



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريش
Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : biodiversité et environnement

Intitulé :

Etude comparative de trois méthodes de mesure de la matière organique du sol. Application sur les sols calcaires.

Présenté par :

Achacha Ahlem & Tahraoui Hadjer

Soutenu le 25/ 06/ 2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Mr. Zaafour Mohammed Djalil	MAB.	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
Encadrant :	Mme. Laoufi Hadjer	MAA.	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
Examineur :	Mme. Belloula Salima	MCB.	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.

Année Universitaire 2022/2023

Remerciement

Avant de commencer, nous tenons d'abord à remercier avant tout ALLAH le tout puissant, de nous avoir guidés toutes ses années d'études et de nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

- ❖ Nous commençant par remercier Mr Zafour Mohamed Djilil d'avoir accepté de présider le jury.
- ❖ Nous tenons à remercier Mme Laoufi Hadjer Maitre-assistant A à l'université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj), qui nous a permis de bénéficier de son encadrement, ses conseils et ses recommandations régulières qui ont constitué un soutien immense sans lequel ce travail n'aurait pas pu être réalisé.
- ❖ Nous remercions également Mme Belloula Salima pour avoir accepté de faire part de ce jury.
- ❖ Nous tenons à remercier tous les enseignants qui nous ont soutenus : Mr Djedilat Lakhdar (cadre d'étude au BNEDER), Dr Bensafia Sofiane, Dr Aymen, Dr Zeghadi Rami
- ❖ Nous tenons à remercier M. LAABACHI Bachir, propriétaire de la ferme, pour sa confiance et son aide lors de cette étude.
 - ❖ Nous profitons ainsi par la même occasion pour remercier le personnel du laboratoire : Abdelghani, Sabrina... Nous tenons à remercier tous ceux qui ont bien voulu nous aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail à:

* Mon père "Lhadj" et ma mère "Abloul cherifa"
que dieu me les garde et me les protège

* Mon cher frère : Anis

* Mes chères sœurs : Imane et Amani

* Aux petits : Rokaya et Mohamed

* Ma tante Ourida et mon oncle Zghadi Lkhmisi

* À toute ma famille " Tahraoui" et la famille
"Abloul"

* À mon binôme Ahlem en fin, à tous ceux qui me
connaissent et m'aiment.



Hadjer

Dédicace

Je remercie Dieu le tout puissant qui me permet
d'arriver à ce but.

Je dédie ce modeste travail à deux personnes les
plus chers à mon cœur

A mes très chers parents qui ont sacrifié de leur
existante pour bâtir la mienne qui par leur
précieux conseils et contient ont sa ma guider
vers la voix de la réussite

A mes frères Islem, Mouhaned, Amir

A toute ma grande famille Achacha et Fhaima en
particulier mon oncle Hamza

A mon ami Abdon A mon binôme Hadjer qui m'a
accompagné durant cette difficile période et à
tous ceux qui ont contribué de près ou de loin
pour ce projet. Si possible, je vous dis merci.



Ahlem

Table des matières

Matériel et méthodes :	5
1. Situation géographique de la wilaya de Bordj Bou Arreridj	5
1.1. Climat	5
- Précipitations	5
- Températures	6
- Autres facteurs climatiques	8
1.2. Les sols	10
- La zone montagneuse	10
- La zone des hautes plaines	10
La zone Sud	10
1.3. La géologie	10
2. Présentation de la zone d'étude	11
2.1. La végétation	11
3. Matériel d'étude	12
3.1. Travaux sur le terrain	12
3.2. Mode d'échantillonnage	12
3.3. Préparation des échantillons de sol	13
3.4. Analyses au laboratoire	14
3.4.1. La réaction du sol (pH)	14
3.4.2. Calcaire total	14
3.4.3. Les méthodes de mesure de la matière organique	15
3.4.3.1. La méthode par perte au feu (PAF) :	15
- La première manière : PAF sans décarbonatation	15
- La Deuxième manière : PAF avec décarbonatation	16
3.4.3.2. Méthode Anne (1945)	16
3.4.3.3. La méthode Walkley-Black Modifiée	17
4. Traitement des données	18
<i>Résultats et</i>	19
<i>Discussion</i>	19
1. Résultats	20
2. Les statistiques descriptives des paramètres étudiés	22
2.1. pH	23
2.2. Le calcaire	23

2.3. La matière organique.....	23
2.3.1. Présentation des taux de la matière organique du sol selon les différentes méthodes utilisées.....	24
3. Etude de la relation entre pH, calcaire total et la matière organique analysée selon les différentes méthodes	26
3.1. Test de normalité.....	26
3.2. Matrice de corrélation de Pearson	26
4. Corrélation entre pH, calcaire total et les méthodes d'analyse de MO	27
4.1. Effet de la matière organique sur le pH du sol.....	27
4.2. Effet du calcaire total sur le taux de matière organique.....	28
4.3. Effet du calcaire sur le pH du sol	28
5. Relation empirique entre les méthodes utilisées	31
5.1. Relation entre le taux de MO selon la méthode Anne (1945) en fonction de taux de la matière organique selon la méthode PAF avec décarbonatation	31
5.2. Relation entre le taux de MO selon la méthode Anne (1945) en fonction de taux de la matière organique selon la méthode PAF sans décarbonatation.....	32
5.3. Relation entre le taux de MO selon la méthode Walkey-Black modifiée en fonction de taux de la matière organique selon la méthode PAF avec décarbonatation.....	33
5.4. Relation entre le taux de MO selon la méthode Walkey-Black modifiée en fonction de taux de la matière organique selon la méthode PAF sans décarbonatation	33
Conclusion :	35
Annexe	36
Résumé :.....	48

Liste des tableaux :

Tableau	Titre	page
1	Répartition mensuelle des pluies	5
2	Répartition saisonnière des pluies	6
3	Températures minimales (m), maximales (M) et moyennes par mois	7
4	Moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air	8
5	L'évapotranspiration (cumul moyen de Penman)	9
6	Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/s)	9
7	Les résultats d'analyse de la matière organique selon les méthodes étudiées et les paramètres de (calcaire total et pH)	21
8	Statistiques descriptives des paramètres étudiés	22
9	Matrice de corrélation	26

Liste des figures :

Figure	Titre	page
1	Températures minimales (m), maximales (M) et moyennes par mois	6
2	Carte de la situation géographique du site d'étude	11
3	Présentation de la parcelle (Photo prise par Tahraoui H. et Achacha A. 21/12/2022)	12
4	Aperçu du plan d'échantillonnage	13
5	Le séchage des échantillons à l'air libre	13
6	Représentation de la matière organique du sol selon les différentes méthodes utilisées	25
7	Le taux de matière organique du sol obtenu selon les quatre méthodes (numérotation)	25
8	Relation entre le pH et le taux de MO (%) selon les méthodes étudiées	27
9	Relation entre le calcaire total (%) et le taux de MO (%) selon les méthodes étudiées	28
10	Effet du calcaire total sur le pH du sol	29
11	Relation entre la MO selon la méthode Anne (1945) en fonction de la MO selon la méthode PAF avec décarbonatation	31
12	Corrélation entre la MO selon la méthode Anne (1945) en fonction de la MO selon la méthode PAF sans décarbonatation	32
13	Corrélation entre la méthode Walkey-Black modifiée en fonction de la méthode PAF sans décarbonatation	33
14	Corrélation entre la MO selon la méthode Walkey-Black modifiée en fonction de la MO selon la méthode PAF sans décarbonatation	33

Liste des abréviations :

CV : coefficient de variation

MO : Matière organique

PAF : perte au feu

NaF : fluorure de sodium

Introduction
Générale

Introduction générale :

Le sol constitue l'une des ressources naturelles essentielles de la Terre. C'est une matrice poreuse complexe qui se forme de plusieurs phases : la phase solide minérale et organique, une phase liquide et une phase gazeuse (**Beauchamp, 2008**). La matière organique est l'un des composants les plus importants du sol, car elle représente l'ensemble des composés carbonés et azotés résultant de la décomposition des produits animaux et végétaux. Elle contient un ensemble très différent de matériaux à des stades de développement très variés (**Duchaufour, 1977**). La matière organique du sol est constituée de composés biochimiques tels que les acides organiques, les sucres, les lipides et les polysaccharides. La source de matière organique varie selon sa nature, car certaines proviennent de résidus végétale et animale, fumier et lisier, d'engrais verts, résidus de cultures précédentes, composte, tandis que d'autres proviennent de paille ou de mulch **Messiaen, (1977)**.

La matière organique (MO), constituant essentiel du sol provient de la décomposition des animaux, des plantes et des microorganismes, mais les résidus végétaux constituent la principale source de MO (**Calvet et al., 2011**). Elle est impliquée dans de nombreux processus aux conséquences agronomiques et environnementales très importantes. La matière organique joue un rôle important dans les propriétés physiques du sol, c'est l'élément principal qui participe à dans la construction et à l'évolution de la structure du sol (**Chenu et al., 2011**). Elle joue aussi un rôle crucial dans les écosystèmes et dans de nombreux processus biogéochimiques. La matière organique améliore la fertilité des sols en favorisant la rétention en eau, l'aération, la structure du sol et la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes. Elle fournit également des nutriments essentiels, tels que l'azote, le phosphore et le potassium, qui se libèrent progressivement lors de la décomposition et favorise également la biodisponibilité de ces éléments pour les plantes et les microorganismes du sol (**Brady et Weil, 2016 ; Paul et Clark, 1996**). Elle joue aussi un rôle clé dans le cycle du carbone en tant que réservoir de carbone organique. Elle contribue au stockage du carbone dans les sols .

Compte tenu de la nature et la source des éléments qui entrent dans la formation de la matière organique, il a été constaté qu'ils ont un rôle important dans le sol, car ils sont considérés comme un indicateur majeur de la qualité du sol, et ils jouent également un rôle majeur dans l'activité des êtres vivants et des micro-organismes, en plus de cela, ils augmentent l'agrégation et la stabilité du sol avec une augmentation de la quantité de carbone dans le sol en diminuant l'effet de serre. Tout cela lui permet d'être d'une grande importance pour le sol, car la présence de matière

organique dans le sol favorise la croissance des plantes cultivées et naturelles en créant des conditions physico-chimiques favorables, et une augmentation de la teneur en matière organique améliore considérablement la structure du sol (FAO, 2002).

Malgré tout ce que nous avons mentionné au sujet de la matière organique, il existe plusieurs facteurs qui contrôlent son activité, notamment le degré d'acidité et la qualité du sol. Ceci, quand le pH du sol et le calcaire total sont liés dans le sol, le calcaire fait augmenter le pH du sol, le rendant plus alcalin. Les sols riches en calcaire total ont un pH élevé, tandis que les sols acides ont un pH inférieur à 7. Donc la quantité de calcaire total peut affecter considérablement le taux de matière organique et son degré de minéralisation. Les sols alcalins peuvent être généralement de taux faible en matière organique.

Il est important de prendre en compte le pH et la teneur en calcaire du sol et d'effectuer des tests réguliers pour ajuster les conditions du sol en conséquence. C'est -à- dire lorsque le taux de matière organique augmente, le taux de calcaire total et le pH diminuent et vice versa.

Compte tenu de l'importance de la matière organique dans le sol. Les pédologues examinent la matière organique sous différents angles. Plusieurs méthodes différentes sont utilisées pour suivre la matière organique dans le sol. Séparément, plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer la proportion de matière organique dans son ensemble dans le sol.

Dans notre étude, nous avons étudié trois méthodes de détermination de la MO à savoir : la méthode Anne (1945), la méthode Walkley-Black Modifiée et méthode de perte au feu, du fait de leur large diffusion et de leur faisabilité au laboratoire.

La méthode par perte au feu (PAF) s'appuie sur ce principe ; en déterminant la teneur en carbone des sols selon la perte de masse de l'échantillon, après en avoir éliminé toute sa matière organique à 450 °C. Le prétraitement nécessaire avant cette analyse est le séchage de l'échantillon, afin de ne pas considérer la perte en eau comme de la matière organique lors de la combustion. Le séchage se fait à 105°C.

Selon la méthode Anne (1945), le carbone organique présent dans le sol est oxydée à chaud en ajoutant un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique à des doses connues. L'excès de bichromate est ensuite titré à l'aide du sel de Mohr jusqu'à l'obtention d'une couleur bleu-vert. La matière organique est obtenue par multiplication du pourcentage de carbone par un coefficient de correction.

Selon la méthode Walkley-Black modifiée l'oxydation du carbone s'effectue au bichromate de potassium en milieu sulfurique à froid. Le dosage du carbone extrait est réalisé par colorimétrie (couleur verte des ions trivalents) à 590-600 nm (Alouti et al., 2008). La matière organique est obtenue par multiplication du pourcentage de carbone organique par un coefficient de correction.

Après avoir abordé précédemment la question de la matière organique et des méthodes de détermination, nous nous posons les questions suivantes :

La principale question qui se pose est la suivante : quelle est la différence entre les différentes méthodes d'analyse de la matière organique?

Afin de confirmer ou d'affirmer la validité de ces hypothèses, il est nécessaire de mener toutes les expériences requises et de suivre attentivement les résultats, ce qui permettra d'effectuer une comparaison et d'obtenir les meilleurs résultats possibles.

C'est pourquoi nous avons réalisé ce travail en suivant les procédures nécessaires pour chaque expérience. Tous les résultats et observations ont été consignés dans ce travail.

L'objectif de cette étude est de faire une comparaison entre trois méthodes connues d'analyse de la matière organique du sol et d'en savoir les limites de leur application sur les sols de la wilaya de Bordj Bou Arreridj avec leur particularité notamment l'aspect calcaire. D'une autre part nous allons dans ce travail essayer d'établir des relations empiriques entre les différentes méthodes pour faciliter la détermination du taux de la MO en utilisant des méthodes rapides et peu coûteuses.

Ce travail a été divisé en trois parties :

La première partie est une introduction générale au sujet traité,

La deuxième partie représente le matériel et les méthodes utilisées,

La troisième partie représente les résultats obtenus avec leurs explications et discussions et à la fin on ressort avec une conclusion générale.

Matériel et méthodes

Matériel et méthodes :**1. Situation géographique de la wilaya de Bordj Bou Arreridj**

La wilaya de bordj Bou Arreridj se situe sur les hauts plateaux de l'Est Algérien. Elle s'étend sur l'axe Alger- Constantine et est limitée (**Andi, 2014**) :

- Au Nord, par la wilaya de Bejaia ;
- A l'Est, par la wilaya de Sétif ;
- A l'Ouest, par la wilaya de Bouira ;
- Au Sud par la wilaya de Msila.

Elle s'étend sur une superficie de 10982 km² et est comprise entre 36° 04' de latitude Nord et 4° 46' de longitude Est.

1.1. Climat

La caractérisation du climat de la zone du d'étude a été réalisée sur la base des données climatiques de la période allant de 1990 à 2016 de la station météorologique de Bordj Bou Arreridj.

- Précipitations**a) Pluviométrie moyennes mensuelles et annuelles**

Les données du tableau ci-dessous relèvent que les précipitations moyennes annuelles enregistrées durant la période allant de 1990 à 2016 sont de 367,39 mm, cette lame d'eau précipitée est caractérisée par sa fluctuation mensuelle ainsi le maximum mensuel est de 45,1 mm enregistré au mois de Septembre, le minimum mensuel est de 9,66 mm enregistré au mois de Juillet.

Tableau 01 : Répartition mensuelle des pluies

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Année
P (mm)	36,49	29,24	33,09	40,87	40,24	20,64	9,66	16,20	45,1	29,73	32,87	33,27	367,39

Source : ONM (1990-2016)

Cette quantité ainsi répartie ne permet pas de couvrir les besoins des cultures et d'avoir des rendements suffisants même pour les grandes cultures. Les cultures maraichères, l'arboriculture et les cultures fourragères d'été font appel à l'irrigation.

b) Régime saisonnier

La répartition saisonnière des précipitations indique que l'été est sec. Les autres saisons sont relativement pluvieuses. Les valeurs affichées sont presque identiques avec respectivement 107,7 ; 99 et 114,2 mm pour l'automne, l'hiver et le printemps.

Notons, qu'en période estivale, les pluies se manifestent sous forme de pluies torrentielles, qui occasionnent dans la plupart des cas d'énormes dégâts sur les cultures en place. Enfin, Le régime saisonnier est de type PAHE (Printemps –Automne – Hiver- Eté).

Tableau 02 : Répartition saisonnière des pluies

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Moyenne annuelle
P (mm)	107,7	99	114,2	46,5	367,39
%	29,32	26,95	31,08	12,65	100

- Températures

La température joue un rôle important dans le développement et la croissance du végétal. A chaque stade végétatif d'une espèce donnée correspond une température bien déterminée pour accomplir au mieux sa croissance.

Les températures constituent un des facteurs majeurs caractéristiques conditionnant toute tentative agricole sur l'espace des climats semi-aride.

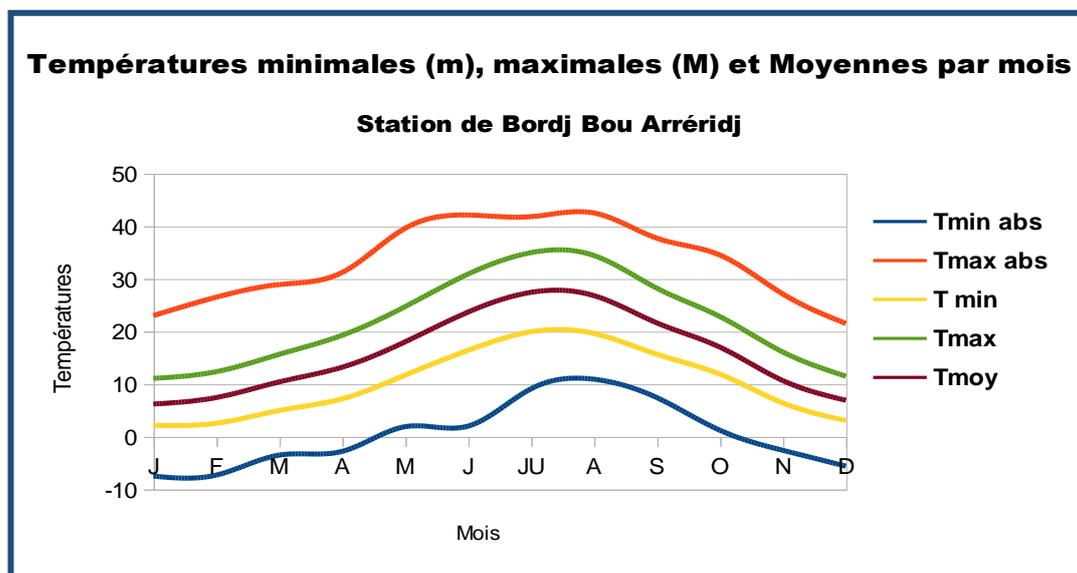


Figure 01 : Températures minimales (m), maximales (M) et moyennes par mois

Tableau 03 : Températures minimales (m), maximales (M) et moyennes par mois

Mois T (°C)	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
T min	-7,5	-	-3,5	-2,8	1,9	2	9,1	10,9	7,4	1,2	-2,6	-5,6
T	23	26,	28,9	31,2	39,6	42,1	41,8	42,5	37,7	34,5	27,1	21,5
T min	2,16	2,5	4,97	7,18	11,7	16,4	19,9	19,6	15,6	11,8	6,39	3,07
T Max	11,0	12,	15,6	19,2	24,7	30,9	34,9	34,4	28,1	22,8	16,07	11,4
T moy	6,19	7,4	10,4	13,1	18,0	23,6	27,4	26,7	21,5	16,9	10,64	6,9

Source : ONM (1990-2016)

a) Températures moyennes

Il ressort que les températures moyennes mensuelles, d'Octobre à Mai (08 mois), sont inférieures à 20 °C, et supérieures à cette valeur de Juin à Septembre (04 mois), ce qui divise l'année inégalement en deux périodes, l'une chaude de courte durée et l'autre froide. Janvier est le mois le plus froid (6,19 °C), alors que juillet est le mois le plus chaud (27,43 °C).

Au mois de Décembre, Janvier et de février, les mois les plus froids, les températures moyennes sont respectivement de 6,9 °C, 6,19 °C et 7,43 °C, par contre en été elles sont particulièrement élevée (27,43 °C et 26,79 °C en Juillet, Août).

b) Températures moyennes extrêmes

Pour mieux appréhender les variations thermiques dans la zone d'étude, il est utile de se pencher sur les valeurs extrêmes car ce sont leurs effets qui agissent directement sur la vie végétale.

Emberger a montré l'importance de la moyenne des minimas du mois le plus froid. Cette valeur représente les conditions thermiques limites survenant régulièrement durant le froid hivernal. La plus basse température des minimas est observée en Janvier (2,16 °C). Quant à la température moyenne des maximas, la plus élevée est de 27,43 °C observée au mois de Juillet.

Au cours de la saison froide, des minimas absolus sont observés. Ces températures extrêmes inférieures à 0 °C se manifestent de Novembre à Avril. Elles renseignent sur la vigueur du froid. La plus haute valeur du minima absolu est observée pendant le mois de Janvier (moins de 7,5 °C). Celles des mois de Mars et Avril sont accentuées mais peuvent occasionnées des dégâts sur les cultures puisqu'elles coïncident avec la période de floraison.

Durant la saison chaude, des maxima absolus sont également observés. Ces températures extrêmes sont enregistrées durant 03 mois de l'année (Juin ; Juillet et Août) dont les valeurs moyennes sont supérieures à 40 °C. La plus haute valeur du maxima absolu est observée pendant le mois d'Août (42,5 °C). Ces températures extrêmes ont des effets néfastes sur les cultures.

En plus des températures extrêmes, il ne faut pas oublier de considérer les amplitudes thermiques journalières dont beaucoup d'espèces végétales y sont sensibles.

c) Amplitude thermique annuelle moyenne

L'amplitude thermique annuelle est définie par la différence entre la température du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid. La station de bordj Bou Arreridj présente un écart élevé de 21,24 °C. L'amplitude est donc importante ce qui indique le caractère continental du climat.

- Autres facteurs climatiques

A. Humidité relative

L'appréciation de ce facteur est traduite par le rapport en pourcentage (%) de la tension de la vapeur à la tension maximale correspondant à la température. Elle exprime en réalité l'état hydrométrique de l'atmosphère qui varie beaucoup au cours de la journée. Elle est maximale au lever du soleil, par contre le taux le plus faible est observé en milieu de la journée.

Tableau 04 : Moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
H (%)	73,74	66,77	62,04	56,44	51,7	41,89	35,93	38,93	52,62	54,7	69,74	75,48

Source : ONM (1990-2016)

Dans la zone l'humidité relative est élevée pendant la période hivernale où l'atmosphère, est saturé de vapeur d'eau et la température est basse. Le maximum d'humidité est enregistré au mois de Décembre (75,48 %). Tandis que l'humidité est basse pendant la période estivale où l'atmosphère est pauvre en vapeur d'eau et la température est élevée. Le minimum d'humidité est enregistré durant le mois de Juillet (35,93 %), ce qui signifie que l'atmosphère présente un déficit hydrométrique conduisant à des besoins en eau plus importants pour les cultures.

B. Evapotranspiration (ETP)

En absence de mesure directe de l'ETP, seul le calcul permet une estimation très proche de la réalité. La formule de Penman – Montheith intègre le plus de facteurs climatiques influant directement l'ETP.

Tableau 05 : L'évapotranspiration (Cumul moyen de Penman)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
ETP Penman mm/mois	25	43	79	111	152	184	203	180	123	78	37	23	1238

Source : ONM (1990-2016)

Le cumul annuel de l'évapotranspiration enregistré est de 1238 mm/an, il fait apparaitre un grand déficit comparativement au cumul de pluie de la station de Bordj Bou Arreridj durant la même période qui ne dépasse pas les 367,39 mm/an, soit un déficit de 870,61 mm/an. Mensuellement, le déficit s'étale sur 10 mois, soit de Février à Novembre, où les ETP sont supérieures à celles des pluies, ce qui rend l'irrigation obligatoire.

C. Vent

Le vent c'est un facteur important à considérer dans l'agriculture, il joue un rôle essentiel dans le phénomène de pollinisation et de transpiration en agissant sur l'ouverture et la fermeture des stomates en provoquant le flétrissement de certaines espèces végétales sensibles.

Tableau 06 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/s)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	moy
Vent (m/s)	2,21	2,57	2,8	2,89	2,8	2,8	2,82	2,5	2,5	2,2	2,31	2,54	2,57

Source : ONM (1990-2016)

La vitesse moyenne du vent enregistrée au niveau de la zone d'étude est modérée, elle est de 2,57 m/s. Le maximum de la force du vent se produit au mois d'Avril avec 2,89 m/s et le minimum en Août avec 2,2 m/s. Ces vitesses sont généralement modérées.

aider à prévenir l'épuisement des nutriments du sol, à réduire les risques de maladies et de parasites, et à favoriser une meilleure structure du sol.

1.2. Les sols

Selon **Bender et al., (2008)**. au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj on peut distinguer les différents types de sol selon la zone :

- La zone montagneuse

Les sols relativement peu profonds argilo-limoneux et les sols de moyennes et hautes montagnes reposent sur roche mère constituée de calcaire, marno-calcaire et de grès.

- La zone des hautes plaines

Les sols rencontrés dans cette zone sont :

- Sols bruns calcaire avec ou sans encroutement sur les glacis ;
- Sols vertiques ;
- Sols lithiques et sols rigosoliques.

La zone Sud

La couverture pédologique de la zone est une association des sols lithiques marneux. Selon **Ragoub et Aissi (2020)**. Le sol d'Oued Lakhder est un sol calcaire de pH égal à 8, le taux de matière organique atteint 2,8 %.

1.3. La géologie

La géologie de la région de Bordj Bou Arreridj se compose de deux grands

Ensembles :

- Les Flysch Numidiens ;
- Le domaine tellien.

Les flysch numidiens se localisent au nord de la wilaya de Bordj Bou Arreridj (Ensemble montagneux) et se compose de formations allochtones qui affleurent au niveau de Djebel Morissan, il est constitué principalement d'alternance des grès et d'argiles.

Le domaine Tellien occupe le territoire de la commune de Bordj Bou Arreridj à l'endroit où se localiser le site de la station. Ce domaine est constitué de formations telliennes à prédominance marneuses et schisteuses. C'est une série très plissée à grand rayon de courbure (**Mamouni et Bendib, 2019**).

- Nous avons étudié les données climatiques et géologiques, dans le but de distribution de la région uniquement.

2. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe dans l'Oued Lakhder commune d'El Hammadia, dans la Wilaya de Bordj Bou Arreridj, plus précisément dans l'exploitation agricole Laabachi. Le site expérimental est situé entre 35° 58' 47" Nord de latitude et 4° 44'51" Est de longitude et à une altitude de 680 m par rapport au niveau de la mer (**figure 1**).

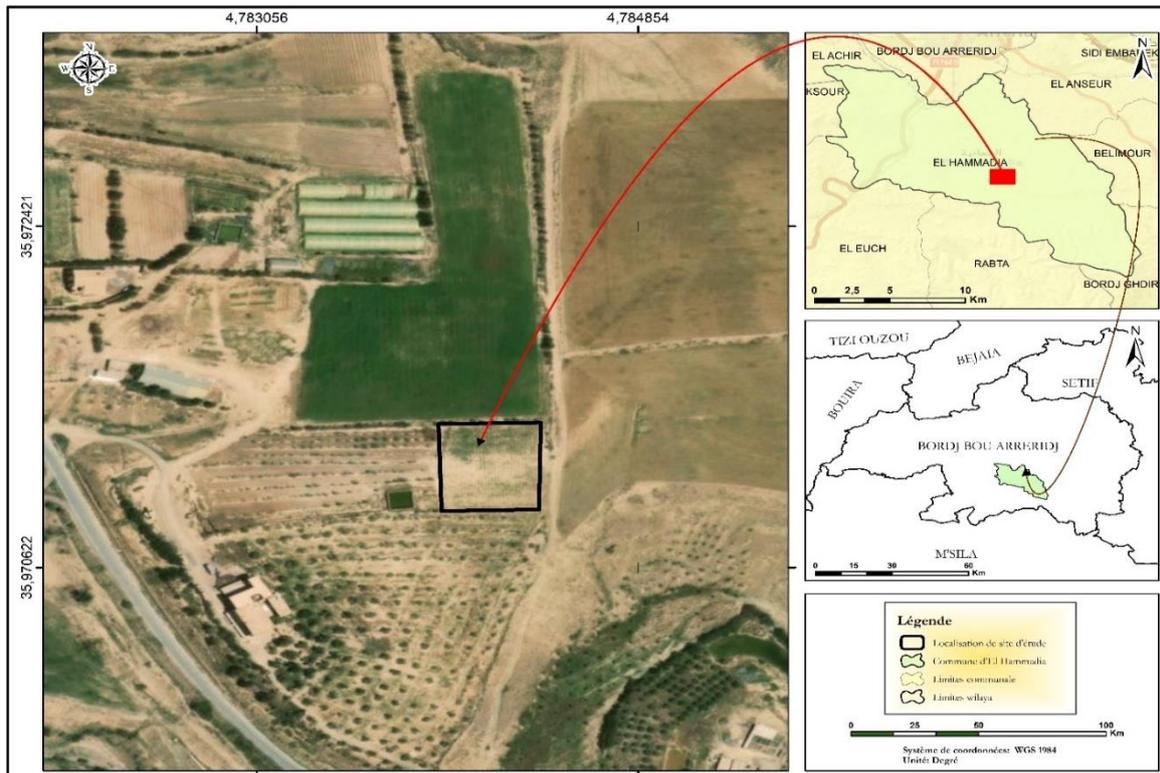


Figure 02 : Carte de la situation géographique du site d'étude

2.1. La végétation

Cette parcelle a connu une couverture végétale variée au fil des années.

En 2021, elle a été cultivée en tomates, ce qui indique une utilisation agricole pour la production de cette culture maraîchère.

En 2022, la parcelle a été cultivée en Colza, une plante oléagineuse largement utilisée dans l'industrie alimentaire et énergétique. Le Colza est une culture à cycle court et peut être utilisé pour produire de l'huile végétale, des biocarburants et d'autres produits dérivés.

Pour l'année 2023, la parcelle est en jachère, c'est une pratique agricole courante qui vise à permettre à la terre de se régénérer et de se repose après des cycles de culture intensifs. Cela peut

3. Matériel d'étude

3.1. Travaux sur le terrain

Avant le choix de la parcelle, une prospection sur le terrain de la ferme pilote Laabachi a été effectuée avec le propriétaire de la ferme où il nous a expliqué la particularité de chaque parcelle et les antécédents cultureux (culture précédentes, fertilisation, traitement, apports de matière organique... etc). Le choix de la parcelle objet de notre étude dépendait de sa teneur en matière organique ; cette dernière a reçu plusieurs apports de matière organique de différentes natures durant les dernières années. Rappelons que l'année dernière la matière organique a été apportée par enfouissement des résidus de la culture précédente à savoir le Colza.

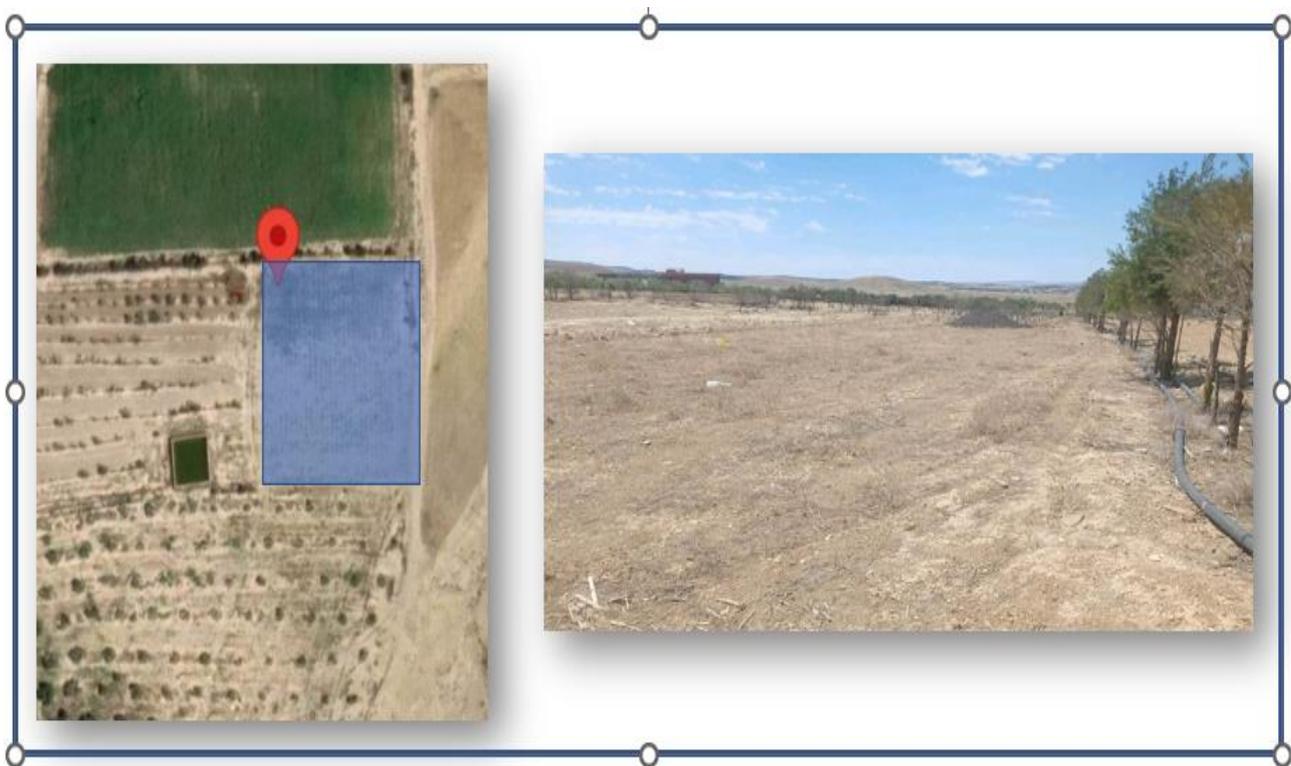


Figure 03 : Présentation de la parcelle (Photo prise par Tahraoui H. et Achacha A. 21/12/2022)

3.2. Mode d'échantillonnage

En 21 Décembre 2022 on a fait l'échantillonnage du sol, à l'aide d'une pelle pour chaque échantillon élémentaire, nous avons prélevé 25 échantillons d'environ 500 g de sol à partir des 20 premiers centimètres de la surface du sol. Les échantillons de sol ont été conditionnés dans des sacs en plastiques, numérotés et transportés au laboratoire le jour même de l'échantillonnage. Ils ont subi un séchage à l'air libre le jour qui suit l'échantillonnage pour éviter un processus de fermentation de la matière organique dans les sacs d'échantillonnage en absence d'oxygène. L'échantillonnage a été effectué d'une façon systématique (**Figure 4**).

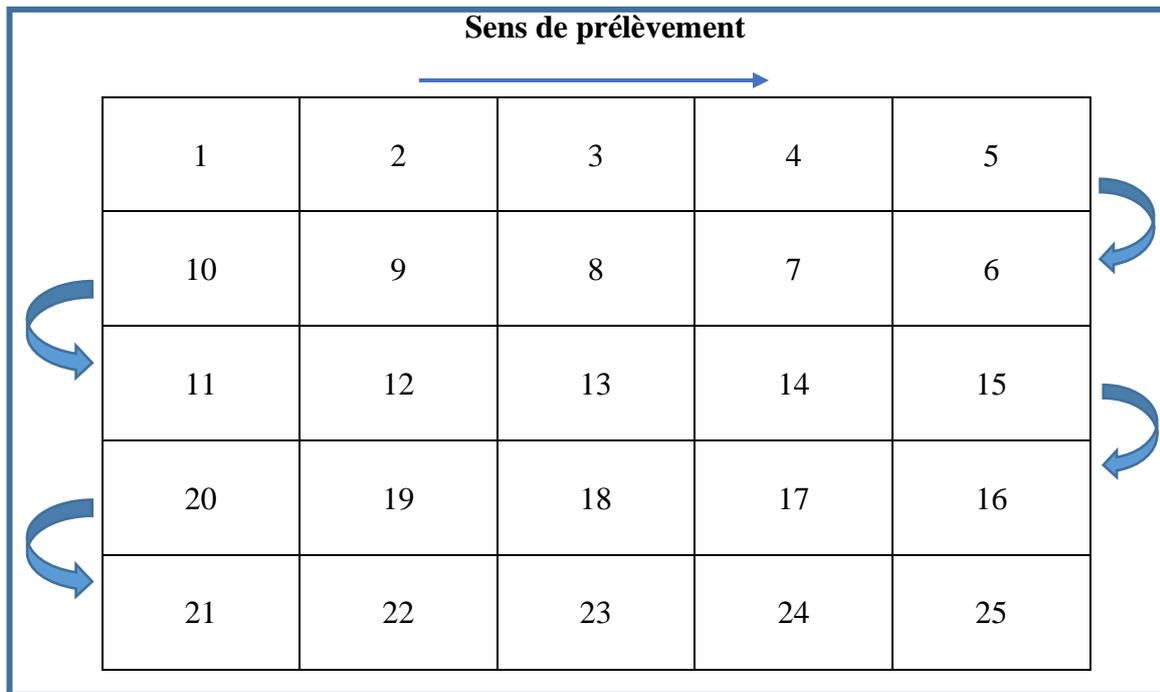


Figure 04 : Aperçu du plan d'échantillonnage.

3.3. Préparation des échantillons de sol

Après avoir amené les échantillons au laboratoire, et avant de procéder aux analyses nécessaires, nous avons d'abord procédé à des étapes de préparation des échantillons.

- Le séchage

Les échantillons de sol ont été séchés naturellement à l'air libre et à l'ombre après un émiettement manuel pour accélérer le processus. Le séchage a duré environ 15 jours ; les échantillons sont argileux et étaient relativement humide.



Figure 05 : Le séchage des échantillons à l'air libre

-Le broyage

Les échantillons ont été broyés manuellement avec un bâtonnet en bois pour éviter le broyage des carapaces qui peuvent causer une surestimation des pourcentages de calcaire total. Chaque échantillon a été broyé séparément. (**Annexe 01**)

-Le tamisage

- Tamiser le sol avec un tamis de 2 mm de diamètre à fin d'éliminer les éléments grossiers.
- Les échantillons ont été pesés avant et après tamisage pour déterminer le pourcentage des éléments grossiers (**Annexe 01**)
- Les échantillons ont été tamisés par la suite à 0,2 mm pour la détermination de la MO selon la méthode Walkley-Black modifiée.

3.4. Analyses au laboratoire

Pour réaliser l'objectif du présent travail trois analyses (Matière organique, pH et calcaire total) ont été effectuées au laboratoire de la faculté SNV-STU de l'université Bordj Bou Arreridj.

3.4.1. La réaction du sol (pH)

Le pH a été mesuré par la méthode électro métrique par un pH-mètre de laboratoire sur un rapport terre/ eau de 1/ 2,5 (**Christensen et al., 1991**) (**Annexe 01**).

Mode opératoire pH réel

- Peser 20 g de terre, les placer dans un bécher de 100 ml.
- Ajouter 50 ml d'eau distillée, bouillie et refroidie.
- Agiter pendant quelques minutes.
- Laisser reposer pendant 15 mn, puis mesurer le pH de la suspension avec un pH mètre de laboratoire.

3.4.2. Calcaire total

Le calcaire total a été dosé par la méthode volumétrique au calcimètre de Bernard. Le principe de cette méthode est basé sur la réaction du calcaire avec un acide fort, le résultat du volume de CO₂ dégagé par la réaction est mesuré et converti en pourcentage de calcaire (**Arour, 2001**).

Mode opératoire

- On pèse une quantité de CaCO₃, pur et sec (0,3 g) ;

- On l'introduit dans un erlen de 100 ml;
- On l'humecte avec quelques gouttes d'eau distillée ;
- On introduit avec précaution à l'intérieur de l'erlen, un tube contenant l'HCl, on ferme hermétiquement l'erlen en laissant la pince ouverte, on ajuste la position de l'ampoule jusqu'à ce que le niveau du liquide soit à zéro.
- On maintient l'ampoule à ce niveau, on ferme la pince, puis on verse l'acide sur l'échantillon ;
- On agite pour favoriser la réaction ;
- Le CO₂, dégagé se comprime dans la colonne et déplace la solution contenue dans la colonne.
- On abaisse l'ampoule mobile pour suivre la dénivellation;
- Une fois l'attaque terminée, on ajuste les niveaux et on note le volume de CO₂, dégagé (V).

(Annexe 01)

3.4.3. Les méthodes de mesure de la matière organique

Les pédologues étudient la matière organique sous différents angles, où plusieurs méthodes différentes sont utilisées pour calculer la matière organique. Cependant, il existe trois méthodes fréquemment utilisées pour mesurer le taux de matière organique totale dans le sol.

3.4.3.1. La méthode par perte au feu (PAF) :

La matière organique représente un indicateur solide de la teneur en carbone des sols. La méthode par perte au feu (PAF) s'appuie sur ce principe, en déterminant la teneur en carbone des sols selon la perte de masse de l'échantillon.

- **La première manière : PAF sans décarbonatation**

Mode opératoire

- Dans des creusets (dont le poids est connu à l'avance), mettre une prise de terre 10 g broyée à 2 mm de chaque échantillon.
- Nous mettons les échantillons dans une "étuve" pendant 24 heures, à une température de 105 °C pour éliminer l'humidité résiduelle.
- Préchauffer le four à moufle à 450 °C.
- Placer les échantillons à 450 °C pendant 4 heures.
- Après calcination, placer les échantillons dans un dessiccateur pendant 30 minutes pour assurer le refroidissement.

- Après refroidissement dans un dessiccateur, peser à nouveau le creuset et les cendres et noter la nouvelle masse.

- **La Deuxième manière : PAF avec décarbonatation**

Cette méthode est réalisée de la même manière que la première avec une étape supplémentaire de décarbonatation sur tous les échantillons de sol **Annexe 01**).

La décarbonatation

- Mettre 10 g de terre broyée à 2 mm de chaque échantillon dans des creusets.
- Ajouter l'HCl dilué à 1/3 aux échantillons goutte à goutte jusqu'à ce que l'effervescence s'arrête (**Annexe 01**).
- Sécher les échantillons pendant 20 jours à l'air libre (**Annexe 01**).

3.4.3.2.Méthode Anne (1945)

La détermination de la matière organique se fait en passant par l'analyse du carbone organique constituant essentielle de cette dernière, il constitue environ 58 % de la MO. Le dosage du carbone organique se repose sur l'oxydation à chaud en ajoutant un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique à des doses connues.

Mode opératoire

- Peser une quantité de 0,5 g de terre fine séchée à l'air libre ;
- Mettre la prise d'essais dans un ballon de 250 ml ;
- Ajouter 10 ml de solution de bichromate de potassium et 15 ml d'acide sulfurique concentré ;
- Couvrir le ballon d'un verre de montre ;
- Porter le ballon sur un chauffe ballon ;
- Après la chute de la première goutte d'eau, compter 5 minutes et retirer le ballon ;
- Laisser refroidir ;
- Transvaser le contenu du ballon dans une fiole jaugée de 100 ml et ajuster à 100 avec de l'eau distillée ;
- Pipeter 20 ml de la solution et transvaser dans un bécher en verre de 400 ml ;
- Ajouter 200 ml de l'eau distillée et 1,5g de fluorure de sodium en poudre (NaF) ;
- Ajouter 3 à 4 gouttes de solution de diphénylamine ;

- En agitant, titrer l'excès de bichromate de potassium avec la solution de le sel de Mohr jusqu'à obtention d'une couleur bleu vert ;
- Refaire la même opération avec un témoin (sans terre fine) (**Annexe 01**).

3.4.3.3. La méthode Walkley-Black Modifiée

C'est une méthode de dosage chimique basée sur la détermination du carbone organique dans le sol. Le principe de la méthode consiste à l'oxydation à froid du carbone organique avec du bichromate de potassium ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$) dans un milieu acide en présence de l'acide sulfurique. L'intensité des colorations verdâtre est déterminée au colorimètre photo électrique à la longueur d'onde de 595 nm (**Walkley et Black, 1934**).

Mode opératoire

- Dans des béchers de 100 ml forme haute, mettre une prise de terre 0,2 g broyée à 0,2 mm ;
- Ajouter 5 ml de la solution de bichromate de potassium ;
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique pur en versant doucement sur les parois et agiter avec un agitateur pendant 3 mn ;
- Laisser en contact pendant 30 mn ;
- Ajouter ensuite 25 ml d'eau distillée et agiter ;
- Laisser décanter toute une nuit ;
- Passer au spectromètre en même temps que la gamme étalon (**Annexe 01**).

Préparation de la gamme étalon

On prépare une solution mère de glucose à 1,25 g /l. Les points de gamme sont préparés selon le tableau 6.

N° du bécher	1	2	3	4	5
Solution mère de glucose (ml)	1	2	5	10	15

On met les points de gamme à l'étuve à température 80 °C pendant 24 h. Après les 24 heures (**Figure 15**), on retire les échantillons et on applique les mêmes étapes appliquées aux échantillons de sol, les longueurs d'onde sont déterminées sur un spectromètre (**annexe 01**).

4. Traitement des données

Les statistiques descriptives des paramètres étudiés sont basées sur la description quantitative (le minimum, le maximum, la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation). Les statistiques descriptives ont été réalisées par **Excel 2016**.

Le test de normalité a été effectué par le logiciel de statistique SPSS V : 23

Les cartes sont réalisées avec le logiciel : **Arcgis 10.8**.

Pour faire la carte de distribution spatiale de la matière organique, nous avons fait l'interpolation avec le logiciel arcgis 10.8, Par l'utilisation de IDW (Inverse Distance Weighting).

Résultats et Discussion

Résultats et discussion :

Le présent travail consiste d'une part à faire une comparaison entre trois méthodes de mesure de la matière organique des sols de nature calcaire, d'autre part d'établir une relation empirique entre les différentes méthodes. Notre travail est effectué au niveau de l'une des parcelles de la ferme pilote Laabachi (Oued Lakhdar) dans la commune d'El Hamadia, wilaya de Bordj Bou Arreridj.

1. Résultats

Les résultats des analyses de sol effectués au laboratoire sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 07 : Les résultats d'analyse de la matière organique selon les méthodes étudiées et les paramètres physico-chimiques (calcaire total et pH)

Matière organique (%)						
Échantillons	Méthode Anne (1945)	Méthode Walkley-Black Modifiée	Méthode perte au feu		Calcaire total (%)	pH
			avec décarbonatation	sans décarbonatation		
1	3,91	4,65	3,91	3,82	27,16	7,17
2	5,13	5,29	5,11	5,01	28,74	7,75
3	4,23	4,14	4,13	4,01	29,68	7,71
4	2,64	2,75	2,60	2,56	48,95	7,38
5	2,54	2,98	2,51	2,53	38,84	7,59
6	3,86	3,98	3,73	3,59	48,63	7,80
7	3,81	3,77	3,60	3,14	43,26	7,81
8	4,18	5,24	4,00	3,95	43,26	7,69
9	3,79	4,54	4,00	3,53	29,68	7,77
10	5,08	5,51	5,25	5,00	47,34	7,52
11	3,35	4,82	3,46	3,16	36,00	7,30
12	3,17	2,46	3,39	3,01	60,32	7,37
13	2,64	2,16	2,43	2,50	57,79	7,33
14	3,97	4,66	4,19	3,83	48,32	7,20
15	3,60	3,27	3,47	3,33	34,74	7,23
16	4,55	4,54	4,30	4,28	28,42	7,23
17	2,86	2,72	2,81	2,66	29,05	7,46
18	3,70	4,11	3,74	3,70	42,00	7,27
19	3,49	3,96	3,39	3,34	35,37	7,47
20	3,44	3,99	3,31	2,26	47,05	7,39
21	2,43	2,99	2,68	2,65	41,68	7,44
22	3,33	3,36	3,20	3,18	35,53	7,39
23	2,68	2,90	2,64	2,60	30,32	7,90
24	3,76	3,35	3,70	3,67	30,63	7,81
25	4,07	4,67	4,02	3,93	33,16	7,85

2. Les statistiques descriptives des paramètres étudiés

Les résultats des statistiques descriptives sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 08 : Statistiques descriptives des paramètres étudiés

Paramètres	Min	Max	Moyenne	Ecart type	CV (%)
Eléments grossiers (%)	5,76	23,3	12,38	4,93	39,79
Terre fine (%)	76,7	94,25	87,28	4,86	5,57
Calcaire total (%)	27,16	60,32	39,04	9,43	24,16
pH	7,17	7,9	7,51	0,23	3,11
MO selon la méthode Anne (1945) (%)	2,43	5,13	3,61	0,73	20,29
MO selon la Méthode Walkley-Black Modifiée (%)	2,16	5,51	3,87	0,94	24,34
MO selon la méthode PAF avec décarbonatation (%)	2,43	5,25	3,58	0,74	20,60
MO selon la méthode PAF sans décarbonatation (%)	2,26	5,01	3,41	0,74	21,65

2.1. pH

Les résultats analytiques montrent que le pH du sol de la parcelle varie de 7,17 à 7,90 (**Tableau 1**), avec une moyenne de 7,52 est un coefficient de variation de 3,11 %. Selon les normes d'interprétation de **Baize, (2000)**. (**annexe 02**) il peut être observé que les échantillons 1, 4, 5, 10, 11, 12, 13, jusqu'à 22 sont neutres, les échantillons 2, 3, 6, 7, 8, 9, 23, 24, 25 sont moyennement alcalins. Selon le coefficient de variation, les valeurs du pH varient très peu.

2.2. Le calcaire

Le taux de calcaire oscille entre 27,15 % et 60,31 % avec une moyenne de 39,03% est un coefficient de variation de 24,16 %. Suivant les normes d'interprétation de (**Baize, 1988**). (**Annexe 02**) on voit que les échantillons 1, 2, 3, 9, 16, 17, sont calcaire et les échantillons 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20 et 25 sont très calcaire. Les échantillons de sol de la parcelle étudié sont dans leur majorité fortement calcaire.

Les résultats obtenus concordent avec ceux obtenus par **Ragoub et Aissi ; (2020)**. sur le même site expérimental, ces derniers montrent que les sols de la ferme pilote Laabachi sont calcaire.

2.3. La matière organique

Les résultats de la MO obtenus selon les quatre méthodes montrent que :

Concernant la MO mesuré par la méthode Anne les valeurs varient entre 2,43 % et 5,07 % avec une moyenne de 3,60 % et un coefficient de variation 20,29 %. Selon les normes d'interprétation de **Charmen et Roper, (2000)**. (**Annexe 02**), on remarque que les échantillons 1, 2, 3, 6, 7, 8,9, 10, 11, 12, 14, 15 16, 18, 19, 20, 22, 24, 25 présentent un taux élevé de MO, les échantillons 4, 5, 13, 17, 21, 23 présentent un taux de MO modéré.

Le taux de la MO mesuré par la méthode Walkley -black modifiée, oscille entre 2,16 % et 5,51 % avec une moyenne de 3,89 % et un coefficient de variation de 24,34 %. Suivant les normes d'interprétation de **Charmen et Roper, (2000)**. on voit que les échantillons 2, 8,10 ont un taux très élevé de MO, les échantillons 1, 3, 6, 7, 9, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 24, 25 présentent un taux de MO élevé, le reste des échantillons sont modérément riche en MO.

Les résultats d'analyses de la MO selon la méthode de perte au feu en présence ou l'absence du calcaire montrent que le taux de la MO mesuré par la méthode (PAF) sans décarbonation varie entre 2,26 % et 5,01 % avec une moyenne de 3,41 % et un coefficient de variation de 21,65 %, selon les normes d'interprétation de (**Charmen et Roper, 2000**), il peut être noté que les

échantillons 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 24, 25 ont un taux de MO élevé tandis que les échantillons 4, 5, 12, 13, 16, 20 et 23 présentent un taux de MO modéré.

Concernant le taux de la MO mesuré par la méthode (PAF) après décarbonatation les valeurs vont de 2,43 % à 5,12 % avec une moyenne de 3,58 % et un coefficient de variation de 20,60 %. D'après les normes d'interprétation de **Charmen et Raper, (2000)**. on remarque que l'échantillon 10 est très élevé, les échantillons 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 24, 25, sont élevés, en outre les échantillons 4, 5, 13, 17, 20, 21, 22, 23 sont modérés.

Selon **Hénin et al., (1969)**. le taux normal de la MO est inférieur à 4 % donc cette valeur est représentative. En revanche (**Ouahrani., 1980**). propose qu'un bon sol agricole présente 3% de MO. A noter que les résultats du taux de la MO mesuré par la méthode Walkley-black modifiée sont les plus élevée avec un moyen de 3,87 % en comparaison les autres méthodes, suivi par la méthode Anne ensuite la méthode (PAF) sans décarbonatation et enfin la méthode (PAF) avec décarbonatation.

2.3.1. Présentation des taux de la matière organique du sol selon les différentes méthodes utilisées

Les taux de matière organique du sol analysés selon les différentes méthodes sont présentés dans la figure 06.

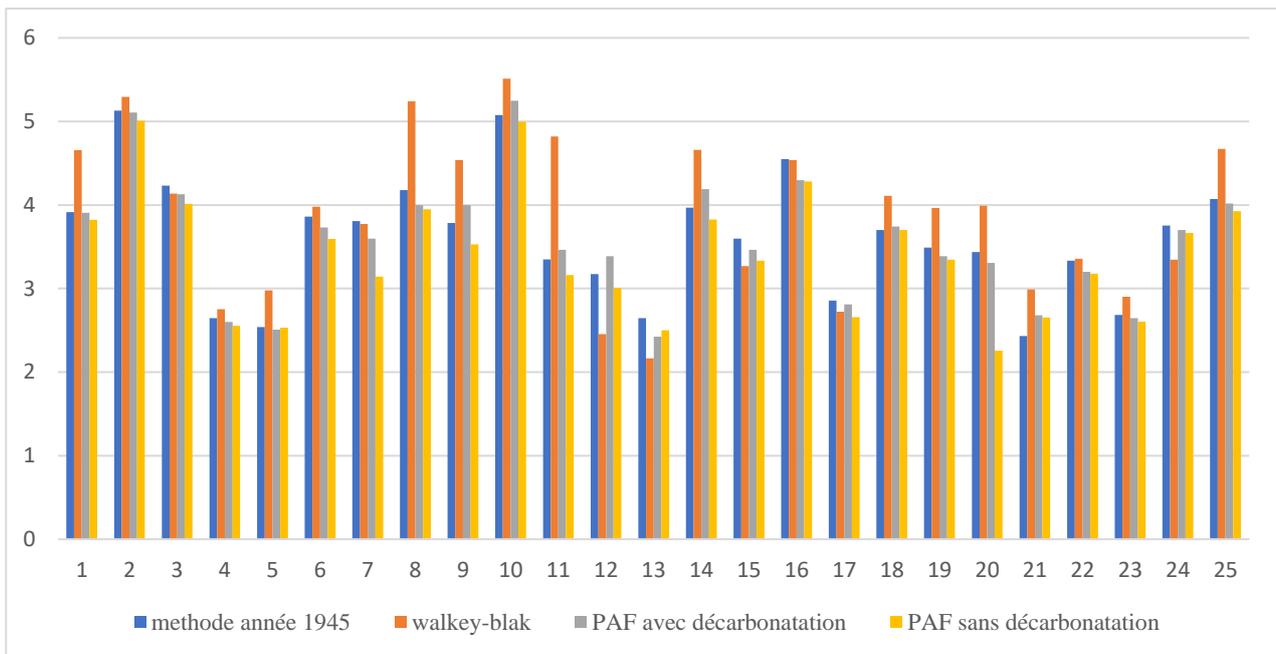


Figure 06 : Représentation du taux de la matière organique du sol selon les différentes méthodes analysées

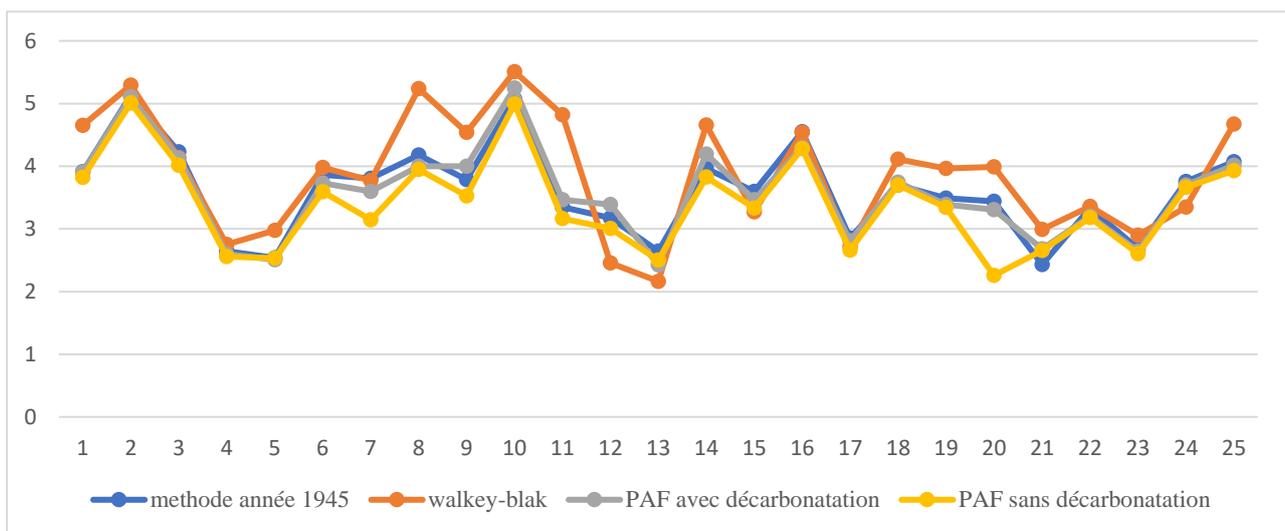


Figure 07 : Le taux de matière organique du sol obtenu selon les différentes méthodes analysées (numérotation)

La comparaison des résultats de la MO obtenus par les différentes méthodes analysées à savoir la méthode Anne (1945), la méthode Walkley-black modifiée et la perte au feu montre que :

Les taux de MO obtenus pour les 25 échantillons de sol sont variables.

On remarque que le taux de la MO mesuré selon la méthode Walkley-black modifiée est le plus élevé avec une moyenne de 3,89 % suivie par la méthode Anne (1945) avec une moyenne de 3,61.

En ce qui concerne la méthode PAF avec ou sans décarbonations, les résultats sont relativement similaires. Ces deux méthodes donnent les valeurs de MO les plus faibles avec des moyennes de 3,58 % et 3,41 % pour PAF avec décarbonation et PAF sans décarbonation respectivement.

3. Etude de la relation entre pH, calcaire total et la matière organique analysée selon les différentes méthodes

3.1. Test de normalité

Selon les résultats des tests de normalité présentés dans le tableau basé sur les méthodes de Kolmogorov-Smirnov et Shapiro-Wilk (**annexe 04**), les échantillons étudiés suivent une loi normale.

3.2. Matrice de corrélation de pearson

Dans cette étude, nous nous concentrons sur l'exploration de la corrélation entre le pH, le calcaire total et les méthodes d'analyse de la MO.

Tableau 09 : Matrice de corrélation de pearson

	Méthode Anne (1945)	Méthode Walkley-Black Modifiée	PAF avec décarbonation	PAF sans décarbonation	Calcaire total (%)	pH
Méthode Anne (1945)	1					
Méthode Walkley-Black Modifiée	0,84	1				
PAF avec décarbonation	0,97	0,86	1			
PAF sans décarbonation	0,94	0,80	0,94	1		
Calcaire total (%)	-0,25	-0,30	-0,22	-0,30	1	
pH	0,15	0,099	0,12	0,13	-0,23	1

4. Corrélation entre pH, calcaire total et les méthodes d'analyse de MO

4.1. Effet de la matière organique sur le pH du sol

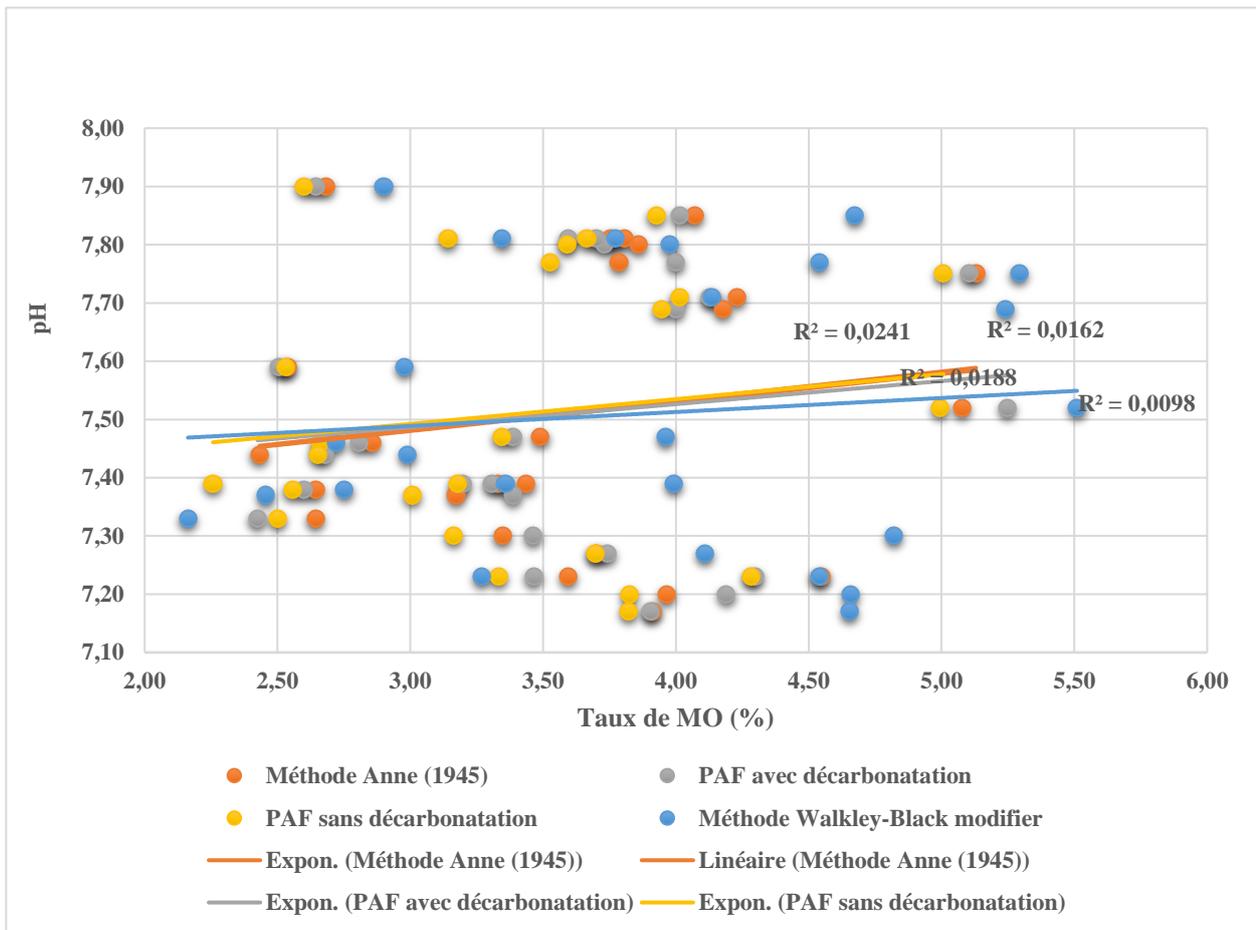


Figure 08 : Relation entre pH et le taux de MO(%) selon les différentes méthodes étudiées

D'après les résultats obtenus dans cette matrice (**Tableau 09 et la Figure 08**), nous constatons qu'il n'existe pas de corrélation entre le pH et le taux de la MO toutes méthodes confondues.

Dans ce cas, le pH du sol ne connaît aucun changement en présence de la MO alors l'évolution du pH est indépendante de la MO, ce qui concorde pas avec les résultats obtenus par **Bourge, (1988)**. Il peut être observé que les valeurs du pH sont neutres à légèrement alcalin ce qui ne concorde pas avec un sol calcaire où le pH doit tourner au tour de 8,37. Cette acidification du pH peut être affectée aux acides humiques et aux acides fulviques libérés par la matière organique. Cette variation peut ne pas être observée à cause de l'intervalle de variation de la matière organique qui est très serrée.

4.2. Effet du calcaire total sur le taux de matière organique

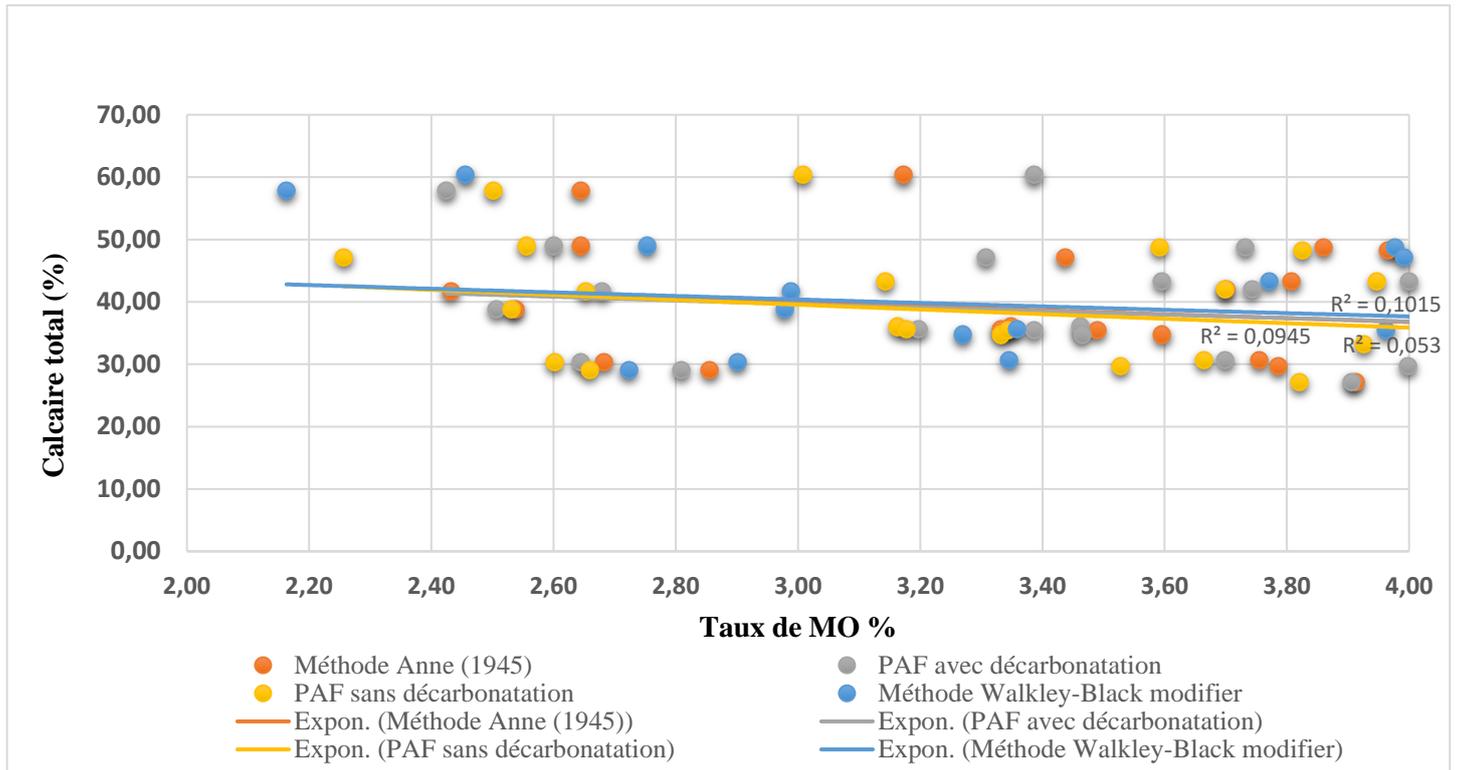


Figure 09 : Relation entre le calcaire total (%) et le taux de MO (%) selon les méthodes étudiées

D’après les valeurs du coefficient de corrélation (**Tableau 09 et la Figure 09**) on voit que le calcaire et le taux de la MO ne sont pas corrélés cela signifie que la variation du calcaire est indépendante de la variation du taux de la MO. Le calcaire constitue une carapace autour de la MO du sol empêchant cette dernière à se décomposer. Dans un autre sens l’acidité de la matière organique peut augmenter considérablement la solubilité du calcaire.

4.3. Effet du calcaire sur le pH du sol

Le pH et le calcaire sont deux variables étroitement liées qui jouent un rôle essentiel dans la caractérisation des sols et des environnements pédologiques.

Le pH mesure l’acidité ou l’alcalinité d’une substance, tandis que le pourcentage de calcaire indique la présence de carbonate de calcium (CaCO_3) dans un matériau.

Dans notre étude, nous examinerons les relations entre le pH et le pourcentage de calcaire, en adoptant une perspective globale.

Comprendre ces relations est essentiel pour évaluer les propriétés des sols, les processus géochimiques et les conséquences sur les écosystèmes.

La figure suivante représente l’effet du calcaire sur le pH du sol.

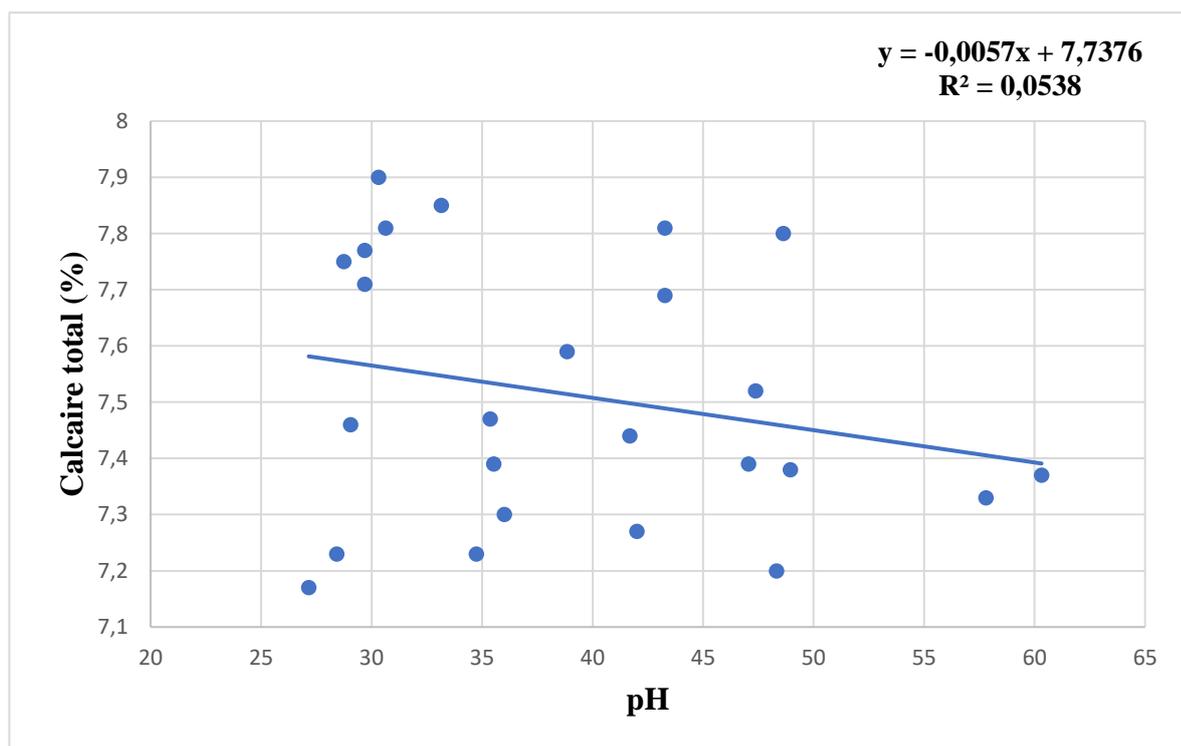


Figure 10 : Effet du calcaire total sur le pH du sol

Le calcaire est présent à des proportions variables avec des valeurs qui peuvent être parfois élevés. La valeur du coefficient de corrélation est égale à 0,23.

Selon les résultats de la matrice de corrélation et la figure 10, il n'existe aucune relation entre les deux paramètres (pH et le calcaire).

Le calcaire, souvent présent sous forme de roches calcaires, peut avoir un impact significatif sur le pH des sols et des eaux environnantes. Les roches calcaires sont principalement composées de CaCO_3 , qui réagit avec les acides présents dans le sol, neutralisant ainsi leur acidité et augmentant le pH jusqu'à une valeur ne dépassant pas 8,37.

Les résultats obtenus sont très proches, bien que les méthodes utilisées pour déterminer les taux de la matière organique soient complètement différentes dans leur analyse au laboratoire. De plus, lors de l'application de la méthode de perte au feu (avec ou sans décarbonatation), nous constatons que les résultats sont très proches ou similaires. Par conséquent, nous en déduisons que toutes les méthodes peuvent être appliquée, que ce soit sur un sol calcaire ou non calcaire.

La comparaison des résultats obtenus après l'application de différentes méthodes d'analyse à savoir la méthode de perte au feu avec et sans décarbonatation, la méthode Anne (1945) et la Méthode Walkley-Black Modifiée, a conduit aux observations suivantes :

Lors de la comparaison entre la méthode Anne (1945) avec la méthode de perte au feu avec décarbonatation, il a été constaté que les résultats étaient généralement similaires, avec un écart très faible ne dépassant pas 17,46 % pour tous les échantillons. Cela indique que les deux méthodes fournissent des résultats comparables et peuvent être utilisées de manière interchangeable pour analyser les échantillons.

Lors de la comparaison des résultats de la méthode Anne (1945) avec la méthode de perte au feu sans décarbonatation, il a été observé que les résultats obtenus étaient très similaires dans la majorité des échantillons. Cela suggère que la décarbonatation, qui est une étape supplémentaire effectuée dans la méthode de perte au feu avec décarbonatation, n'a pas d'impact significatif sur les résultats par rapport à la méthode Anne (1945). Par conséquent, la décarbonatation peut ne pas être nécessaire pour obtenir des résultats comparables à ceux obtenus avec la méthode Anne (1945).

Les résultats obtenus à partir de la Méthode Walkley -Black Modifiée ont été comparés aux résultats obtenus à partir de la méthode de perte au feu sans décarbonatation. En général, les résultats étaient très similaires, avec un écart maximum d'environ 23,66 %. Cela signifie que les deux méthodes ont produit des résultats comparables, et la différence entre eux était minime.

Ensuite, les résultats de la Méthode Walkley-Black Modifiée ont été comparés à ceux de la méthode de perte au feu avec décarbonatation. Les résultats étaient également assez similaires, mais avec de légères différences. L'écart entre les deux méthodes était d'environ 43,46 %. Cela indique qu'il y avait des variations légères mais mesurables dans les résultats obtenus par les deux méthodes. En résumé, les résultats des deux comparaisons indiquent que la Méthode Walkley-Black modifiée produit des résultats similaires à ceux des méthodes de perte au feu, qu'elles soient avec ou sans décarbonatation. Cependant, il y a des différences légères mais non significatives entre les différentes méthodes utilisées.

À partir de là, nous pouvons dire que, selon l'étude que nous avons réalisée, toutes les méthodes sont utilisables en présence ou absence de calcaire, et que la plus grande différence réside dans le temps de réalisation et le coût de réalisation de ces méthodes au laboratoire (toutes les méthodes ont été expliquées dans le chapitre précédent).

De plus, chaque méthode présente des avantages et des inconvénients (**annexe 03**), ce qui permet au chercheur de déterminer la méthode en fonction du matériel disponible.

5. Relation empirique entre les méthodes utilisées

À travers les résultats de la comparaison, il nous est apparu que nous pouvons appliquer le coefficient de corrélation en statistiques pour déterminer la relation entre les méthodes étudiées. Le coefficient de corrélation indique également la force ou la faiblesse de cette relation et dans quelle direction elle se situe. Dans cette partie nous avons essayé de faire ressortir un modèle empirique permettant de calculer le taux de matière organique à partir des résultats obtenus par la méthode la plus rapide et la moins coûteuse à savoir la méthode de perte au feu. Le modèle empirique obtenu permettra d'établir une correction des données obtenus par cette méthode sans pour autant passer par la méthode Anne ou la méthode Walkley-Black modifiée qui sont certes de référence mais très longues et coûteuses. Les résultats de l'utilisation du coefficient de corrélation en statistiques entre les méthodes sont illustrés dans les courbes suivantes:

5.1. Relation entre le taux de MO selon la méthode Anne (1945) en fonction de taux de la matière organique selon la méthode PAF avec décarbonatation

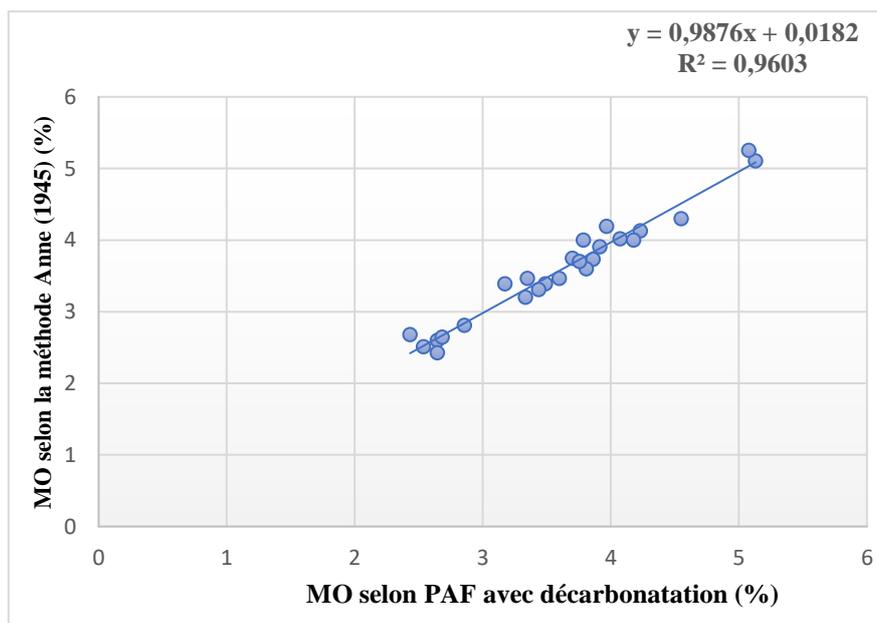


Figure 11 : Corrélation entre la MO selon la méthode Anne (1945) et la MO selon la méthode PAF avec décarbonatation

Les résultats obtenus (**Figure 11**) montrent que le coefficient de corrélation est proche de +1, où $r = 0,96$. Selon les critères d'interprétation (**annexe 2**), on peut dire qu'il s'agit d'une relation linéaire parfaite.

5.2. Relation entre le taux de MO selon la méthode Anne (1945) en fonction de taux de la matière organique selon la méthode PAF sans décarbonatation

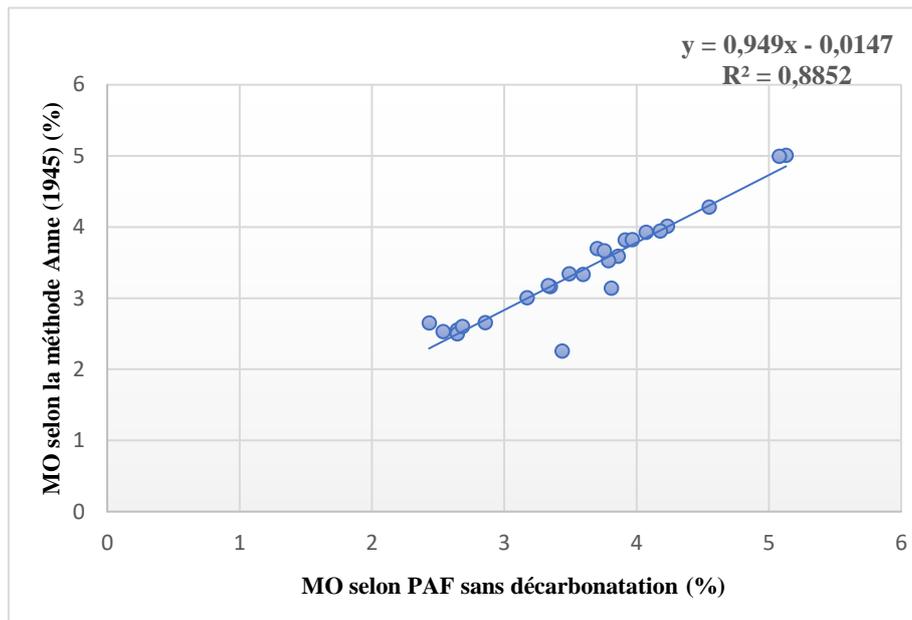


Figure 12 : Corrélation entre la méthode Anne (1945) et la MO selon la méthode PAF sans décarbonatation

Les résultats du (**Figure 12**) montrent que le coefficient de corrélation est proche de +1, où $r = 0,94$. Selon les critères d'interprétation (**Annexe 02**), on peut dire qu'il s'agit d'une relation linéaire parfaite.

5.3. Relation entre le taux de MO selon la méthode Walkey-Black modifiée en fonction de taux de la matière organique selon la méthode PAF avec décarbonatation

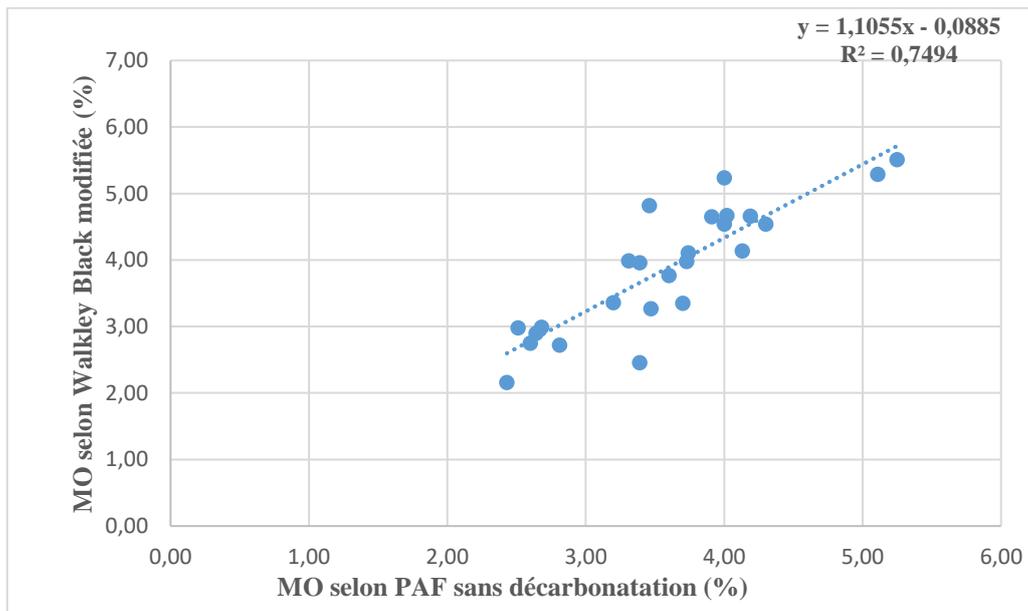


Figure 13 : Corrélation entre la MO selon la méthode Walkey-Black modifiée et la MO selon la méthode PAF sans décarbonatation

Les résultats obtenus (**Figure 13**) montrent que le coefficient de corrélation est proche de +1, où $r = 0,86$. Selon les critères d'interprétation (**annexe 02**), on peut dire qu'il s'agit d'une relation linéaire très forte.

5.4. Relation entre le taux de MO selon la méthode Walkey-Black modifiée en fonction de taux de la matière organique selon la méthode PAF sans décarbonatation

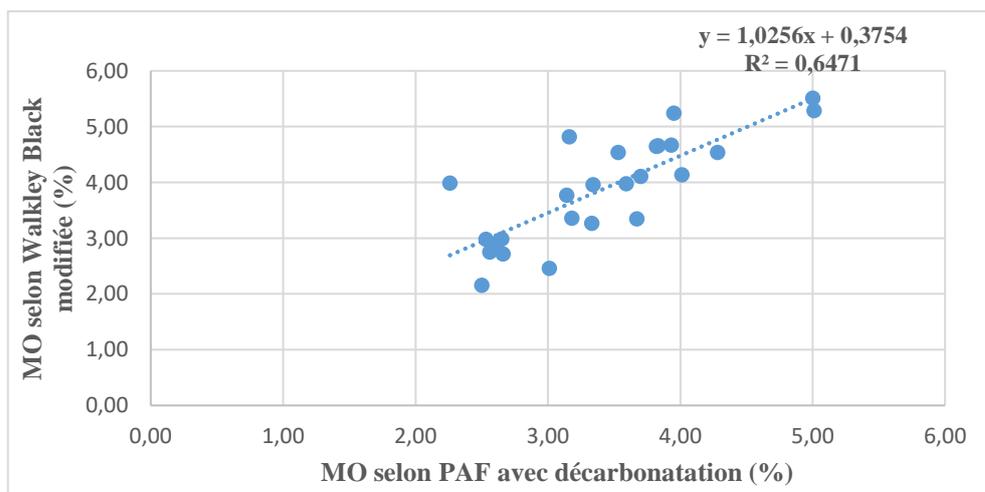


Figure 14 : Corrélation entre la MO selon la méthode Walkey-Black modifiée en fonction de la MO selon PAF sans décarbonatation

Les résultats obtenus (**Figure 14**) montrent que le coefficient de corrélation est proche de +1, où $r = 0,80$. Selon les critères d'interprétation (**annexe 02**), on peut dire qu'il s'agit d'une relation linéaire forte.

A partir de ces résultats il peut être conclu que le meilleur modèle empirique est donné par la corrélation entre la méthode Anne (1945) et la méthode de perte au feu sans décarbonatation. Le modèle obtenu est le suivant :

$$Y = 0.9876 x + 0.0182$$

avec:

Y = la valeur de la méthode Anne (1945)

X = la variable de perte au feu sans décarbonatation

Conclusion :

En conclusion, cette étude comparative des trois méthodes de mesure de la matière organique dans le sol (méthode Anne, méthode Walkley-Black et méthode de perte au feu) a permis d'évaluer leur efficacité et leur applicabilité.

Les résultats ont démontré une similarité significative entre ces méthodes, indiquant qu'elles peuvent toutes être utilisées de manière fiable pour estimer la matière organique dans le sol. De plus, l'analyse des effets du pH et du calcaire a révélé que ces facteurs n'avaient pas d'influence majeure sur les résultats obtenus par les différentes méthodes. Ainsi, la qualité du sol, qu'il soit calcaire ou non, n'a pas d'incidence sur le calcul du taux de matière organique.

Ces résultats sont importants pour les chercheurs et les professionnels travaillant dans le domaine de l'agriculture, de l'environnement et de la gestion des sols, car ils offrent des options variées pour évaluer la matière organique dans les différentes conditions du sol. Il convient de souligner que malgré la similarité des résultats, chaque méthode a ses spécificités et ses avantages potentiels dans des contextes spécifiques. Par conséquent, le choix de la méthode appropriée dépendra des objectifs de l'étude, des ressources disponibles et des caractéristiques spécifiques du sol étudié.

Cette étude a permis d'obtenir un modèle empirique permettant de calculer le taux de matière organique selon une méthode de référence qui est la méthode Anne sans pour autant passer par cette méthode, en utilisant les données de méthode de perte au feu avec décarbonatation qui est une méthode rapide et peu coûteuse.

En résumé, cette étude a contribué à l'amélioration des connaissances sur les méthodes de mesure de la matière organique dans le sol, offrant des informations utiles pour la recherche, la gestion des terres agricoles et la prise de décisions éclairées en matière de conservation des sols.

Annexe

Annexe 01. Quelques photos illustratives des travaux au laboratoire



Figure 15. Broyage du sol



Figure 16. Tamisage et pesage du sol



Figure 17. pH-mètre

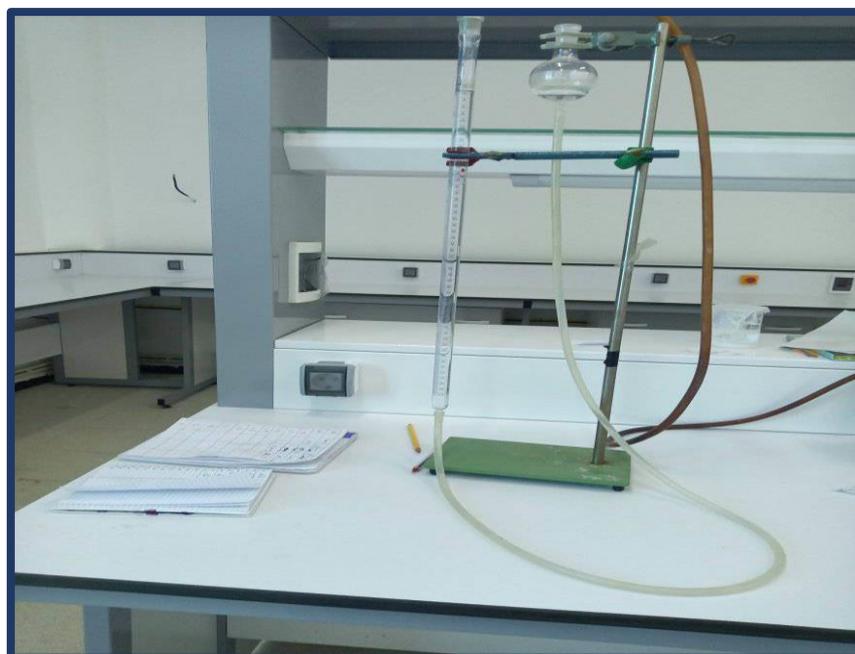


Figure 18. Calcimètre de Bernard



Figure 19. Décarbonation des échantillons de sol



Figure 20. Séchage des échantillons à l'air libre



Figure 21. Four à moufle



Figure 22. Titration des échantillons avec le sel de mohr.

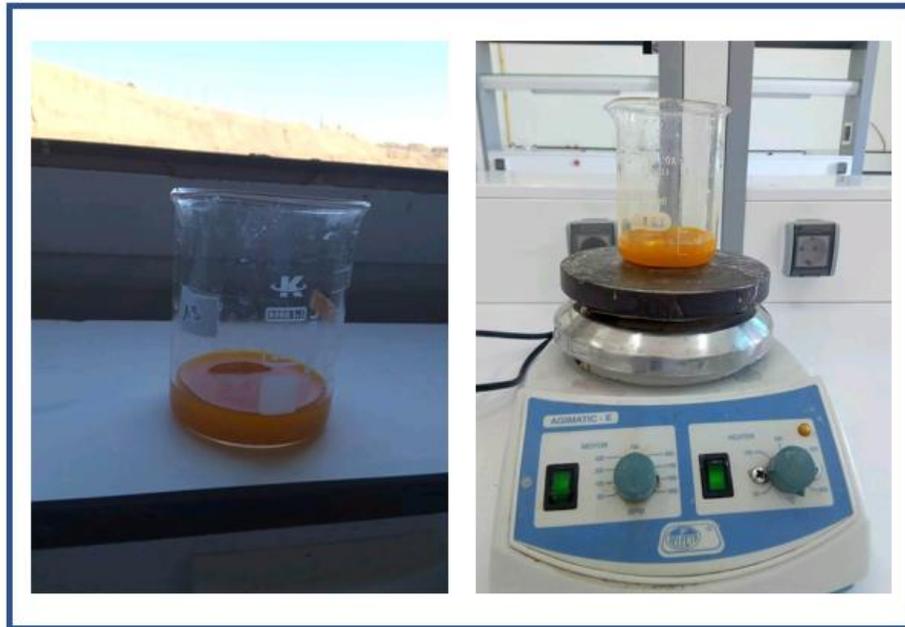


Figure 23. Walkley et Black modifiée



Figure 24. Étuve



Figure 25. Spectromètre

Annexe 02. Les tableaux des normes d'interprétation

Tableau 10. Les normes d'interprétation du pH

Norme	interprétation
pH<4,5	extrêmement acide
4,5<pH<5,5	sol très acide
5,5<pH<6,5	sole moyennement acide
6,5<pH<7,5	sol neutres
7,5<pH<8,5	sol moyennement alcalins
8,5<pH<9	sol très alcalins
pH<9,5	extrêmement

Tableau 11. Les normes d'interprétation de la matière organique du sol

Taux de matière organique %	Evaluation
1,7 - 3	modéré
3 - 5,15	élevé
>5,15	très élevé

Source : (Charman and Roper . ;2000)

Tableau 12. Les normes d'interprétation du calcaire total

Calcaire total dans le sol (%)	Interprétation
0 à 5	sol peu calcaire
5 à 15	sol moyennement calcaire
15 à 30	sol calcaire
< 30	sol très calcaire

Tableau 13. Les normes d'interprétation de la corrélation entre les méthodes utilisées

Valeur de r	Force du lien linéaire
près de 0	nulle
près de $\pm 0,5$	faible
près de $\pm 0,5$	moyenne
près de $\pm 0,75$	forte
près de $\pm 0,87$	très forte
± 1	parfaite

Annexe 03

Tableau 15. Les avantages et les inconvénients des méthodes de mesure de la matière organique du sol

Méthode	Avantages	Inconvénients
Perte au feu	<p>Au paravent largement utilisée</p> <ul style="list-style-type: none"> • Méthode facile à appliquer • Peu coûteuse (Lefevre et al., 2017). 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu fiable dû aux réactions non liées à la MO (ex. interférence des carbonates ou eau interne) • Surestime la teneur en MO (susceptible de comptabiliser les oxydes et les carbonates dus aux températures élevées) • COS dérivé de la MOS avec un facteur de conversion (0.58) qui s'avère être incorrect pour les couches organiques (Le fevre et al., 2017)
Anne 1945	<p>l'oxydation s'effectue à chaud, à l'ébullition pour que cette oxydation soit complète, le temps l'ébullition doit être de 5 mn</p> <p>l'attaque de la matière organique est plus complète, et le résidu de bichromate plus limpide (Darin, 1967).</p>	<ul style="list-style-type: none"> -A chauds - Couteuse - Utilisation des produits.
Walkley et Black modifiée	<p>Auparavant largement utilisée</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peu coûteuse • Evaluation approximative rapide • Vise en particulier certains réservoirs de MO • Petite interférence par les Carbonates (Le fevre et al., 2017). 	<ul style="list-style-type: none"> • Destructive • Oxydation incomplète: besoin d'un facteur de correction • Tend à sous-estimer le COS • Interférence des chlorures et oxydes de Mn^{2+} et Fe^{2+} • Utilise des composés chimiques Dangereux (Le fevre et al., 2017).

Annexe 04 : Test de normalité

Tableau 16. Test de normalité

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
methode année 1945	,097	25	,200*	,958	25	,384
walkey-blak	,120	25	,200*	,964	25	,511
PAF avec décarbonatation	,092	25	,200*	,952	25	,277
PAF sans décarbonatation	,125	25	,200*	,949	25	,234

Références bibliographies

- A.N.D.I.,2014. Agence Nationale de Développement de l'Investissement.
- Alouti,T.Ben Hasine.H.; Gallali,T.: Bouzid,T.; El amir, S. & Ben Hassen,R. 2008. Evaluation quantitative et rôles de la matière organique dans les sols cultivés en zones subhumides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie, Agrosolutions, 19 :4-17.
- Anne P.,1945. Sur le dosage rapide du carbone organique dans les sols.Ann.Agron , Avril, Mai ,1945,5^{ème} année, n^o2,pp.161-172.
- Arou E.,2001. Variation diachronique saisonnière de la dynamique de végétation dans une zone pré saharienne (Cas de la région de Messâad W.Djelfa). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agropastoralisme. Centre Universitaire ZIANE ACHOUR Djelfa.75 p.
- Baize D.,1988-Guide des analyses courantes en pédologie.Ed.INRRA paris, 172p
- Beauchamp TL, childress JF.39^{éd}. Les belles lettres : Paris (2008). p.644.Traduit de l'American
- Bender P.L., Wiese D. et Nerem R.S.,2008. Possible Dual-GRACE Mission with 90 Degree and 63 Degree Inclination Orbits. Proceedings of the 3rd International Symposium on Formation Flying, Missions and Technologies, ESA/ESTEC, Noordwijk, 23-25 April 2008, pp. 1-6.
- Calvet. R., Chenu. C., Houot. S., 2011.les matières organiques des sols. Rôles organiques et environnementaux. Editions France Agricole.
- Charman, P.E.V. and Roper, M.M. (2000) Soil Organic Matter In: Soils: Their Properties and Management (Eds. P.E.V. Charman and B.W. Murphy) pp. 260-270. Second Edition. Oxford University Press.
- Chenu.C.,Balabane .M .,2011). Une approche de matière organique par leurs fonctions. Perspectives agricole 272,42-45 .
- Christensen H.B., Salomon A. et Kokholm G. (1991). International pH Scales and Certification of pH, Anal. Chem. vol. 63, No. 18, pp. 885-891.
- Duchaufour.(1977). Pédologie.Pédogénèse et classification,Massou/Ed, Paris, New-York, Barcelone, Milan, Mexico, saoPaoulo.
- FAO, 2002. La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des Terres p56
- Hénin S.,Gras G.et Monnier G.(1969). Le profile cultural. l'etat physique du sol et ses conséquences agronomique.2^é Ed, Masson, Paris ,332p.

- Mamouni N. et Bendib N. (2019). Analyse et prédiction de la qualité du tir par la méthode Kuz-Ram: Application à la carrière de Kef Azerou Seghir (W-BBA). Mémoire de Master en Mines. Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 85 p.
- Messiaen N, (1977). London, Oxford university press.
- O. N. M (1990,2016). Office National de la Météorologie. Station de Bordj Bou Arreridj
- Ouahrani G. (1980). Contribution à la recherche des paramètres biologiques examinant la fertilité du sol. Thèse D.E.S en Ecologie, p.1_10.
- Paul, E.A. and Clark, F.E. (1996) Soil Microbiology and Biochemistry. 2nd Edition, Academic Press, London.
- Ragoub A. et Aussi A. (2020). Effet des biostimulants foliaires et les correcteurs de carence sur le comportement de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Master, Univ BBA Algérie, 75p.
- Walkley A. and Black I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37, pp. 29-38.
- Weil, R. and Brady, N. (2016) Soil Phosphorus and Potassium. In: Weil, R.R. and Brady, N.C., Eds., The Nature and Properties of Soils, 15th Edition, Pearson Education, Upper Saddle River, 643-693.

Résumé :

Cette étude comparative vise à évaluer et comparer trois méthodes courantes de mesure de la matière organique dans le sol : la méthode Anne (1945), la méthode Walkley-Black et la méthode de perte au feu. Des analyses initiales du pH et du calcaire total ont révélé que le sol étudié était à la fois calcaire et légèrement alcalin. Les résultats comparés, démontrant une similarité significative entre ces méthodes en termes de quantification de la matière organique. De plus, cette étude a également révélé que la nature du sol n'a pas d'incidence sur la mesure du taux de matière organique, que le sol soit calcaire ou non. Cette étude a permis d'établir un modèle empirique permettant de calculer le taux de Matière organique à partir de la méthode de perte au feu avec décarbonatation.

Mots clés: Matière organique, méthodes d'analyses, comparaison.

ملخص :

تهدف هذه الدراسة المقارنة إلى تقييم ومقارنة ثلاث طرق شائعة لقياس المادة العضوية في التربة: طريقة آن (1945) وطريقة ووكللي بلاك وطريقة الفقد عند الاشتعال. كشفت التحليلات الأولية للأس الهيدروجيني والحجر الجيري الكلي أن التربة المدروسة كانت كلسية وقلوية قليلاً. مقارنة النتائج أظهرت وجود تشابه كبير بين هذه الأساليب من حيث القياس الكمي للمواد العضوية. كما أوضحت هذه الدراسة أن طبيعة التربة لا تؤثر على قياس نسبة المادة العضوية سواء كانت التربة كلسية أم لا. جعلت هذه الدراسة من الممكن إنشاء نموذج تجريبي يجعل من الممكن حساب معدل النادى العضوية من طريقة الخسارة عند الاشتعال مع إزالة الكربون.

الكلمات المفتاحية: مادة عضوية ، طرق تحليل ، مقارنة.

Summary:

The aim of this comparative study was to evaluate and compare three common methods for measuring organic matter in soil: the Anne method (1945), the Walkley-Black method and the loss on ignition method. Initial analyses of pH and total limestone revealed that the soil studied was both calcareous and slightly alkaline. The results were compared, demonstrating a significant similarity between these methods in terms of quantifying organic matter. In addition, this study also revealed that the nature of the soil has no impact on the measurement of organic matter, whether the soil is calcareous or not. This study enabled an empirical model to be established for calculating OM content using the loss on ignition method with decarbonation.

Keywords : Organic matter, analysis methods, comparison.