaire a un double effet. Au début, il y a solubilisation du phosphore, après irrigation, il y a diminution du pH qui peut jouer un rôle d'inhibiteur de la précipitation des orthophosphates, les sulfates de calcium entraînent la précipitation de l'apatite mal cristallisées avec libération de l'acide sulfurique qui abaisse le pH du sol et interrompt la réaction et limite la cristallisation mais le pouvoir fixateur augmente et est traduit par une diminution du phosphore assimilable avec la diminution de la teneur en calcaire et le pH du au pouvoir tampon du sol.

I.2.3. Influence de la CE

La conductivité électrique définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol. Elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (Guessoum, 2001).

Un sol est considéré salé, lorsque la conductivité électrique de l'extrait saturé est supérieure à 4 mS/cm à 25°C (Durand, 1983).

Les résultats obtenus (tableau 13), montraient que le sol étudié était non salé.

Tableau 13 : La CE des sols étudiés durant les trois périodes de prélèvement.

Echantillon	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
CE(μS/cm) (Avant Irrigation)	113,8	333	318	181,1	178,8
CE(μS/cm) (10 Jours après Irrigation)	92	125,5	619	159,9	103,8
CE(μS/cm) (%) (20 Jours après Irrigation)	41,9	220,0	248,0	410,0	135,5

D'après la figure 13, on remarque une diminution de la conductivité électrique du sol au cours du temps durant les trois périodes de prélèvement. Ce résultat pourrait être expliqué par l'effet des eaux d'irrigation. Les valeurs de la conductivité électrique se situent au-dessous des normes ce qui correspond à un sol non salé.

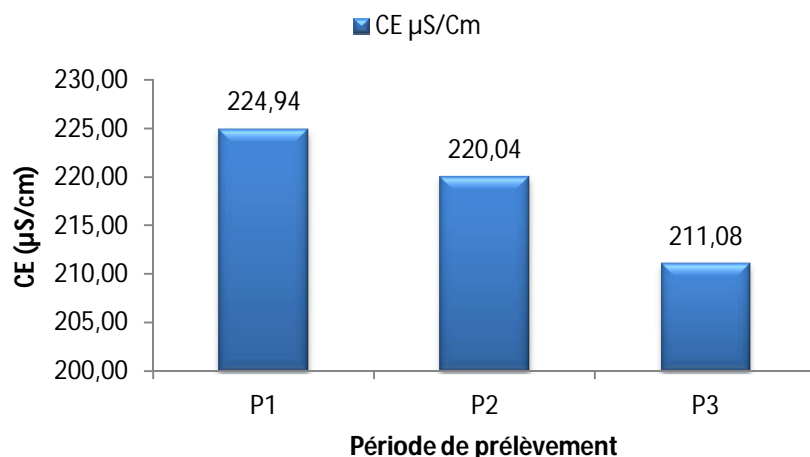


Figure 13: Variation de la CE durant les trois périodes de prélèvement.

I.2.4. Influence du CaCO_3

I.2.4.1. Le calcaire total

Le constituant essentiel de calcaire est le carbonate de calcium, cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique (Djili, 2000).

Tableau 14 : Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol (proposées par Geppa in Baize, 1988).

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
Appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

En comparant les valeurs obtenues à celles signalées par (Baize, 1988 in Djebli A 2013), (tableau 14), nous constatons que le sol étudié est modérément calcaire sur toutes les parcelles.

Tableau 15 : Le CaCO_3 total dans les sols étudiés.

Echantillon	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
CaCO_3 (%) (Avant Irrigation)	17,14	15	16,71	14,14	15,86
CaCO_3 (%) (10 Jours après Irrigation)	14,78	15,22	13,04	14,78	15,22
CaCO_3 (%) (20 Jours après Irrigation)	19,29	15	12,86	14,57	17,14

Le calcaire total (CaCO_3) se trouve en quantité moyenne dans le sol et varie entre 15,77% et 14,61% (tableau 15), ce qui explique la basicité des sols étudiés.

Cette quantité du carbonate diminue sous l'effet des eaux d'irrigation durant la deuxième période de prélèvement (10 jours après l'irrigation). Tandis qu'elle augmente dans la troisième période (20 jours après irrigation) (figure 14). Cette augmentation peut être expliquée par la précipitation du CaCO_3 dans le sol.

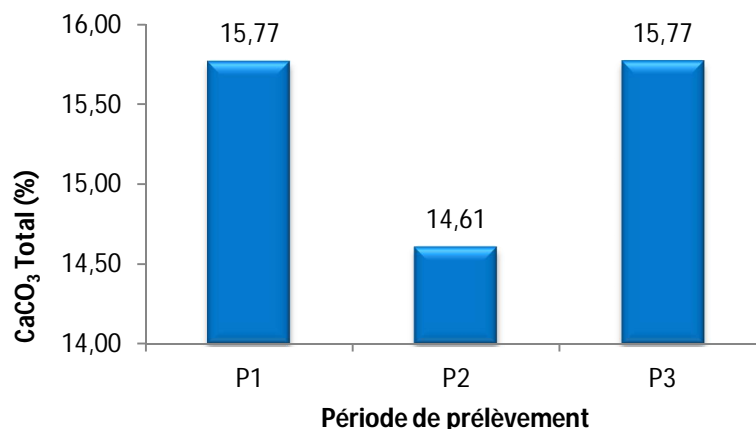


Figure14: Variation de la teneur en CaCO_3 total durant les trois périodes de prélèvement.

Ces résultats révèlent que l'eau d'irrigation influe sur le taux de dissolution du calcaire dans le sol, l'eau est susceptible de dissoudre le calcaire en faible quantité, mais cette teneur en CaCO_3 augmente dans la troisième (20 jours après l'irrigation).

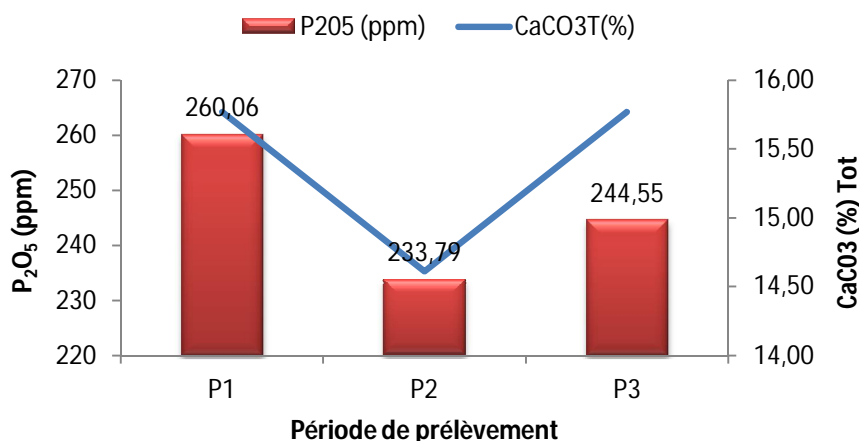


Figure 15: Variation de la teneur en P_2O_5 en fonction du CaCO_3 total durant les trois périodes de prélèvement.

Les Ca^{2+} réagissent avec le phosphore et forment des phosphates calciques. Plus le sol est riche en Ca^{2+} , plus le phosphore est bloqué. La présence des Ca^{2+} en grandes quantités dans la solution du sol entraîne obligatoirement sa fixation par le complexe d'échange

cationique. Dans les sols calcaires, le changement de la composition de la solution du sol influe sur la dynamique du phosphore, ceci est confirmé par Datago et al (2002).

D'après les résultats obtenus (figure 15), on remarque que plus le calcaire actif est élevé, plus il y a insolubilisation du phosphore suite à la réaction du phosphore avec le gypse et formation du complexe P-Ca, qui a prouvée par une étude réalisée par Jones (1992) concernant les formes du phosphore dans les sols calcaire.

Les Ca^{2+} réagissent avec le phosphore et forment des phosphates calciques. Plus le sol est riche en Ca^{2+} , plus le phosphore est bloqué. La présence des Ca^{2+} en grandes quantités dans la solution du sol entraîne obligatoirement sa fixation par le complexe d'échange cationique.

I.5.2. Le calcaire actif

Le calcaire actif est la fraction du calcaire total susceptible de se dissoudre facilement et rapidement dans la solution du sol.

Tableau 16 : Le CaCO_3 actif dans les sols étudiés.

Echantillon	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
CaCO_3act (%) (Avant Irrigation)	4,96	4,52	4,89	4,03	4,62
CaCO_3act(%) (10 Jours après Irrigation)	4,25	4,54	3,86	4,25	4,54
CaCO_3act(%) (20 Jours après Irrigation)	4,88	4,39	4,00	4,34	4,22

D'après le tableau 16, les teneurs en CaCO_3 actif obtenues au cours de notre étude varient entre une valeur minimale de l'ordre de 3,86 % observée dans le sol pendant la deuxième période de prélèvement (10 jours après irrigation), et une concentration maximale de 4,96 % enregistrée dans le sol avant irrigation.

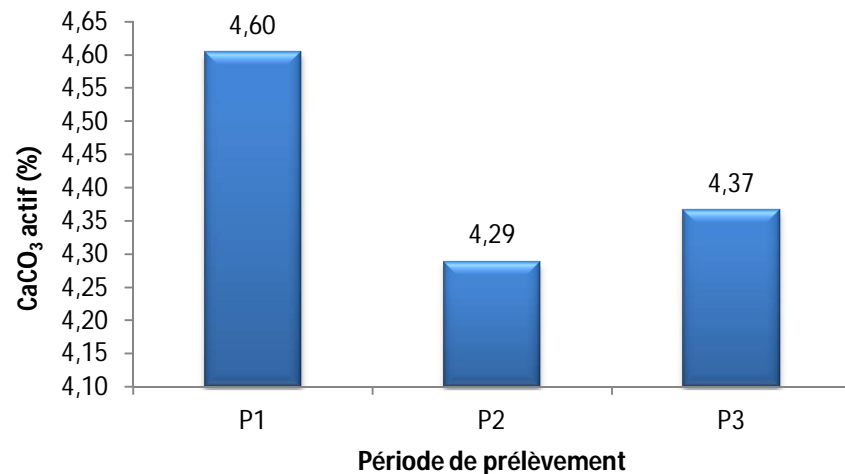


Figure 16: Variation de la teneur en CaCO₃ actif durant les trois périodes de prélèvement.

Le calcaire actif est la fraction du calcaire total susceptible de se dissoudre facilement et rapidement dans la solution du sol. D'après les résultats obtenus (figure 16), on observe que la teneur en CaCO₃ actif diminue dans la deuxième période de prélèvement (10 jours après irrigation) sous l'effet des eaux d'irrigation puis augmente dans la troisième période (20 jours après irrigation).

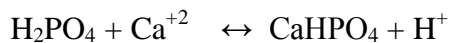
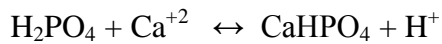
A faible concentration, Duthil (1973) souligne que le calcaire joue un rôle protecteur vis-à-vis des ions phosphoriques contre leur adsorption énergétique par le fer et l'aluminium libres. A des concentrations élevées, il y a formation de phosphates calciques de moins en moins solubles qui peuvent évoluer vers une forme insoluble ou apatitique.

Duthil (1976), montre qu'en sols calcaires les ions orthophosphates en solution évoluent en présence de calcite vers des formes insolubles suivant un enchaînement régulier des réactions conduisant à la formation de : - Phosphate monocalcique ; - Phosphate bi- calcique ; - Phosphate tricalcique.

Dans un sol calcaire, la fixation du phosphore s'opère grâce à un "pont calcique", le calcium sert de lien entre le phosphore et l'argile. Plus le pouvoir fixateur est élevé et moins le sol est riche en phosphore assimilable, plus il faudrait majorer la dose de phosphore à apporter en fertilisation (Soins et Vaysse, 1999).

Le pH optimum pour l'assimilation du phosphore se situe au voisinage de la neutralité. Les formes dissoutes dans la solution du sol sont facilement utilisables par les plantes seraient H₂PO₄⁻ et HPO₄²⁻ (Gervy, 1970).

Le phosphore est influencé par la nature des cations échangeables. Lorsque Ca^{2+} est le cation dominant la solubilité de cet élément est très affectée. Dans les sols non calcaires, et quand le complexe adsorbant est saturé en Ca^{2+} , il y a formation du phosphore insoluble par réaction des phosphates avec le Ca^{2+} du complexe adsorbant, la réaction du Ca^{2+} avec H_2PO_4 produit des H^+ :



Ces H^+ peuvent modifier le pH, mais grâce au pouvoir tampon du sol, ils sont fixés sur le complexe adsorbant et le pH reste inchangeable (Cho, 1991).

I.2.1. Influence de la matière organique(%)

La matière organique exerce un rôle très important sur le sol, elle améliore ses propriétés physiques (stabilité structurale, capacité de rétention en eau,...) et chimiques par la libération progressif des éléments nutritifs et l'augmentation de leur pouvoir absorbant en éléments minéraux apportés par les engrais (Callot et *al.*, 1982 in Djebli A., 2013).

Tableau 17 : Norme d'interprétation de la matière organique (méthode Anne ISO : 10693).

Sol	Taux de matière organique (%)
Très pauvre	< 1
Pauvre	1-2
Moyen	2-4
Riche	> 4

Selon les résultats obtenus (Tableau 18), nous constatons que les teneurs en matière organique varient entre 0.79 % enregistrée dans la deuxième période de prélèvement (10 jours après irrigation) et 1.63 % dans la troisième période (20 jours après irrigation). Ce qui s'expliquerait par une minéralisation de la matière organique accompagnée d'une diminution de la teneur en calcaire total qui influe sur la teneur en carbone dans le sol. En effet, d'après les normes d'interprétation de la matière organique

(tableau 17), le sol étudié est pauvre en matière organique.

Tableau 18 : La teneur en matière organique.

Echantillon	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
MO(%) Avant Irrigation	0,95	1,20	1,32	1,08	1,00
MO(%) 10 Jours après Irrigation	0,91	0,86	0,79	1,22	1,15
MO(%) 20 Jours après Irrigation	1,03	0,84	1,03	0,88	1,63

La matière organique exerce un rôle très important sur le sol, elle améliore ses propriétés physiques (stabilité structurale, capacité de rétention en eau,...) et chimiques par la libération progressif des éléments nutritifs et l'augmentation de leur pouvoir absorbant en éléments minéraux apportés par les engrais (Callot et *al.*, 1982).

La matière organique augmente la solubilité du phosphore dans le sol par deux processus :

- ✚ Des ions organiques peuvent occuper les sites de fixation du phosphore dans le sol
- ✚ Les ions organiques constituent avec Ca^{2+} , Fe^{3+} et Al^{3+} des complexes.

La matière organique est une source de phosphore, sa minéralisation donne le phosphate assimilable par la plante (Duthil, 1973). La décomposition de la matière organique donne des acides organiques qui dissolvent le phosphore minéral de fer et d'aluminium (Michel et *al.*, 2003). Dans les sols pauvres en phosphore, la matière organique apportée au sol à un effet adverse, le phosphore organique est immobilisé par les microorganismes.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, la faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation. Dans le sol, le phosphore est considéré avec l'azote et le potassium comme des constituants fondamentaux de la vie des êtres vivants ; c'est un élément majeur pour la plante.

Le suivi de la parcelle au cours de notre étude nous a permis de mettre en évidence l'impact du pH et quelques paramètres physico-chimiques du sol avant et après irrigation sur la mobilité du phosphore assimilable dans le sol.

L'analyse des paramètres physico-chimiques a montré que l'apport d'eau d'irrigation a un effet sur les propriétés physico-chimiques du sol. Les résultats obtenus au niveau de la parcelle avant et après irrigation montrent une diminution de la teneur en phosphore assimilable, c'est-à-dire que l'apport d'eau d'irrigation entraîne une accélération de la complexation du phosphore dans le sol.

La teneur en phosphore assimilable dans le sol diminue en fonction du taux de calcaire en présence d'un pH basique. Dans ce cas, le sol peut fixer des quantités élevées de phosphore. Car, il présente des conditions avec un pH basique, et un complexe adsorbant riche en Ca^{2+} favorables à sa rétention. Ce pouvoir fixateur augmente proportionnellement avec la teneur en calcaire et de pH.

Il est important de mentionner la nécessité de poursuivre cette étude, Le prolongement de l'essai pourrait permettre de suivre l'évolution du phosphore assimilable dans le sol sous l'effet des eaux d'irrigation.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bachelier G., Behn O., 1997.** “Phosphore”. Site internet consulté en ligne le 20 décembre 2005 à l'adresse : http://www.ac-versailles.fr/etab/hiss/herblay/briques1fr/fr_p2.htm.
- Baeyens J., 1967.** Nutrition des plantes de culture ou physiologie appliquée aux plantes agricoles. Ed. Nauwelaerts Louvain, 278p.
- Baeyens J., 1967.** Nutrition des plantes de culture ou physiologie appliquée aux plantes agricoles. Ed. Nauwelaerts Louvain ; 278 pages.
- Baize B., Bernard J., 1995.** Guide pour la description des sols, Edt, INRA, Paris.
- Baize D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. INRA. Paris. ISBN 2-7380-0075-4. 172 pages.
- Baize D., 2000.** Guide des analyses en pédologie, choix-expression, présentation-interprétation. 2ème Ed INRA, Paris, 257p.
- Beaudin I., 2008.** Revue de littérature. La mobilité du phosphore Version finale. Ed CRAAQ, 137p.
- Bonneau M., Souchier B., 1979.** Pédologie : Constituants et propriétés du sol, tome II, Edition, Masson, Paris.
- Bonneau., Souchier., 1994.** Constituants et propriétés du sol Edt Masson, Paris.
- Bouhania R et Zehri S, 2005.** Etude comparative de deux types d'engrais phosphatés sur céréales à pailles (orge) dans la région d'Oued Righ (Station El-Arfiane) : Mémoire d'Ingénieur d'Etat en agronomie Saharienne, option production végétale—71pp, Université de Ouargla.
- Boulaine., 1980.** Pédologie appliquée, Edt, Masson, Paris.
- Bouzza., 1995.** Caractérisation physique et chimique des sols de la ferme expérimentale du centre universitaire Tiaret.
- Boyer J., 1982.** Les sols ferrallitiques, facteurs de fertilité et utilisation des sols Edt, ORSTOM, Paris.
- Brady N.C., Weil R.R., 2000.** Elements of the Nature and Properties of Soils. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Brahimi T., 1991.** Contribution à l'étude de l'utilisation des phosphates naturels dans la fertilisation phosphatée d'un sol saharien, à Biskra Mémoire .Ing.Agro.Ouargla 68p.
- Buckman., Badday N., 1965.** Les sols naturels et propriétés. Précis d'édaphologie, intercontinental, Edt. INC.
- Callot G Chamayout., Maertens C et Saalsacil L., 1982.** Mieux comprendre les interactions Sol-racines : indice sur la nutrition minérale I.N.R.A, 325p

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cho M., 1991.** Phosphorus transport in calcium-saturated systems. 1. theory. Soil. sci. soc. J. Am. (25)5: 1275-1281.
- Clement J., 1981.** Etude de mécanismes de la destruction des agrégats de terre au contact de solution aqueuse, Ann. Agron.
- Datago., Uceda., Andrea., Kassem., Delcampilo., 2002.** Changes in Olsen phosphorus in reclaim marsh soils on gypsum R.C.S. Spain. Dprt.
- Demers I., 2008.** Formes et disponibilité du phosphore de composts utilisés comme amendements des sols agricoles, pour l'obtention du grade de maître des sciences (M. Se.), Laval (Québec), 92p.
- Denis Angers et al, 1995 : Sols diagnostic de la dégradation des propriétés physique du sol, 16p disponible au près d'adri-info.
- Diehl R., 1975.** Agriculture générale. 2ème Edt, Paris : J. B, Baillière.
- Djili K., 2000.** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse doctorat. INA, Alger, 243 p.
- Drouet T.H., 2010.** Pédologie, BING-F-302. Ed. Lagev, 140p.
- Duchaufour 1979.** Pédologie Tome2 : constituants et propriétés du sol, Edt, Masson, Paris.
- Duchaufour 1988.** Abrégés de pédologie, 2ème Edition, Masson, Milum, Barcelone, Mexico, Paris.
- Duchaufour Ph, 1997.** Pédologie et classification. Ed. Masson, Paris. 477p.
- Duchaufour Ph., 1995.** Pédologie, sol, Végétation et environnement, 4ème Edition, Masson.
- Duchaufour., 1970.** Précis de pédologie .Ed, Masson et Cie. 481p.
- Durand J.H., 1983.** Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imprimerie Boudin, Paris, 339 p.
- Duthil J, 1973.** Eléments d'écologie et d'agronomie, T3, Ed. J.B. Baillière. 654p.
- Duthil J, 1976.** La fertilisation phosphatée des sols calcaires. An Agro, INA Vol VI n°2, pp : 75-80.
- Ellard L., 1979.** Technique agricole 1ère Edition technique paris.
- Fardeau J.C et Frossard M, 1991.** Processus de transformation du phosphore dans les sols d'Afrique de l'Ouest semi-aride: Application au phosphore assimilable. In Phosphorus cycles in tersional and aquatic ecosystems. Regional work shop4, Univ.Saskatchewan, pp:1-15.
- Fardeau., 1993.** Le devenir du phosphore assimilable dans le sol et dans les systèmes sol-plante perspectives agricole, N181.XVII6XXII.
- Fardeau., Conesa., 1994.** Le phosphore. Dans : Bonneau et Souchier, Pédologie vol2. Constituants et propriétés du sol. Masson. 557_568

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Floate M.J.S et Enrigh P.D., 1991.** Effects of lime and 5 years ssuplphun phosphors applications on soil pH, ssulphun, and phosphorus status of tussock grassland soils on Est at agro - uplands. New Zealand journal of agriculture. Research.33.4, 99: 453-465.
- Frossard E., Brossard M., Hedley MJ.etMetherell A., 1995.** Reactions controlling the cycling of P in soils.Dans: Phosphorus in global environment, édité par T. H., tome 54, pages 108-137. John Wiley& Sons Ltd., Paris.
- FrossardE., SinajS., Zhang L.M. et Morel, J.L., 1996.** (The fate of sludge phosphorus in soil plant systems.)Soil Science Society of America Journal, 60: 1248-1253.
- GauthierJ., 1991.** Notion d'agriculture ; le sol, les cultures, les élevages, l'économie et le gestion, Edt, LAVOISIER.
- Gervy R, 1970.**Les phosphates et l'agriculture. Edition DUNOD, Paris. 298p.
- Giroux M., Tran T.S., 1994.** Étude des facteurs affectant l'évolution desteneurs en P et K des sols agricoles. Agrosol 7 (2) : 23-30.
- Greenwood NN.,Earnshaw A., 1984.**Chemistry of the elements. Butterworth Heinemann Ltd, London. 1543 pages.
- Gros A., 1979.**Guide pratique des relations entre alimentation phosphatée des cultures et les valeurs E et l'INRA pp : 205-215.
- Gros, A., 1967.** Engrais : guide pratique de la fertilisation. 5ème édition. Maison Rustique, Paris : 430pp.
- Guessoum A., 2001.**L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada - Biskra., Thèse ing, Agro,Univ Batna., 50 P.
- INRA., 1965.** Institut National de Recherche Agronomique) du maroc,.Les cultures fourragères irriguées au Maroc, INRA Rabat,28p.
- INSD., 2011.** Institut National des Sols et d'Irrigation et Drainage.
- Kenadi H., 2003.** L'état physique des terres du parcours en zone steppique. Mémoire d'Ing d'Etat. Sciences du Sol Univ de Tiaret (Ksar Chellala).
- Lambert J.C., 1979.** « La fertilisation phosphatée » revue Cultivar. N °115, pp96-97.
- Larsen S., 1967.**Soil phosphorus. Advances in Agronomy, 19:151-210.
- Legros J.P., 2007.** Les grands sols du monde. Presses polytechniques et universitaires romandes. Espagne. 574 p.
- Lennoz., Gratin., 1989.** Un test pour la prévision du risque de colmatage minérale des drains agricoles, bult, AFES, vol 27, N°2.
- Louis Eliard, 1979, in Labb O, 2001
- LunzeL., 2000.** Possibilité de gestion de la fertilité du sol au Sud Kivu montagneux. Cahier du CERPU : 28-31.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Lunze, L., 2000.** Possibilité de gestion de la fertilité du sol au Sud Kivu montagneux. Cahier du CERPU : 28-31.
- MendjourH., 1990.** L'assimilable du phosphore, thèse d'ingénieur, Tiaret.
- Michel Ca., ThiensSj., 2003.** Phosphorus bioavailability following incorporation of grain manure crops. Soil.sci.soc.Am.j.V67: 1186-1194.
- Mkhabela M.S., Warman P.R., 2005.** The influence of municipal solidwaste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agr. Ecosys. Environ. 106:57-67.
- Morel J.L., 2003.** Phytodisponibilité et valeur fertilisante du phosphore de déchets urbains. pp35_44. Tercé M. (dir) agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels. Dossiers de l'environnement de l'INRA. N° 25. Paris. 154.
- Morel., 1996.** Les sols cultivés, 2eme Edition, INRA, Paris
- Musy A., Soutter M., 1991.** Physique du sol. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 348 p.
- NF ISO 10693 : 06/1995.** X31-105. Détermination de la teneur en carbonates – Méthode volumétrique.
- Richardson A.E., Barea J.M., Mcneill A.M., Prigent-Combaret C., 2009.** Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. Plant and Soil 321:305-339.
- Sanfourche., 1947.** Les engrais phosphatés, Edition, Dunod, Paris, 227p.
- Soins P et Vaysse P, 1999.** Fertilisation des vergers environnement et qualité Ed. CTIFL pp 47-52.
- Vanden Bossche H., 1999.** Devenir du phosphore apporté sur les sols et risques de contamination des eaux de surface. Cas des boues de stations d'épuration. Thèse doctorat, université Rennes I, 294p.
- Vilain., 1987.** La production végétale, vol1, les composantes de la production, Edition. J.B. Baillere.
- Gobat J.U., Aragno M., Matthy W., 1995.** Le sol vivant, 2eme Edition, Paris.
- Soltner D., 2000.** Les bases de la production végétale, T I: le sol et son amélioration., 22e Edition, Editions Sciences et techniques agricoles "Le Clos Lorelle"- 49130 Saint-Gemmes-Sur-Loire., 472 P.
- Djebli A., 2003.** Impact des eaux d'irrigation souterraines sur les propriétés physico-chimiques du sol dans la région de Mostaganem. Mémoire d'Ingénieur d'Etat. Hydraulique Agricole. Univ Mostaganem.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES



Figure N° 17: Tarière et GPS



Figure N° 18: Tamiser et peser d'échantillon



Figure N° 19 : PH mètre



Figure N°20 : l'eau distille

ANNEXES



Figure N° 21: Conductimètre

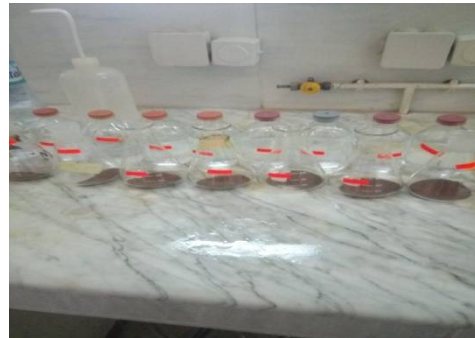


Figure N° 22: Préparation des échantillons pour la destruction de la M.O



Figure N° 23: L'étuve



Figure N°24 : Mesure de l'humidité

ANNEXES



Figure N° 25 : Calcimetre de BERNARD



Figure N° 26 : Filtration et Titrage



Figure N° 27 : Broyeur et Agitateur

Résumé :

L'objectif de ce travail consistait à étudier l'effet du pH et quelques paramètres physico-chimiques sur la dynamique du phosphore assimilable dans le sol avant et après irrigation. Pour pouvoir suivre cette dynamique, des échantillons de sol sont analysés avant et après irrigation. L'insolubilisation du phosphore est expliquée par le pH basique du sol, sa réaction avec le Ca^{2+} apporté par le calcaire, et son adsorption sur la surface de la calcite. Le sol sous irrigation a présenté les meilleurs résultats par rapport au sol avant irrigation à savoir la diminution du pH, la conductivité électrique et la teneur en calcaire total qui influencent la solubilité du phosphore dans le sol. On en déduit que ces résultats vérifient l'influence des eaux d'irrigation sur les propriétés physico-chimiques du sol et la mobilité du phosphore.

Mots clés : Sol, pH, phosphore assimilable, analyses physico-chimiques, irrigation.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير درجة حموضة التربة و بعض الخصائص الفيزيو-كيميائية للتربة على ديناميكية الفوسفور في التربة قبل و بعد عملية السقي. من أجل دراسة هذه الديناميكية في التربة أجرينا مجموعة من التحاليل قبل و بعد عملية السقي. يمكن تفسير عدم ذوبان الفوسفور في التربة إلى قاعدية هذا الأخير، تفاعله مع الكالسيوم الذي مصدره الكلس و إدمصاصه من طرف هذا الأخير. التربة بعد عملية السقي لديها تأثير إيجابي بالمقارنة مع التربة قبل السقي حيث نلاحظ على مستوى التربة بعد عملية السقي إنخفاض درجة الحموضة، الناقلية الكهربائية و كمية الكلس التي تؤثر على ذوبانية الفوسفور في التربة. يمكن أن نستخلص من هذه النتائج تأثير مياه السقي على الخصائص الفيزيو-كيميائية و حركة الفوسفور في التربة.

الكلمات المفتاحية: تربة، فوسفور، تحاليل فيزيو-كيميائية، سقي.