



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département Nutrition et Technologie Agro Alimentaire

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Professional

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : agriculture de précision

Présenté par :

- ZIANI SARA NERMINE -ZAANOUN NARIMAN

Thème

Téledétection appliquée à l'estimation et suivi du stress hydriques des cultures céréalières de la région de –TIARET–

Soutenu publiquement le 18/06/2023.

Jury :

-Président : Dr. SOUDANI L

-Encadrant : Dr. BOUACHA M I

-Examinatrice : Ms BOUBEKEUR A

Grade :

M.C.A

M.C.A

M.A.A

Université de TIARET

Université de TIARET

Université de TIARET

Année universitaire 2022-2023

Remerciements :

Nous tenons tout d'abord à remercier "**ALLAH**" pour nous avoir accordé la foi et le courage, et pour nous avoir guidés dans la réalisation de ce travail.

En premier lieu, nous exprimons notre gratitude pour leur soutien moral, spirituel, financier, de nos parents, frères et sœurs, amis et compagnons qui nous ont aidés et conseillés.

Ainsi , nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à directeur de recherche, **Dr. Bouacha Mohamed Islam**, docteur à la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret. Votre soutien continu, vos encouragements et vos précieux conseils ont été une source d'inspiration et de motivation tout au long de ce étude . Votre expérience et votre disponibilité ont enrichi notre travail et nous ont permis de progresser dans notre réflexion.

Nous sommes extrêmement reconnaissants pour la confiance que vous nous avez accordée en nous fournissant des informations. Vos commentaires constructifs et vos suggestions ont grandement amélioré la qualité de notre travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude aux membres du jury, **Dr. Soudani Laila** et **M. Boubecker Aziz**, docteurs à la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret, pour le temps précieux qu'ils nous ont consacré en tant que membres du jury.

Un grand merci au **Dr. Rezzoug Wafa** pour son soutien et son assistance tout au long de ces années d'études. Nous tenons également à remercier Mme **Djemil Saida**, responsable du laboratoire d'agriculture de précision, pour son aide dans notre travail.

Nous exprimons notre gratitude à tous les enseignants de la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret qui nous ont accompagnés tout au long de ces années d'études

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parent **MOHAMMED** et **NACIRA** pour tout leurs sacrifices,
leurs amours, leurs tendresses et leurs prières tout au long de mes études

A ma adorable sœur, **MAROUA** ma deuxième mère

Ma chère sœur **Daloula**

Et mes chers frères **Alem, Amar**

Et surtout mon deuxième père, mon grand frère **BACHIR**

A mes chers et petits membres de la famille

Mohammed, Wassim, et rayhana

Pour leur encouragement permanent.

A ma chère **Djemil Saida** pour leur encouragement

A mes très chère amies **Nariman, Ilyes, Maram, Meriem, Iman, Souad**
pour

Leur soutien et leur participation à ma tristesse et ma joie et

A tout mes chères amies

A tout personne ayant contribué de près ou de loin la réalisation de ce travail

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parent **MOHAMMED** et **FATIMA** pour tout leurs sacrifices,
leurs amours, leurs tendresses et leurs prières tout au long de mes études

A mes adorables sœur, **Chahed, Afnan** et **Maram**

A mon cher frère **AYHEM**

Pour leur encouragement permanent.

et leur soutiens moraux

A mes familles **Zaanoun** et **Mebarek**

A ma chère **Djemil Saida** pour leur encouragement

A mes très chère amies **Sara, Ilyes, Daloula, Sabrina, Iman, Souad** pour

Leur soutien et leur participation à ma tristesse et ma joie

A tout mes chères amies

A tout personne ayant contribué de près ou de loin la réalisation de ce
travail

Liste des abréviations :

- NDVI : **I**ndice de **v**égétation par **d**ifférence **n**ormalisée.
- VCI : **I**ndice de l'état de la **v**égétation.
- VHI : **I**ndice de la santé de la **v**égétation.
- FAO : L'organisation pour l'alimentation et l'agriculture.
- SIG : **S**ystème d'**I**nformation **G**éographique.
- GIEC : **G**roupe d'**e**xperts **I**ntergouvernemental sur l'**E**volution du **C**limat .
- ITGC : **I**nstitut **T**echnique des **G**rande **C**ulture.
- CCT : **C**entre **C**anadien de **T**éledétection.
- GPS : le **s**ystème de **p**ositionnement **g**lobal.
- NPK : les éléments majeures du sol (l'azote, phosphore, potassium).
- NIR: proche infrarouge.
- GEE: **G**oogle **E**arth **E**ngine.
- OPTRAM : **O**ptical **T**rapézoïde **M**odel.

Liste des figures:

Figure 01 : occupation des terre agricole (FAO 2003).....	8
Figure 02 : repartitionne générale des terres en Algérie	11
Figure 03 : les capture embarques	17
Figure 04 : exemple d'application mobile	18
Figure05 : drone agricole	19
Figure 06 : appareille d'acquisition green seeker	19
Figure 07: Contexte de l'agriculture de précision.	32
Figure 08: Application de la télédétection pour le pilotage des cultures.....	36
Figure 09 : Carte de situation de la wilaya de Tiaret (zone d'étude).....	39
Figure 10 : carte d'occupation de sol de tiaret.....	41
Figure 11: Carte de climat de la wilaya de Tiaret	42
Figure 12 : précipitation moyennes mensuelles de la période (1987-2022).....	42
Figure 13 : Températures moyennes mensuelles de la période (1987-2022)	43
Figure 14 : Diagramme ombrothermique pour la période de (1987-2022).....	44
Figure 15 : climagramme d'omberger pour la période de 2018-2023.....	45
Figure16: points de prélèvement du sol et des plantes de blé tendre	48
Figure 17 : points de prélèvement du sol et des plantes de blé dur	48
Figure 18 : Le protocole expérimental	49
Figure 19 : les plante de blé dur	50
Figure 20 : green seeker	50
Figure 21: Séchage des échantillons de sol	51
Figure 22: broyage et tamisage des échantillons	51
Figure 23: Echantillons de sol pesés et séchés à l'étuve	52
Figure 24: Analyse granulométrique par la méthode de la pipette de Robinson	53
Figure 25: Mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre	54

Figure 26 : Mesure de la conductivité électrique du sol par le conductimètre	55
Figure 27: Mesure du calcaire total par le calcimètre de Bernard	56
Figure 28 : Dosage du calcaire actif	57
Figure 29: Dosage du carbone organique	57
Figure 30 : préparation de la pâte saturée	58
Figure31: Dosage des carbonates et bicarbonates	59
Figure 32 : Dosage des chlorures	60
Figure 33 : les captures NPK	61
Figure 34 : Modèle d'humidité OPTRAM	66
Figure 34 : carte d'interpolation d'humidité de blé dur.....	70
Figure 35 :carte d'interpolation d'humidité de blé tendre	71
Figure 36 :carte d'interpolation de ph de blé dur	73
Figure 37 : carte d'interpolation de ph de blé tendre	73
Figure 38 : représentation graphique des valeurs de ph kcl	75
Figure 39 : représentation graphique de conductivité électrique	76
Figure 40 : carte d'interpolation de N de blé dur	78
Figure 41: carte d'interpolation de N de blé tendre	79
Figure 42 : carte d'interpolation de K de blé dur	80
Figure 43 : carte d'interpolation de K de blé tendre	81
Figure 44 : carte d'interpolation de P de blé dur	82
Figure 45 : carte d'interpolation de P de blé tendre	83
Figure 46 : représentation graphique de matière organique	85
Figure 47 : représentation graphique de calcaire totale	86
Figure 48 : représentation graphique de calcaire active	87

Figure 49:modale d' humidité OPTRAM88
Figure 50 : carte de modale d'humidité OPTRAM de zone étude89
Figure 51: carte de l'état de la végétation de la zone d'étude90
Figure 52 : carte de santé de la végétation de la zone d'étude91
Figure 53 : carte d'indice de la végétation de la zone d'étude92

Liste des tableaux :

Tableaux 01 : composition chimique moyenne de différentes espèces céréalières	10
Tableaux 02 : récapitulatif des superficies des productions des rendements des cultures (2018-2019)	11
Tableaux 03 : besoin des cultures en élément fertilisation (kg d'élément /quintal de grain / ha)	23
Tableaux04 : les bandes spectrales de sentinel-2	62
Tableaux 5 : classificatione d'indice de VHI	64
Tableaux 6 : résultante des analyses granulométrique des sols études	69
Tableaux 7 : résultante des analyses d'humidité des sols études	70
Tableaux 8 : résultante des analyses de ph des sols études	72
Tableaux 9 : résultante des analyses de ph kcl des sols études	75
Tableaux 10 : résultante des analyses de conductivité électrique des sols études	76
Tableaux11 : résultante des analyses de NPK des sols études	77
Tableaux 12 : résultante des analyses de matière organique des sols études	84
Tableaux 13 : résultante des analyses de calcaire totale des sols étude	85
Tableaux 14 : résultante des analyses de calcaire active des sols étude	87

Résumé :

L'agriculture de précision est une approche technique avancée visant à améliorer la gestion agricole grâce à l'utilisation de nouvelles techniques telles que la télédétection. Cette étude de cas se concentre sur l'utilisation de la télédétection pour surveiller et suivre le stress hydrique en utilisant des images satellites pour une année agricole allant d'octobre 2022 à mai 2023. Les données fournies ont une résolution spatiale et temporelle élevée, ce qui permet de surveiller les cultures sur de vastes zones pour estimer l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et plusieurs autres indicateurs. En utilisant la plateforme Google Earth Engine (GEE) et en obtenant des données de terrain, ces ensembles de données peuvent être intégrés aux données de télédétection pour évaluer avec précision les niveaux de stress hydrique et les résultats de laboratoire, ainsi que pour cartographier les zones souffrant de pénurie d'eau ou de stress hydrique.

Étant donné le faible niveau de précipitations et la sécheresse sévère que connaît le pays cette année, le stress hydrique est un facteur majeur contribuant à la détérioration des cultures et des perspectives de production pour cette année.

Mots clé : agriculture de précision, stress hydrique, indice de végétation , satellites, télédétection,

المخلص

تعتبر الزراعة الدقيقة نهج تقني متقدم يهدف إلى تحسين الإدارة الزراعية باستخدام تقنيات جديدة مثل الاستشعار عن بعد. حيث تركز دراسة الحالة هذه على استخدام الاستشعار عن بعد لرصد و تتبع الإجهاد المائي باستخدام صور الأقمار الصناعية، لمدة سنة فلاحية أي من أكتوبر 2022 إلى ماي 2023 حيث توفر بيانات ذات دقة مكانية و عدة مؤشرات أخرى و زمنية عالية مما يسمح بمراقبة المحاصيل على مساحات كبيرة لتقدير مؤشر الغطاء النباتي استعمال محر كمع الحصول على بيانات ميدانية ، يمكن دمج هذه البيانات مع بيانات الاستشعار عن بعد من أجل تقييم حالة لإجهاد المائي بدقة ونتائج المخبر و رسم الخرائط تتيح الصور التي تم الحصول عليها بالاستشعار عن بعد تحديد المناطق التي تعاني من نقص المياه اي تعاني من الإجهاد المائي .

من خلال ما شهدته البلاد هذه السنة لقلة التساقط و تعرضها لحالة جفاف مزرية أدت إلى حالة من الإجهاد المائي، و يعتبر هذا الأخير سببا في تدهور المحاصيل و مسار الإنتاج لهذه السنة

الكلمات المفتاحية : الزراعة الدقيقة , الإجهاد المائي, مؤشر الغطاء النباتي, الأقمار الصناعية, الاستشعار عن بعد

Abstract:

Precision agriculture is an advanced technical approach aimed at improving agricultural management through the use of new techniques such as remote sensing. This case study focuses on the use of remote sensing to monitor and track water stress using satellite imagery for an agricultural year from October 2022 to May 2023. The data provided has high spatial and temporal resolution, allowing for the monitoring of crops over large areas to estimate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and several other indicators. By using the Google Earth Engine (GEE) platform and obtaining field data, these datasets can be integrated with remote sensing data to accurately assess water stress levels and laboratory results, and to map areas suffering from water scarcity or water stress.

Given the country's limited rainfall and its exposure to severe drought this year, water stress has been a major factor leading to the deterioration of crops and the production outlook for this year.

Key words: precision agriculture , water stress, Vegetation Index, satellite, remote sensing,

- Liste des figures
- Liste des tableaux
- Résumé

Table des Matières

-Introduction générale.....	1
------------------------------------	----------

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : l'agriculture en Algérie

I.1.agriculture en générale	8
I.2. les céréalicultures en Algérie.....	9
I.2.1.importance des céréalicultures	9
I.2.2 les cultures en Algérie el les wilayas le plus produire	10
I.2.2.1 les cultures céréalières.....	10
I.2.2.2 les cultures maraichères	11
I.2.2.3 les cultures fruitières	11
I.2.2.4 les cultures industrielle	11
I.2.2.5 légumes sec	11
I.3 Evaluation des moyennes de production	12
I.3.1 Le sol	13
I.3.1.1.Texture	13
I.3.1.2.Structure	13
I.3.1.3.ph.....	13
I.3.1.4.matière organique	13
I.3.1.5.composition chimique	13
I.3.2 Le climat	14

I.3.3 L'irrigation et ressources hydrique	15
I.3.3.1. les ressources hydriques	15
I.3.3.1.1. la gestion des ressources	16
I.3.3.1.2. la gestion de la consommation	16
I.3.3.1.3. Encouragement de la recherche.....	16
I.3.3.2. méthodes d'irrigation en Algérie	16
I.4. Utilisation des moyennes modernes de production.....	16
I.4.1. les capteurs embarqués	17
I.4.2. les applications mobiles	17
I.4.3. les zones de gestion de sol	18
I.4.4. l'imagerie par drone	19
I.4.5. l'imagerie satellite	19
I.4.6. l'imagerie en agriculture	19
I.4.7. les lecteurs spectraux de biomasse	19
 Chapitre II : les contraintes des cultures céréalières	
II.1 itinéraire technique	20
II.1.1 l'irrigation	20
II.1.1.1. Détérioration de la qualité de sol	21
II.1.1.2. Détérioration de la productivité des cultures	21
II.1.1.3. Augmenter le coût de l'irrigation.....	21
II.1.1.4. pollution de l'eau	21
II.1.2 fertilisation	21
II.1.2.1. utilisation d'engrais chimique	22
II.1.2.2. utilisation d'engrais organique	22
II.1.2.3. Rotation.....	22
II.1.2.4. dangers immunologiques	22
II.1.2.5. conseils généraux pour fertiliser les cultures céréalières	22

II.1.2.5.1.analyse du sol avant la plantation	22
II.1.2.5.2. pulvérisation d'engrais	22
II.1.2.5.3.éviter la sur fertilisation des cultures	22
II.1.2.5.4.utilisation d'engrais organique.....	22
II.1.2.5. 5. Besoins en fertilisation des cultures.....	23
II.1.3 non respect de l'itinéraire technique	23
II.2 les contrainst naturelle	24
II.2.1 les conditions climatiques	24
II .2.2. la sécheresse	25
II.2.3 stress hydrique	25
II.2.3.1 L'effets de stress hydrique sur le système racinaire	25
II .2.3.1.1.Réduction de la croissance racinaire	26
II.2.3.1.2.diminution de la densité racinaire	26
II.2.3.1.3. modification de la forme des racines	26
II.2.3.1.4. réduction de la biomasse racinaire	26
II.3.2. Effet de stress hydrique sur le développement de la plante et l'activité photosynthétique	26
II.3.2.1. Réduction de la teneur en chlorophylle	27
II .3.2.2. Augmentation de la production de stress oxydatif.....	27
 Chapitre III : télédétection applique en agriculture	
III.1. définition de la télédétection	29
III.2.l'agriculture de précision	29
III.2.1 l'objectif d'agriculture de précision	30
III .2.2 les avantages de l'agriculture de précision	31
III.3. les nouvelles technologies en agriculture	31
III .3.1. Les systèmes d'information géographique (SIG).....	31
III.3.2. les drones	31
III.4. les applications de la télédétection dans l'agriculture	33
III.4.1. cartographie des cultures	33
III.4.2. détection des maladies et des ravageurs	33

III.4.3. surveillance de la croissance des cultures	34
III.4.4. la gestion de l'eau	34
III.4.5. la gestion des nutriments	35
III.4.6. le pilotage des cultures	35

Partie II : Expérimentation

Chapitre IV : présentation de la zone d'étude

IV.1.Contexte générale	38
IV.2.La situation géographique de la zone d'étude	39
IV.2.1.Les coordonnées géographiques de la commune de Sougueur	39
IV.2.1Les limites de sougueur.....	40
IV.3.Production végétale	40
IV.4.Occupation de sol	40
IV.5.Le climat	41
IV. 5.1Précipitation	42
IV.5.2. Température.....	43
IV. 5.3.Diagramme Ombrothermique de gaussin	44
IV.5.4.Quotient et climagramme D'EMBERGER	45

Chapitre V :

Matériels et Méthodes

V.1.Echantillonnage et choix des prélèvements	47
V.1.1.Sol.....	47
V.1.2 .les plantes	47
V.2.Méthodes	48
V.3. Préparation des échantillons du plants :	50
V.3.1 prendre des photos	50
V.3.2 utilisations de Grenneseeker	50
V.4 .Préparation des échantillons du sol	51
V.4.1 .Séchage	51

V.4 .2. Broyage et tamisage.....	51
V.4.3. Analyses physiques	52
V.4.3.1. Taux d'humidité	52
V.4.3.2. Analyse granulométrique	52
V.4.4. Analyses chimiques	53
V.4.4.1. Ph	53
V.4.4.2. Conductivité électrique	54
V.4.4.3. Calcaire total	55
V.4.4.4. Calcaire actif	56
V.4. 4.5. Dosage du carbone organique	57
V. 4.4.6. Sels solubles	58
V.4.4.6.1 Dosages des carbonates et bicarbonates	58
V.4.4.6.2 Dosage des chlorures	59
V. 4.4.7 .NPK	60
V.5. partie télédétection	61
V. 5.1. Image satellitaire	61
V. 5.2. Sentinel-2	61
V. 5.3. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).....	62
V. 5.4.les indice VHI et VCI	63
V. 5.5. Modèle d'humidité OPTRAM (Optical TRApEZoid Model)	65
V.5.6. logiciel QGIS	66
V. 5.7.Google Earth Engine	67

Chapitre VI : résultats et discussion

VI. 1. Résultats des analyses physico-chimiques du sol	69
VI. 1.1. Les analyses physiques	69
VI. 1.1.1. Granulométrie.....	69
VI.1.1.2 humidité	69
VI.1.2.les analyse chimique	72
VI.1.2.1 ph	72

VI.1.2.2 phkcl	74
VI.1.2. 3 conductivité électrique	75
VI.1.2.4 NPK	77
VI.1.2.5 matière organique	84
VI.1.2.6 calcaire totale	85
VI.1.2.7 calcaire active	86
VI.2 /Résultats de télédétection	88
VI.2.1 modal d'humidité OPTRAM	88
VI.2.2 Indice de l'état de la végétation (VCI)	89
VI.2.3 indice de santé de la végétation (VHI)	90
VI.2.4 de la végétation (NDVI)	91
Conclusion générale.....	93
Annexes	

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

La sécurité alimentaire est l'un des sujets les plus importants sur lesquels les pays se fondent pour parvenir à leur stabilité, à leur développement et à leur indépendance matérielle, et pour y parvenir, les pays doivent développer l'agriculture car elle est le principal facteur de l'alimentation dans le monde et fournir divers types de produits à partir de légumes, de fruits et de céréales, et elle contribue à accroître l'activité commerciale de l'homme et à améliorer son niveau de vie, et les pays cherchent à développer le système agricole en résolvant et en surmontant tous les problèmes auxquels ils sont exposés afin de parvenir à Une richesse abondante issue de l'agriculture et donc l'autosuffisance pour se débarrasser de la dépendance alimentaire et donc de l'indépendance économique (Abdelkader 2009).

L'Algérie est l'un des pays qui occupent une place importante dans le domaine de l'agriculture et qui possède une grande importance sociale et économique en raison de la diversité de son climat, du grand nombre de terres cultivables et de la diversité et de la fertilité de ses sols. Le pays dépend de l'agriculture de manière générale, et l'une de ses premières obligations est de mettre en place des stratégies de développement pour garantir l'autosuffisance et renforcer la production, en particulier pour la culture des céréales, qui joue un rôle essentiel dans le système agricole et constitue la base de la consommation alimentaire, en en faisant une composante importante de l'économie (OUKRID et al ,2018).

L'agriculture est l'une des choses sur lesquelles l'État compte pour assurer la sécurité alimentaire. en particulier la culture des céréales, qui ont une place fondamentale dans le système agricole et constituent la base de la consommation alimentaire.

Certaines régions de l'Algérie sont connues pour leur abondance de production de céréales, et le secteur agricole a bénéficié d'une politique agricole encourageant l'investissement entre 2000 et 2020. Cette politique a encouragé la production dans les secteurs stratégiques, en particulier les céréales. Cependant, ces dernières années, le niveau de production a diminué (SAHLI,2021)

En raison de nombreux problèmes rencontrés par la culture des céréales, notamment l'utilisation indiscriminée et excessive d'engrais, ainsi que des problèmes majeurs tels que la pénurie d'eau, appelée la sécheresse, malgré les efforts déployés pour développer la culture des céréales et introduire de nouveaux facteurs de production, la culture des céréales présente des différences importantes liées au paramètre climatique difficile à réaliser (c'est-à-dire les conditions climatiques). C'est extrêmement limitatif pour l'agriculture car l'Algérie fait face

à une pénurie de précipitations et à une mauvaise distribution, ce qui est dû aux importantes variations dans l'UAA.(ABDELKADER ,2009)

Par conséquent, il est devenu nécessaire de résoudre ces problèmes pour réaliser ce que nous avons mentionné précédemment de manière nouvelle, développée, innovante et précise.

La thématique abordée est un problème important de la culture des céréales, et pour résoudre ce problème, il est impératif de connaître les raisons qui y mènent.

il existe de nombreuses raisons, dont les plus importantes sont.

- Sécheresse : C'est un problème majeur dans la plupart des régions, en particulier dans les zones arides et semi-arides, où le pourcentage d'eau dans le sol diminue, et produit donc un stress hydrique sec, et ce dernier affecte négativement le développement et la croissance des plantes.

- Depuis que les précipitations sont devenues rares ces derniers temps, cela est devenu un problème économique car cela entraîne une diminution de la production. Les agriculteurs ont recours à l'irrigation pour sauver leur culture, ce qui est souvent nécessaire pour maintenir les niveaux de production et rendre l'investissement rentable afin de se protéger contre les risques climatiques et assurer la production. Les méthodes d'utilisation de l'irrigation varient, certains agriculteurs l'utilisent de manière aléatoire, ce qui fait que l'eau n'atteint pas la zone cultivée, et donc certaines zones sont menacées de rétrécissement et soumises à un stress hydrique (AOUAT 2015) .

L'objectif de cette étude est d'estimer et suivre le stress hydrique de la culture céréalière de la région de Tiaret par télédétection, où la surveillance et le suivi sont des activités essentielles dans la mise en œuvre d'actions de développement dans le cadre du développement durable et où la nécessité d'un arbitrage entre les différents usages de l'eau nécessite des outils de suivi efficaces, l'état des réserves disponibles et le niveau de consommation.

La télédétection est utilisée pour parvenir à des solutions réalistes à travers l'utilisation des images satellitaires comme outil important pour comprendre l'infiltration des précipitations dans le sol.

L'utilisation de satellites conduit également à une identification précise du type de culture et améliore les modèles d'utilisation de l'eau pour répondre aux besoins agricoles et nous permet de connaître les zones qui souffrent de stress hydrique dans la zone d'étude et donc ces méthodes modernes permettront de résoudre le problème du stress hydrique.

La région de TIARET est située dans la partie centre-ouest du pays, avec une superficie de 2 millions de kilomètres carrés (BOUACHA 2019) et est considéré comme un centre économique régional ainsi que l'une des zones agricoles par excellence, car elle dispose d'une vaste superficie de terres agricoles, qui est estimée à un million et 589 mille et 530 hectares, dont 688725 hectares sont propices à l'agriculture et occupent la plus grande part de la culture du blé dur avec une superficie de 120 260 hectares, et le reste de la superficie est réparti entre blé et l'orge ou in enregistre une production abondante malgré le peu de précipitations, en raison de la fertilité de son sol et de son climat diversifié, et notre choix de la région de Tiaret est expliqué par le fait que la région souffre depuis plusieurs années du problème de sécheresse qui se répercute négativement sur le rendement des cultures.

Aussi, du fait notamment du manque de surveillance du stress hydrique et des zones qui en souffrent. Ne pas utiliser de méthodes modernes pour détecter des zones, telles que l'utilisation d'images satellitaires.

Afin d'atteindre ces objectifs, nous avons divisé notre travail en deux parties.

Partie I : synthèse bibliographique qui comporte trois chapitres

- 1^{ère} chapitre : agriculture en Algérie

Ce chapitre comprend des informations sur l'agriculture en Algérie en général, et parmi les titres importants du chapitre figurent les cultures céréalières, leur importance, leurs types et leur production.

- 2^{ème} chapitre : les contraintes de la production des céréalicultures en Algérie

Dans ce chapitre, nous avons discuté de la contrainte rencontrée par les céréalicultures en Algérie en tant que itinéraire technique et des contraintes naturelles.

-Le dernier chapitre de la partie bibliographique est la télédétection comprend une définition générale de la télédétection et de ses utilisations dans le domaine de l'agriculture

Partie II : Expérimentation

- 4^{ème} Chapitre : présentation de la zone d'étude
- 5^{ème} Chapitre : réservé pour la méthodologie de travail consacré à l'étude et les traitements des images satellitaires de la zone d'étude
- 6^{ème} chapitre : Une présentation des résultats obtenus et la discussion de ce résultat

PARTIE

BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I :
L'AGRICULTURE
EN
ALGÉRIE

-1- agriculture en générale :

L'Algérie est située au nord-ouest de l'Afrique, entre la Tunisie et le Maroc, sur la côte de la mer Méditerranée. Elle a une superficie de 2 381 741 kilomètres carrés, ce qui en fait le plus grand pays du continent.(FAO 2015)

Les paysages varient du nord au sud, allant d'une bande côtière principalement composée de plaines aux montagnes et au désert. En Algérie, il existe plusieurs secteurs économiques, dont l'agriculture qui est l'un des plus importants. La superficie totale des terres arables en Algérie est estimée à 3,1 %, répartie dans plusieurs types de cultures telles que les céréales, les fruits, les légumes, et autres. La superficie des terres irriguées cultivées représente 2,6 %, ce qui indique que la plupart des terres dépendent des précipitations (figure 01). La part de l'agriculture dans le PIB total varie considérablement selon les régions de l'ouest et de l'est de l'Algérie, atteignant 12,3 %, en fonction du pourcentage et des conditions climatiques. (FAO 2022)

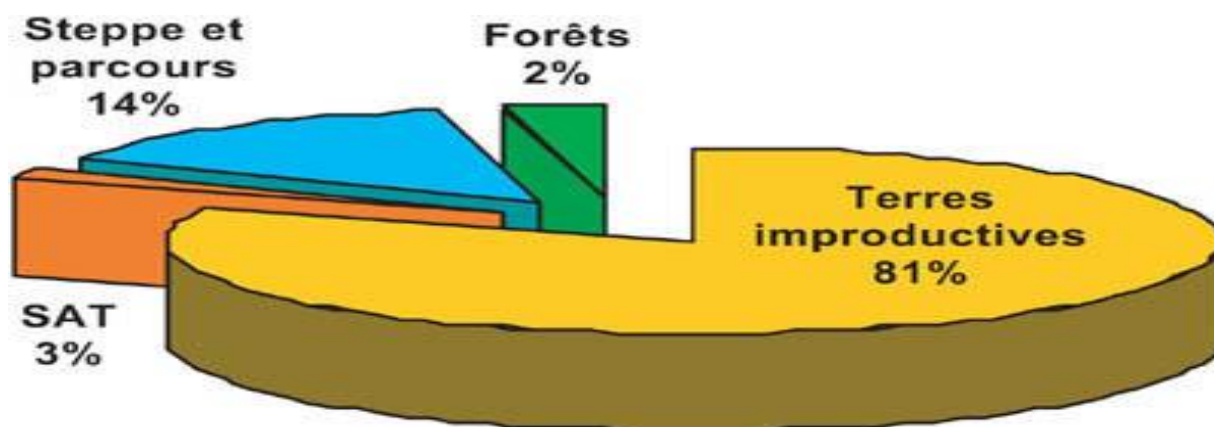


Figure 01 : occupation des terre agricole (FAO 2003)

L'agriculture consiste à cultiver des plantes dans des conditions environnementales optimales (climat, type de plante) afin d'obtenir le meilleur rendement possible, tant en termes de quantité que de qualité. (BENMOKHTAR 2020)

Selon laFAO (2002), l'augmentation de la production végétale découle de trois Sources principales en l'occurrence : l'extension des terres arables, l'accroissement de L'intensité culturale traduit par la fréquence des récoltes sur une même superficie et L'amélioration des rendements. Les superficies céréalières étant constantes, l'élévation des Rendements, qui contribue avec 70 % dans l'amélioration de la production, reste le plus Important facteur. A ceci s'ajoute d'autres alternatives notamment, la composante Humaine, l'organisation et la structuration des exploitations en exploitations agricoles Familiales durables et un socle institutionnel basé sur le statut foncier, le remembrement et le statut professionnel de l'agriculteur et des travailleurs familiaux (RASTOIN et al 2014).

-2- les céréalicultures en Algérie :

2-1-Importance des céréalicultures :

L'un des principaux secteurs de la production agricole en Algérie est le secteur céréalier, qui sont des plantes cultivées pour leurs semences, qui sont souvent utilisées pour produire de la nourriture pour les humains et les animaux, et les plus importantes de ces céréales (blé dur et tendre, orge, riz, maïs et autres..), les céréales occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale et internationale et sont donc l'épine dorsale de l'alimentation algérienne(A.DJERMOUN 2009), En raison de son rôle crucial dans l'industrie agroalimentaire en Algérie, le secteur des céréales et de ses dérivés revêt une importance particulière. Cela est principalement dû à la place prépondérante occupée par les céréales dans l'alimentation humaine (FELLAHI,2022). Les céréales fournissent généralement plus de 50 % des besoins énergétiques des humains. Les céréales sont cultivées en utilisant des intrants tels que la terre, l'eau, les engrais, les semences, les équipements et les systèmes agricoles. Il est possible de protéger les cultures contre les maladies et les ravageurs, et il est également nécessaire de garantir le retour de la production lors des récoltes céréalières, ce qui nécessite une vaste superficie. En réalité, cela concerne principalement l'utilisation des terres agricoles, car les céréales sont considérées comme des

aliments de base pour une grande partie de la population mondiale, et la production de céréales reste conditionnée par les facteurs climatiques et les caractéristiques des sols (AIDANI 2015,)

Tableau 1. Composition chimique moyenne de différentes espèces céréalières

Composants (% de MS)	Protéines	Lipides	Hydrates de carbone	Fibres brutes	Cendre
Blé	10,6-14,6	1,6 - 2,1	66,9 - 75,9	1,7 - 2,3	1,3 - 2,2
Orge	8,3 - 11,8	1,8 - 2,1	68,0 - 72,0	4,3 - 5,7	2,3 - 2,7
Riz	8,4 - 12,0	0,9 - 1,3	70,5 - 76,3	0,9 - 1,3	9,6 - 13,4
Maïs	9,5 - 11,5	4,0 - 5,0	68,0 - 75,0	1,7 - 2,0	1,2 - 1,6
Sorgho	8,0 - 9,5	1,9 - 2,0	70,0 - 74,2	2,0 - 2,5	1,7 - 2,0

2-2 Les cultures en Algérie et les wilayas le plus produire :

L'Algérie dépend de la disponibilité de nombreux produits alimentaires, et en raison de l'immense superficie arable (figure 02), les cultures varient, et sont:

2-2-1-Les cultures céréalières

-Céréales d'hiver : blé dur, blé tendre, orge, avoine, triticale

-Céréales d'été : maïs, sorgho

2-2-2les cultures maraichères : pommes de terre, carottes, piments

2-2-3les cultures fruitières

2-2-4 Les cultures industrielles : tomates, tabacs, arachides

2-2-5 Légumes secs : lentilles, fèves-féveroles, pois secs, pois chiches, haricots secs

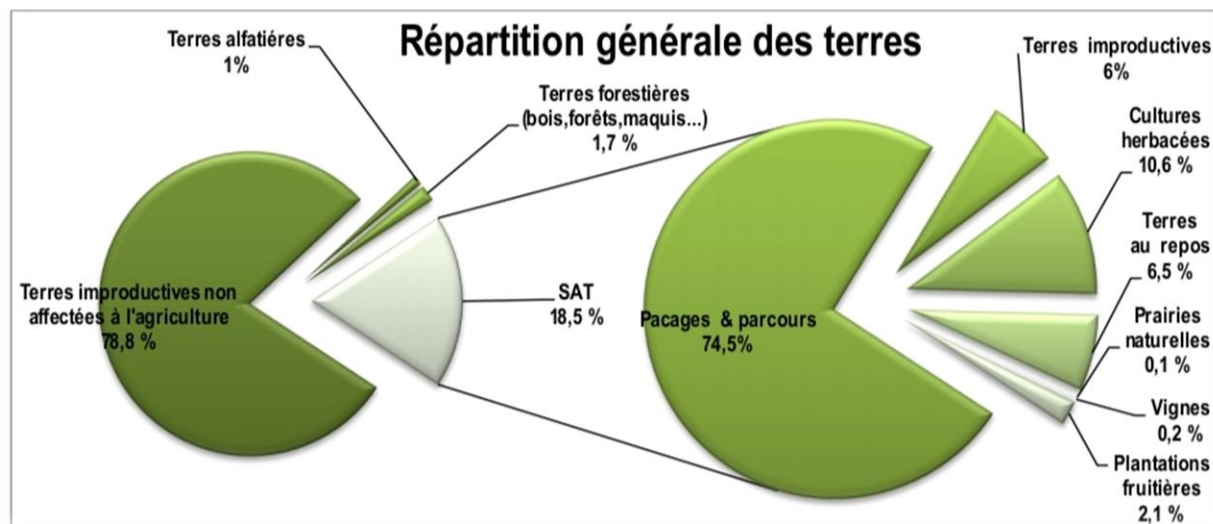


Figure 02 : repartitionne générale des terres en Algérie

Tableau n° 02 : récapitulatif des superficies, des productions, des rendements des cultures (2018-2019)

Type de culture	2018			2019		
	Superficies (ha)	Production (Qx)	Rendement (qx /ha)	Superficies (ha)	Production (Qx)	Rendement (qx /ha)
Céréales d'hiver	3 106 102	60 568 040	19,5	3 185 647	56 259 902	17,7
Céréales d'été	2 515	450 450	179,1	1 665	72 954	43,8
Culture industrielles	36 427	15 872 668	435,7	38 018	17 178 179	451,8
Culture maraichère	509 341	136 570 863	268,1	533 060	146700 413	275,2

Légumes secs	111 823	1 376 378	12,3	119 217	1 362 293	11,4
---------------------	---------	-----------	------	---------	-----------	------

Comme mentionné précédemment, l'État algérien dispose de grandes surfaces pour l'agriculture, en particulier la culture des céréales, car ces zones sont réparties sur les différents États du pays, certains États donnent une production abondante à la division des céréales et occupent les premiers rangs, tels que les États de l'ouest de l'Algérie, y compris Tiaret, où il est considéré comme l'un des États qui ont de grandes surfaces pour l'agriculture et occupent les premiers rangs dans la production céréalière ces dernières années, en particulier en 2022, où le taux de production a été estimé à 1,5 million de quintaux. nous mentionnons également chlef, Mascara, Mostaganem et les wilayas de l'Est Sétif, Guelma, Constantine et les wilayas du sud tels que Oued Souf, ce dernier est célèbre pour la culture de nombreuses espèces et a réussi en cela, et les wilayas de la côte de Tizi Ouzou, Bejaia et de nombreux états, comme nous l'avons mentionné, l'Algérie a de très grandes superficies pour l'agriculture.

3- Evaluation des moyenne de production :

3-1Le sol :

Le sol est le produit de la modification, de la réorganisation et de la régulation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'influence de la vie et de l'échange d'énergie qui s'y produit. Ses composants sont constitués de résidus minéraux provenant de l'atmosphère et d'organismes vivants liés au sol. Il est extrêmement important car il abrite une grande diversité biologique de la Terre et est un milieu physique, chimique et biologique sur lequel les plantes poussent.(dELLEL et al 2015)

Le sol se compose de trois phases : solide (minérale et organique), liquide (solution du sol qui correspond à l'eau et aux éléments dissous) et gazeuse (principalement composée d'oxygène, de méthane et de monoxyde de carbone). Voici quelques caractéristiques communes à la plupart des types de sols :

3-1-1-Texture : la texture du sol est caractérisée par la taille et la distribution des particules, comme le sable, l'argile et le limon. La texture affecte la capacité du sol à retenir l'eau et les nutriments, et joue un rôle essentiel dans la rétention et l'échange d'eau avec les racines des plantes.

3-1-2- Structure : la structure du sol fait référence à la façon dont les particules du sol sont arrangées les unes par rapport aux autres, c'est-à-dire la détermination de la structure du sol par l'organisation des agrégats de composants minéraux et organiques. La structure affecte la perméabilité du sol, c'est-à-dire la capacité du sol à permettre le passage de l'eau et de l'air. (MIHOUBI et LAIBER 2019)

3-1-3- pH : le pH fait référence au degré d'acidité ou d'alcalinité qui joue un rôle important dans l'absorption des éléments nutritifs par les plantes, et a un impact sur trois composantes importantes de l'acidité du sol : la disponibilité biologique, la stabilité et l'activité biologique.

3-1-4- Matière organique : la matière organique est un indicateur important de la stabilité du sol. Elle augmente la capacité de rétention d'eau de 68 % dans le sol, fixe les éléments minéraux et fournit un support pour les micro-organismes dans le sol. Elle joue également un rôle essentiel dans la structure du sol et l'alimentation des plantes.

3-1-5 Composition chimique : la chimie du sol fait référence aux éléments présents dans le sol, tels que l'azote, le phosphore et le potassium, qui sont essentiels à la croissance des plantes (ZOUATITE et HADJER 2018)

3-2Le climat :

L'évaluation des entrées climatiques dans l'agriculture est importante pour les agriculteurs et les chercheurs agricoles, car la production agricole dépend largement des conditions climatiques telles que la température, selon l'organisation gouvernementale internationale responsable du changement climatique, qui est le facteur le plus important affectant le secteur agricole (ZIMOUCHE 2021). Le réchauffement climatique entraîne une augmentation de la température moyenne et des phénomènes régionaux extrêmes tels que la sécheresse, les tempêtes et la montée du niveau de la mer. Tous ces facteurs peuvent avoir un impact important sur la production agricole, comme en témoignent les nombreux changements survenus ces dernières années dans le monde et leur impact sur les cultures. Selon une étude récente publiée dans la revue Nature Climate Change, le changement climatique pourrait réduire la production agricole mondiale de 10%. Cependant, les chercheurs ont également constaté que des mesures d'adaptation telles que l'utilisation de graines résistantes à la sécheresse, une irrigation efficace et un sol durable peuvent aider à atténuer ces effets. En résumé, l'accord de Paris adopté en décembre 2015 représente un

nouveau départ pour la stabilité du climat, et la plupart des pays se concentrent sur ce secteur en raison de l'impact du climat sur le mode de vie des êtres vivants, y compris les humains, et la capacité de l'homme à s'adapter en exploitant les ressources naturelles (ALATY EL RAHHOU 2009).

L'agriculture est liée aux objectifs de développement durable, et un engagement fort pour soutenir les pays dans leurs efforts pour lutter contre le changement climatique aura des conséquences graves sur l'agriculture et la sécurité alimentaire. Cependant, les mesures d'adaptation peuvent aider à réduire la baisse de la production agricole, augmenter les prix des ressources alimentaires, les récoltes et la qualité des produits alimentaires. C'est pourquoi l'agriculture est sans aucun doute l'une des activités les plus dépendantes du climat.

.3-3 L'irrigation et ressources hydriques :

En Algérie, l'eau joue un rôle crucial et stratégique dans la vie des habitants, le développement économique et les écosystèmes naturels en raison de sa rareté, de son caractère instable et déséquilibré. L'eau est devenue une ressource précieuse en raison de la croissance démographique, de l'impact de l'industrialisation et du développement des nouvelles terres. Parmi les secteurs qui consomment de l'eau, la gestion des ressources en eau est limitée en raison de la demande croissante en quantité et qualité d'eau d'ici 2010, ainsi que du traitement insuffisant de l'eau en raison du manque de technologie appropriée, du stockage limité des barrages existants et des capacités limitées de stockage d'eau. De plus, les longues périodes de sécheresse rendent difficile la gestion de l'eau dans toutes ses facettes, avec un retard dans le remplissage des réservoirs par rapport à la forte croissance démographique. (HADINE et al 2020).

3-3-1 Les ressources hydrique :

L'Algérie possède plusieurs barrages, dont certains atteignent 110 barrages (KETTAB, 2020), 50 barrages sont en exploitation (barrage Benharoun, barrage de Tizi Ouzou, Bouira, Tipaza), 13 stations de dessalement d'eau de mer sont utilisées à travers le territoire national, et les eaux usées traitées sont utilisées pour l'irrigation de 10 % des cultures, selon la première étude mondiale sur l'irrigation avec des eaux usées traitées, qui fournit une ressource précieuse et renouvelable pour l'agriculture. (KROUCHI, 2016)

Nous oublions souvent l'importance vitale de l'eau, car la question de l'eau en Algérie représente un grand défi social et économique. Sans eau, la terre ne sera plus qu'une planète morte, sans vie humaine, biologique ou animale. Ces dernières années, dans le cadre de différents plans de développement, l'Algérie a connu une grande percée économique dans le secteur agricole (plan national de développement agricole) sur la base de l'extension de l'irrigation, ce qui a exercé une forte pression sur les ressources en eau. (faiza et al 2012).

Cela est dû à la faible pluviométrie, où l'observation générale que nous venons de faire montre que le problème de l'eau dans le nord de l'Algérie est fondamental et stratégique, la disparité entre les ressources et les besoins ne cessant de s'aggraver, tant en termes de quantité que de qualité. Il est donc nécessaire de maîtriser cette problématique à travers

3-3-1-1 La gestion des ressources : la construction de réservoirs sur les collines et le développement des cours d'eau (approvisionnement en eau souterraine et agriculture)

L'alimentation du réservoir souterrain dans le développement des pentes pour lutter contre la sédimentation des sédiments dans les barrages

3-3-1-2 La gestion de la consommation : la protection de l'environnement (recyclage des eaux usées)

La soumission de la politique de planification à la question de l'eau

3-3-1-3 Encouragement de la recherche : renforcement de la formation des cadres supérieurs en sciences de l'eau (hydrogéologie, traitement des eaux usées), Renforcement des services de gestion de l'eau (de la recherche au traitement) Étudier la possibilité d'utiliser des sources d'eau non conventionnelles (eaux usées). (BOUDJAJA et al 2005)

3-3-2 Méthodes d'irrigation en Algérie:

Dans le cadre de sa nouvelle stratégie de développement des ressources en eau, l'État algérien cherche à exploiter de nouvelles ressources en analysant les eaux de mer et en les transformant en eau potable, ainsi qu'en filtrant les eaux usées pour les utiliser à des fins d'irrigation. Il existe également des méthodes traditionnelles qui consistent à exploiter les eaux de pluie et les eaux souterraines en développant des moyens de stockage tels que les barrages et les puits. Il est donc essentiel d'exploiter toutes les méthodes modernes et traditionnelles pour assurer les besoins en eau dans tous les secteurs. (OUADJINA , 2008)

4-Utilisations des moyens modernes de production :

L'utilisation de moyens de production modernes tels que les machines, les nouvelles technologies et la fertilisation peut considérablement améliorer l'efficacité et la productivité dans divers domaines de production, où de nouvelles technologies émergentes pourraient révolutionner notre façon de penser la production alimentaire. (asher Claire ,2021)

Les machines agricoles doivent être efficaces pour réduire leur impact sur le sol, tandis que la fertilisation moderne aide à augmenter la production de cultures. Les bonnes pratiques de fertilisation peuvent être résumées par les 4 B : utiliser la bonne source d'engrais, à la bonne dose, au bon moment et au bon endroit. Les technologies modernes nous permettent désormais d'adapter la dose d'engrais aux caractéristiques des champs, en facilitant les applications fractionnées au bon moment et en améliorant leur placement au bon endroit. (Pierre-Luc Lizotte 2019).

Des modèles d'intelligence artificielle peuvent comparer les données des fermes avec des cas similaires pour prédire la dose optimale d'engrais et de rendement, ce qui réduit l'incertitude dans les décisions de fertilisation. Les auteurs soutiennent que le développement technologique améliore considérablement la production agricole (Léon étienne parent2022) , et pour cette raison, la technologie cherche à améliorer l'agriculture en améliorant les nouvelles technologies, telles que les drones, les capteurs et les dispositifs de détection pour répondre aux besoins de l'agriculture.(Josselin 2019)

Parmi ces technologies, on peut citer

4-1les capteurs embarqués :qui mesurent la biomasse et varient la dose d'engrais pendant l'application,



Figure 3 : les capture embarques

4-2 Les applications mobiles : pour Délimiter les zones par la prise de données au champ (drainage , type de sol, rendement)

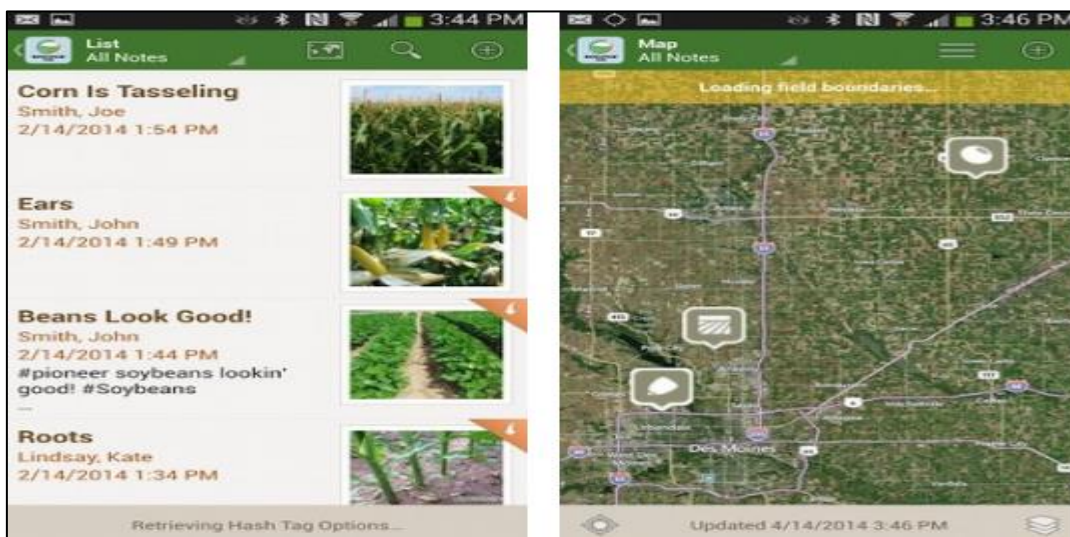


Figure 4 : exemple d'application mobile

4-3 Les zones de gestion du sol : adapté la fertilisation ou spécificité de champ (texture Rendement des années passées)

4-4L'imagerie par drone : pour l'analyse de données et les réglementations a partir de juin 2019



Figure 5 : drone agricole

4-5 L'imagerie satellite : pour la télédétection et les calculs et recommandation

4-6L'imagerie en agriculture : pour le suivi des pâturages et drainage parcellaire

4-7les lecteurs spectraux de biomasse :

Pour mesurer la biomasse et la chlorophylle, tels que le Green Seeker. (Pierre -Luc Lizotte 2019)

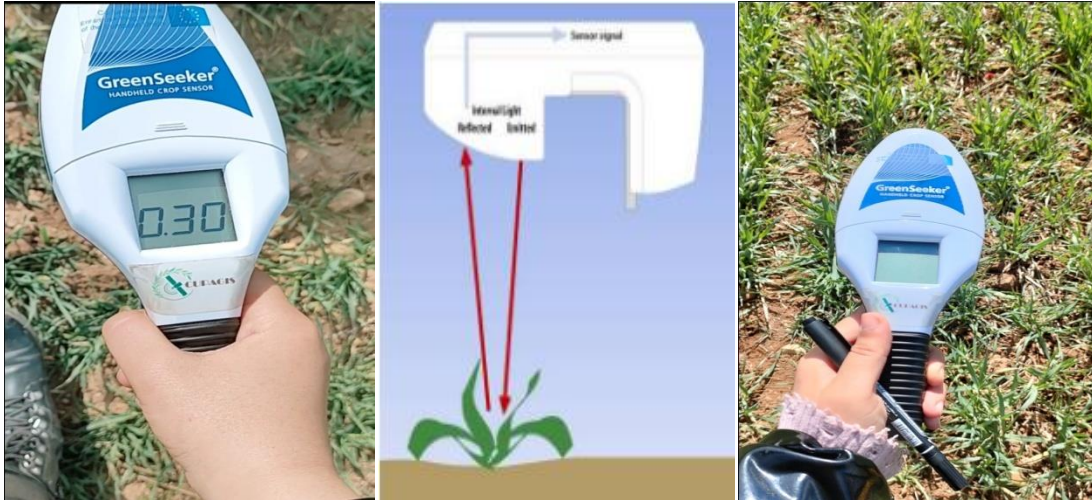


Figure 6 : appareil d'acquisition green seeker

CHAPITRE II :
CONTRAINTES DES
CULTURES CÉRÉALIÈRES

Les céréales ont toujours été un produit important de l'agriculture algérienne et une composante essentielle de l'alimentation des hommes, l'alimentation animale et les matières premières dans diverses industries. Cependant, sa culture est soumise à de nombreuses restrictions, ce qui peut avoir un impact significatif sur la production et la qualité des cultures. Certaines des restrictions les plus courantes incluent. (CHAOU 2015-2016)

Les contraintes naturelles telles que les conditions météorologiques défavorables, les ravageurs et les maladies, les pratiques culturales inappropriées, les contraintes environnementales telles que la disponibilité de l'eau et la qualité des sols et le plus préjudiciable à la production céréalière est l'absence de pathologie technique des agriculteurs.

1-Itinéraire technique :

Le développement de l'agriculture (céréales) fait face à diverses contraintes, notamment les technologies définies dans l'application de l'itinéraire technique succinct. L'itinéraire technique est un plan détaillé des activités agricoles, en utilisant la qualité des intrants et la mécanisation, la préparation du sol pour la récolte, et il est utilisé pour planifier et suivre les étapes, la plantation des cultures, l'utilisation de produits, l'entretien des cultures, la fertilisation et l'irrigation. Grâce à une planification efficace des activités, à la réduction du temps et à la diminution des coûts de production, les agriculteurs peuvent également améliorer la qualité de leur production au niveau de leur exploitation pour augmenter le rendement.

Le suivi des meilleures pratiques agricoles de l'itinéraire technique est un outil précieux pour les agriculteurs, qui leur permet de travailler de manière optimale avec les contraintes climatiques afin d'augmenter leurs revenus, d'assurer un développement durable et d'améliorer la qualité de leur production. (GUEFFIF 2021)

1-1 L'irrigation :

L'irrigation est l'une des méthodes agricoles qui permettent de répondre aux besoins en eau des cultures, en fournissant de l'eau supplémentaire lorsque les précipitations ne fournissent pas assez d'eau pour assurer la stabilité, stabiliser les cultures et augmenter les rendements, quelles que soient les fluctuations météorologiques. (BOUCENNA et al 2017)

En général, c'est un facteur qui affecte la croissance et la productivité des plantes et peut aider à améliorer la production.

Irrigation aléatoire: C'est un type d'irrigation dans lequel l'eau est distribuée à la culture de manière irrégulière et inégale, où certaines zones sont irriguées avec de grandes quantités d'eau en même temps que d'autres zones sont ignorées. Elle a plusieurs conséquences qui ont un impact négatif sur l'agriculture en général, notamment:

1-1-1 Détérioration de la qualité du sol: L'utilisation de grandes quantités d'eau dans certaines zones sans la répartir uniformément peut entraîner le lavage du sol et l'élimination des nutriments nécessaires aux plantes.

1-1-2 Détérioration de la productivité des cultures : Le fait de ne pas distribuer régulièrement de l'eau réduit la productivité et la qualité des cultures.

1-1-3- Augmenter le coût de l'irrigation: L'irrigation aveugle peut nécessiter de plus grandes quantités d'eau, ce qui entraîne une augmentation significative du coût de l'irrigation.

1-1-4- Pollution de l'eau: L'irrigation aveugle peut entraîner une pollution de l'eau en raison de l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides, ce qui peut affecter négativement l'environnement et la santé publique.

L'utilisation de techniques d'irrigation modernes peut aider à réduire les effets de l'irrigation aléatoire et à améliorer la productivité des cultures (BOUCENNA et al 2017).

1-2 Fertilisation :

La fertilisation est le processus consistant à fournir des nutriments aux plantes pour les stimuler et les développer là où elles ont besoin de différents nutriments pour se développer correctement, y compris l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre et les oligo-éléments tels que le fer et le zinc et l'objectif de l'agriculteur est de produire autant d'aliments que possible sur une parcelle de terre et en même temps de maintenir les intrants et de respecter l'environnement, et peut être fertilisé de différentes manières, en fonction des besoins des plantes et des pratiques agricoles spécifiques. Donc, pour maintenir une bonne structure (COHAN et al ,2009).

1-2-1 Utilisation d'engrais chimiques: Ce sont des composés qui contiennent les associations de base de plantes telles que l'azote, le phosphore et le potassium qui peuvent être appliqués directement sur le sol ou par irrigation

Lorsque la capacité du sol est insuffisante, des engrais organiques ou des minéraux peuvent être fournis pour augmenter la production afin d'éviter la perte de rendement, le gaspillage économique, la pollution et la fertilisation.

1-2-2 Utilisation d'engrais organiques :est essentielle pour une gestion durable de la fertilité des sols. Selon le mémoire intitulé (COMBOIGO et al 2017), les matières organiques telles que les déchets végétaux et les engrais se décomposent dans le sol, libérant des éléments nutritifs et fournissant des éléments nutritifs à long terme pour les plantes et la structure du sol.

1-2-3 Rotation: La fertilisation dépend de la rotation, de la rotation des cultures dans le même champ afin d'éviter l'épuisement des éléments nutritifs du sol et de promouvoir l'utilisation la plus efficace des éléments nutritifs

1-2-4 Dangers immunologiques : La pluie peut s'infiltrer dans le sol, altérant la stratégie de fertilisation

1-2-5 Conseils généraux pour fertiliser les cultures céréalières

1-2-5-1 Analyse du sol avant la plantation : aide à déterminer les besoins en fertilisation des cultures

- Utilisez des engrais équilibrés contenant des quantités égales d'azote, de phosphore et de potassium, et les ratios NPK varient en fonction des besoins des cultures, du sol et du climat

1-2-5-2 Pulvérisation d'engrais : selon les besoins de la culture

L'azote est généralement appliqué en quantités croissantes tout au long de la saison de croissance et le phosphore et le potassium sont appliqués avant la plantation.

1-2-5-3 Éviter la sur fertilisation des cultures : entraîne une perte d'azote dans l'environnement

1-2-5-4 Utilisation d'engrais organiques : pour améliorer la qualité des sols

1-2-5-5 Besoins en fertilisation des cultures :

Tableau 03 : besoins des culture en élément fertilisants (kg d'élément /quintal de grain/ha) (COHAN et al ,2009)

	Azote (N)	Phosphore (P ₂ O ₅)	Potassium (K ₂ O)
Blé tendre	3.0	1.1	1.7
Blé dur	3.5	1.8	1.8
Orge	2.1	1.0	1.9

1-3 Non respect de l'itinéraire technique :

Le non-respect de l'itinéraire technique en agriculture peut avoir de graves conséquences. Cet itinéraire technique représente un ensemble de pratiques agricoles planifiées dont l'application a un impact positif sur la qualité et la quantité de la production, ainsi que sur l'optimisation des rendements et l'utilisation efficace des ressources. Si ces pratiques ne sont pas suivies, cela peut entraîner la dégradation des sols, des pertes de récoltes, une baisse de la qualité de la production, une augmentation des coûts et une utilisation excessive de produits chimiques.(BELLATRCHE 2022)

Par exemple, en Algérie, les agriculteurs ne suivent souvent pas l'itinéraire technique en n'appliquant pas la rotation des cultures, ce qui peut nuire à la fertilité des sols, à la disponibilité des terres et augmenter les maladies et les ravageurs attaquant les cultures.(LUCAS 2020) De même, si un agriculteur utilise trop d'engrais chimiques sans respecter les doses recommandées, cela peut entraîner la pollution de l'eau et la dégradation de la qualité des sols.

Enfin, si un agriculteur ne respecte pas les dates de plantation ou les traitements phytosanitaires, cela peut également affecter la productivité et la qualité des cultures. Il est essentiel que les agriculteurs suivent l'itinéraire technique et sensibilisent à cette pratique

afin d'assurer des pratiques agricoles durables et efficaces, préservant ainsi l'environnement, améliorant la qualité des produits agricoles et garantissant une agriculture durable à long terme

2 -Les contraintes naturelles :

L'agriculture en Algérie est confrontée à de nombreuses contraintes naturelles, et l'une de ces contraintes a le plus d'impact sur la production et le développement des plantes. Le terme "contrainte naturelle" fait référence à un élément de la nature qui entrave l'utilisation ou le développement de l'espace par l'homme. Les contraintes naturelles peuvent avoir différentes origines et formes, comme les facteurs climatiques, par exemple. L'augmentation de la température, qui entraîne la sécheresse, a un effet négatif sur le développement des plantes. En conséquence, il y a un stress hydrique, des maladies et des ravageurs. Nous aborderons chacun de ces aspects séparément ci-dessous.(feddal 2015)

En résumé, les contraintes naturelles en agriculture en Algérie comprennent des facteurs climatiques tels que l'augmentation des températures et la sécheresse, qui ont un impact négatif sur le développement des plantes, entraînant des problèmes tels que le stress hydrique, les maladies et les ravageurs .

2-1 les conditions climatiques :

Aujourd'hui, le monde est confronté à des changements climatiques qui représentent un défi important en raison des effets des changements de température, des précipitations et des événements extrêmes sur les terres, l'agriculture et les systèmes de ressources humaines, et l'eau reste parmi les secteurs les plus menacés. Les effets attendus de ces changements seront des changements de saison, la perturbation des cycles de vie des cultures, la dégradation des terres, l'augmentation de la densité de l'eau et le stress thermique(BOUCETTA 2018).

Selon le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), le changement climatique est une modification durable du climat, qui peut être dû à des paramètres intrinsèques de la terre et à des influences extérieures telles que les activités humaines (GIEC, 2007 inBOUCETTA 2018).

La conduction climatique peut affecter la production de céréales de différentes manières. Par exemple, lorsque la surface du sol perd de la chaleur, cela peut entraîner un refroidissement de l'air qui peut nuire à la croissance des plantes. De même, une perte excessive de chaleur par le sol peut entraîner une évaporation accrue de l'humidité du sol, ce qui peut réduire la quantité d'eau disponible pour les plantes.

2-2 la sécheresse :

la sécheresse est un phénomène universel qui touche plusieurs pays dont l'Algérie c'est un fléau qui découle d'une baisse des précipitation par rapport à des niveaux considérés comme normaux, elle a des effets néfastes qui s'étendent à tout les domaine , à savoir l'environnement , l'agriculture .la sécheresse est un phénomène nature complexe (BENARBIA et al in ITGC 2018).La sécheresse montre de nombreuses difficultés dans le choix des rendements (HAFSI, 2001).

De plus, différentes réponses morphologiques apparaissent, physiologiques, biochimiques et moléculaires pour s'adapter aux compresseurs de déshydratation. Les phases végétative et reproductrice des plantes sont intenses et affectées par le stress hydrique (NEZHADAHMADI et al. 2013).

2-3stress hydrique :

L'eau est l'environnement interne des plantes. C'est une véritable biométrie, les différents organes de la plante contiennent entre 80 et 90% d'eau potable. Cette eau est nécessaire au fonctionnement de l'usine. L'eau potable qui s'évapore après la sueur est constamment reconstituée avec de l'eau absorbée par les racines. Lorsque l'absorption ne peut pas répondre à la sueur nécessite, le stress hydrique commence (Levitt, 1980).

D'après l'article de Leberch (2004) il est indiqué que le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance des plantes et la quantité d'eau disponible dans leur environnement est déterminant. Il est à souligner que la réserve d'eau limitée pour la plante correspond à la quantité d'eau pouvant être atteinte par son système racinaire

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants affectant les conditionne de croissance, le développement et le rendement des cultures (MADHAVA et al, 2006)

2-3-1 L'effet de stress hydrique sur le système racinaire:

Il s'agit d'un ensemble de conditions qui entraînent des changements dans un processus physiologique pouvant causer des dommages, des blessures, un ralentissement de la croissance ou du développement des plantes (Mebarkia 2015)

Le stress hydrique peut avoir des effets néfastes sur le système racinaire des céréales, ce qui peut affecter la croissance et le rendement de la plante. Le stress hydrique peut se produire lorsque la plante est exposée à une quantité insuffisante d'eau dans le sol ou lorsque l'eau disponible est de mauvaise qualité. Voici quelques-uns des effets du stress hydrique sur le système racinaire des céréales (Munns et Tester 2008).

2-3-1-1 Réduction de la croissance racinaire : Le stress hydrique peut réduire la croissance des racines des céréales. Les racines peuvent être plus courtes et plus épaisses, ce qui peut limiter la capacité de la plante à absorber l'eau et les nutriments.

2-3-1-2 Diminution de la densité racinaire : Le stress hydrique peut réduire la densité des racines, ce qui signifie qu'il y aura moins de racines dans une zone donnée du sol. Cela peut limiter la capacité de la plante à absorber l'eau et les nutriments.

2-3-1-3 Modification de la forme des racines : Le stress hydrique peut modifier la forme des racines des céréales. Les racines peuvent être plus profondes ou plus horizontales, ce qui peut affecter la capacité de la plante à absorber l'eau et les nutriments.

2-3-1-4 Réduction de la biomasse racinaire : Le stress hydrique peut réduire la biomasse racinaire des céréales, ce qui peut limiter la capacité de la plante à absorber l'eau et les nutriments.

Ces effets peuvent varier en fonction du type de céréale, de la durée et de l'intensité du stress hydrique, ainsi que de l'âge de la plante. Pour atténuer les effets du stress hydrique sur le système racinaire des céréales, les agriculteurs peuvent adopter des pratiques de gestion de l'eau efficaces, telles que la conservation de l'eau, l'irrigation déficitaire contrôlée et l'utilisation de variétés de céréales résistantes à la sécheresse

2-3-2 Effet de stress hydrique sur le développement de la plante et l'activité photosynthétique :

Le stress hydrique peut avoir un effet significatif sur le développement des plantes et leur activité photosynthétique. La photosynthèse est un processus vital pour la croissance et la survie des plantes, car elle permet à la plante de produire de l'énergie à partir de la lumière du soleil. Voici quelques-uns des effets du stress hydrique sur le développement de la plante et l'activité photosynthétique :

2-3-2-1 Réduction de la teneur en chlorophylle : Le stress hydrique peut réduire la teneur en chlorophylle dans les feuilles de la plante. La chlorophylle est responsable de la photosynthèse, donc une diminution de la teneur en chlorophylle peut entraîner une réduction de l'activité photosynthétique. Et l'activité photosynthétique d'une plante peut diminuer en raison du stress hydrique et également réduire la quantité d'énergie qu'une plante peut produire à partir de la lumière du soleil, ce qui peut affecter la croissance et le rendement des plantes. (CHAVES et al 2002).

2-3-2-2 Augmentation de la production de stress oxydatif : Le stress hydrique peut augmenter la production de stress oxydatif dans la plante. Le stress oxydatif peut endommager les cellules de la plante et réduire l'activité photosynthétique (Lawlor et al 2002).

Ces effets varient en fonction du type de plante, de la durée et de l'intensité du stress hydrique et des conditions environnementales telles que la température et l'intensité lumineuse.

CHAPITRE III :
TÉLÉDÉTECTION
APPLIQUÉE À
L'AGRICULTURE

1-Définition de la télédétection :

La télédétection est un ensemble de méthodes et de techniques impliquées dans une nouvelle stratégie d'étude et de surveillance de divers phénomènes naturels qui ont un impact direct sur l'homme et son environnement, et en fait c'est l'analyse spatiale d'un écosystème à partir de l'utilisation et de l'interprétation d'images aériennes ou satellitaires afin d'établir un diagnostic et une évaluation précis de la taille d'un phénomène naturel dans n'importe quel domaine. (BENSAID 2006 in (BOUACHA 2018).

Selon (CCT 2015) la télédétection est définie comme suit : « La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. »

La télédétection spatiale est une discipline scientifique qui intègre Un large éventail de compétences et de technologies utilisés pour l'observation, L'analyse et l'interprétation des phénomènes terrestres et atmosphériques. (F.EUGENIO GONZOLER et al 2013)

2- l'agriculture de précision :

L'agriculture de précision peut être définie comme une forme moderne d'agriculture qui utilise l'application de technologies numériques et de principes de gestion de la variation spatiale et temporelle liés à toutes les opérations de production agricole afin d'améliorer les performances et la qualité des cultures (B.SABRINA 2020)

Plus les parcelles cultivées sont grandes, plus il est difficile de les gérer par les agriculteurs, et à cet égard est venue l'agriculture de précision, qui est une approche de l'agriculture qui utilise des techniques avancées pour améliorer la gestion des cultures et des sols. Il repose sur la collecte et l'analyse de données en temps réel, permettant de prendre des décisions plus éclairées sur les pratiques agricoles, telles que l'utilisation d'engrais, de pesticides et d'irrigation. Le deuxième aspect est le développement technologique dans ce domaine (GPS, télédétection, capteurs embarqués, etc.) qui permet d'obtenir facilement des informations cartographiques précises sur l'état des sols et des cultures dans les parcelles agricoles. Cependant, la mesure ne suffit pas : il est nécessaire de pouvoir interpréter les données et de

les intégrer dans les processus décisionnels que les agriculteurs mènent dans leurs exploitations. (MARTINE et al 2007)

Finaleme nt, **les anglo-saxons** résume nt l'agriculture de précision à la règle des 5 R : « the Right input at the Right time, the Right place, the Right amount, the Right manner » - «La Bonne entrée au bon moment, le bon endroit, la bonne quantité, la bonne manière ».

2-1L'objectif d'agriculture de précision :

L'objectif de l'agriculture de précision est de gérer les terres agricoles en tenant compte de leur non-homogénéité, due aux caractéristiques du sol, du relief et de la présence de mauvaises herbes. L'idée principale de l'agriculture de précision est de vouloir utiliser de nouvelles techniques, telles que le positionnement GPS, les capteurs, les machines agricoles et les images satellites, ainsi que les petits ordinateurs pour créer des cartes (cartes de rendement, cartes de recommandation, etc.) afin de comprendre et de mieux prendre en compte cette variation à l'intérieur des terres(Dominique 2000)

Le principal objectif de l'agriculture intelligente est d'accroître la productivité et les revenus agricoles, elle implique l'utilisation des nouvelles technologies comme le système d'information géographique (SIG), la télédétection spatiale, et l'analyse de données volumineuses associées pour relever ces défis. A travers la surveillance électronique des cultures, ainsi que pour l'environnement, le sol, la fertilisation et conditions d'irrigation (Jayaraman et al, 2016).

L'agriculture de précision vise à gérer les parcelles de la façon la plus saine et optimale possible en combinant les trois axes suivants : agronomique, environnemental et économique. Ainsi, les technologies associées à l'agriculture de précision permettent de détecter l'état du sol ou de la plante et d'intervenir là où c'est nécessaire en utilisant le bon produit, au bon endroit, à la bonne dose et au bon moment (Bélangier et al 2015).

2-2 Les avantages de l'agriculture de précision :

Les avantages de l'agriculture de précision sont nombreux, notamment

- 1-la réduction des coûts de production
- 2- l'optimisation de l'utilisation des ressources (eau, fertilisants, etc.)
- 3- la réduction de l'impact environnemental
- 4-l'amélioration de la qualité et de la quantité des récoltes
- 5-améliorer la rentabilité pour les agriculteurs.

3-les nouvelles technologies en agriculture :

L'agriculture de précision utilise de nouvelles technologies, telles que la robotique, l'intelligence artificielle et les objets connectés, pour améliorer les performances des exploitations. C'est l'un des éléments nécessaires à la transition écologique de notre système agricole et parmi ces nouvelles technologies nous mentionnons données en temps réel et cela est possible grâce à des capteurs embarqués sur les engins agricoles ou sur les drones.

3-1 Les systèmes d'information géographique (SIG) :

Selon **M. DIDIER 1990** « Ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision ».

En fait, le SIG Permet de travailler avec beaucoup de données, quelle que soit leur origine (carte Numérique, imagerie satellite, données GPS ou station spatiale.) , sa structure (vecteur ou en mode raster) et son type (quantitatif ou qualitatif). (Figure 02) (**Lherbier, 2005**).

3-2 Les drones :

Les technologies de l'agriculture de précision, telles que la collecte d'images à l'aide de satellites ou de drones sans pilote, offrent de nombreuses applications dans l'agriculture. Parmi les plus importantes figurent la détection à distance des maladies dans nos champs, la capture d'images des cultures, la cartographie des terres, les tests de sol, la surveillance des niveaux d'eau et le traitement des plantes. (Pierre Luc Lizotte 2019). Ils permettent également

aux agriculteurs de déterminer avec précision les modèles de culture et d'améliorer la santé des cultures, ce qui améliore le rendement tout en préservant les ressources et l'énergie. Ils sont également utilisés pour affiner la fertilisation en détectant les carences en nutriments.

Amélioration de la gestion des pesticides en prévenant et en ciblant le stress biotique.

Contrôle de l'irrigation des cultures en détectant les risques de stress hydrique.

En ce qui concerne les nouvelles technologies, outre la télédétection, qui utilise des images satellites, le système de positionnement global (GPS) et les capteurs jouent également un rôle important

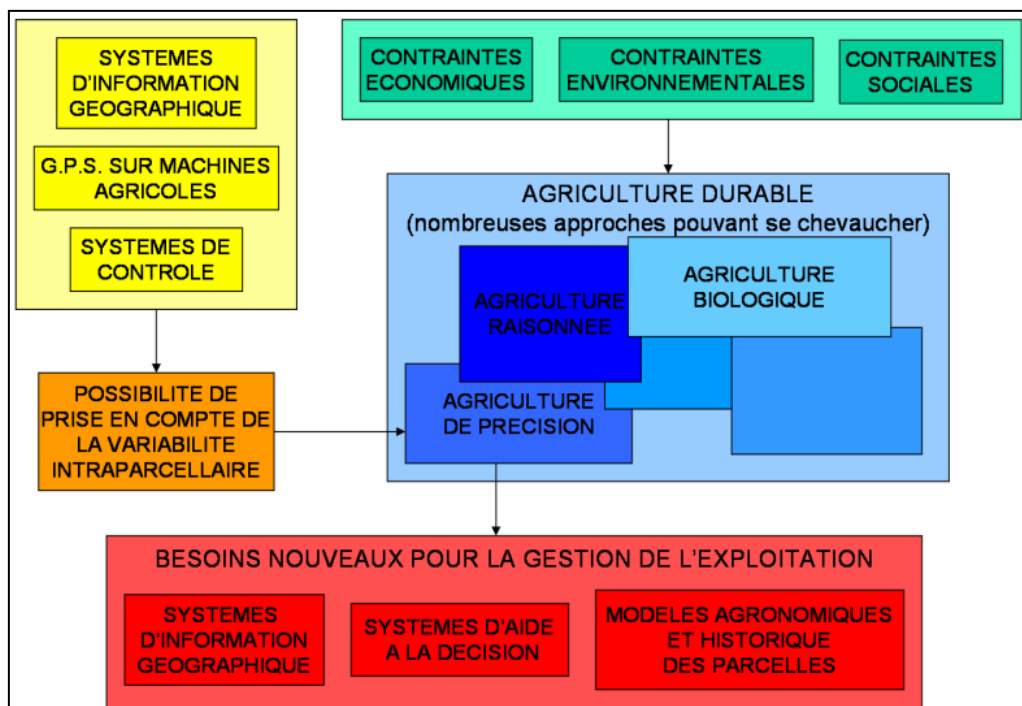


Figure07 : Contexte de l'agriculture de précision. Source : (Lherbier, 2005)

4-Les applications de la télédétection dans l'agriculture:

Les applications de la télédétection dans l'agriculture sont très nombreuses et offrent des avantages considérables. La télédétection permet de surveiller les cultures de manière efficace et à grande échelle. Si cette précision est importante, c'est parce que le secteur agricole n'a cessé de compter sur les avancées technologiques, considérant les technologies numériques comme un moyen d'évoluer vers une agriculture de précision de plus en plus répandue. Grâce à l'utilisation efficace de la télédétection, les agriculteurs peuvent prendre des décisions plus éclairées, améliorer leur production et réduire les pertes. (Jean2017)

4-1 Cartographie des cultures :

Pour la production et la cartographie des cultures, les systèmes d'information géographique sont complétés par des systèmes de localisation par satellites GPS. Cela permet aux agriculteurs de mieux comprendre leur environnement et de planifier leur production. De plus, cela permet de générer des cartes de couverture terrestre qui peuvent être utilisées pour identifier les cultures dans une zone donnée, ainsi que pour cartographier et délimiter les champs agricoles. Cela facilite la coopération environnementale, l'étude du terrain et la préservation des savoirs traditionnels en Afrique. (Federica, 2012)

4-2 Détection des maladies et des ravageurs :

Les maladies transmises par des vecteurs et liées aux facteurs environnementaux affectent la majeure partie de la planète et constituent une source de préoccupation majeure à l'échelle mondiale. La science et la technologie associées à la détection à distance et aux systèmes d'information géographique peuvent nous aider à identifier ces facteurs environnementaux liés aux maladies (S.Kaya 2004)

Les images satellites peuvent être utilisées pour détecter les maladies et les ravageurs des cultures dans différents domaines tels que l'agriculture, la santé publique et la surveillance de l'environnement.

Détection des maladies des cultures :

Utilisation d'images satellites pour surveiller l'état de santé des cultures, détecter la présence de maladies et évaluer le stress.

Surveillance de l'environnement et de la santé publique :

Les images satellites peuvent découvrir les facteurs environnementaux susceptibles d'affecter la santé publique, et ces informations peuvent aider les autorités à prendre des mesures de protection

4-3 Surveillance de la croissance des cultures :

La télédétection peut être utilisée pour suivre la croissance des cultures au fil du temps. En mesurant la réflexion de la lumière solaire à différentes longueurs d'onde, les capteurs peuvent détecter les changements dans la végétation et fournir des informations sur les conditions des cultures.

4-4 La gestion de l'eau :

La télédétection permet de surveiller les ressources en eau, d'identifier les zones de stress hydrique et d'améliorer l'irrigation. Cela se fait à l'aide d'images satellites, par exemple: des images satellites de Sentinelle-1 parce qu'il est sensible à l'eau.

Il peut également aider avec

- Cartographie précise, en particulier pour les zones d'eau.
- Surveiller, étudier et protéger les eaux des mers, des rivières et des océans contre la pollution.
- Détection des zones où l'on s'attend à des inondations.
- Exploration de puits d'eau souterraine.
- Surveillance des cours d'eau et de leurs mouvements.

4-5 La gestion des nutriments :

La télédétection joue un rôle important dans la surveillance des niveaux et des quantités d'éléments nutritifs du sol et dans l'amélioration de la fertilisation .Et il joue également plusieurs rôles, notamment

- Classez le sol selon ses types et étudiez-le de près.
- Préparation de cartes du climat du sol.
- Améliorer le sol en l'étudiant et en le préservant.
- Surveiller et contrôler le territoire et prendre les mesures préventives nécessaires pour éviter l'assèchement du sol et des petits plans d'eau.

4-6 le pilotage des cultures :

La télédétection est utilisée pour gérer les cultures afin de mesurer les caractéristiques optiques spécifiques de la végétation afin de calculer les propriétés bénéfiques lorsque l'élaboration de la carte de mesure nécessite de tenir compte de longueurs de culture spécifiques, d'obtenir des données du sol, d'effectuer un traitement géométrique et d'appliquer les directives de prise de décision appropriées. (B.OUMAIMA et D.RAYANE 2020)

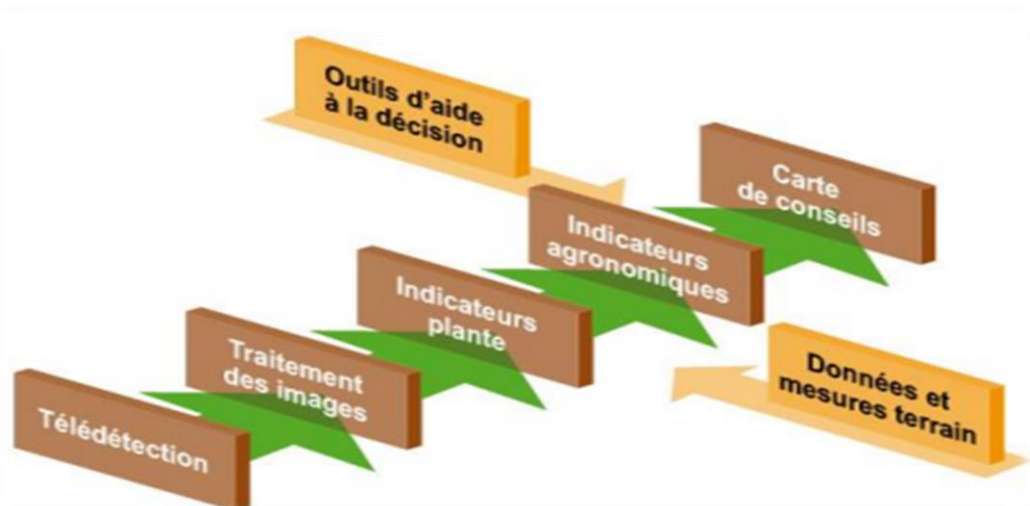


Figure 08: Application de la télédétection pour le pilotage des cultures. (BEAPI, 2016)

Il existe également de nombreuses utilisations de la télédétection, par exemple.

- Divulgarion de la quantité prévue de cultures agricoles.

- Détection des maladies et des ravageurs qui affectent les cultures.
- Élaborer des politiques spéciales pour protéger les zones agricoles de la pollution.
- Suivi et réduction du phénomène de désertification.
- Suivi des forêts, et détection des incendies dès qu'ils se déclarent.

CHAPITRE IV :
PRÉSENTATION DE
LA ZONE D'ÉTUDE

1-Contexte générale

L'objectif de cette étude est l'estimation et le suivi de stress hydrique des cultures céréalières par télédétection dans la région de Tiaret, et dans le cadre de cette étude la wilaya de Tiaret a été choisie car c'est que la wilaya de Tiaret est une région agricole et la production agricole dans cette région se concentre principalement sur les cultures céréalières, et il a pris une place parmi les premiers rangs ces dernières années, notamment en 2022, où la production a atteint un million de quintaux. Et les céréales les plus importantes cultivées dans cette région (blé dur, blé tendre, orge, avoine, Triticale).

La Wilaya de Tiaret, située dans le Nord-Ouest de l'Algérie (220km) à l'Ouest de la capitale Alger (182km) à l'Est de Oran.

La Wilaya de Tiaret s'étend sur une superficie de (201112,52Km²), Elle délimitée

- au Nord par les Wilayas de Tissemsilt et Relizane
- au Sud par les Wilayas de EL-bayadh et Laghouat
- A l'Est par la Wilaya de Djelfa
- à l'Ouest par les Wilayas de Mascara et Saïda

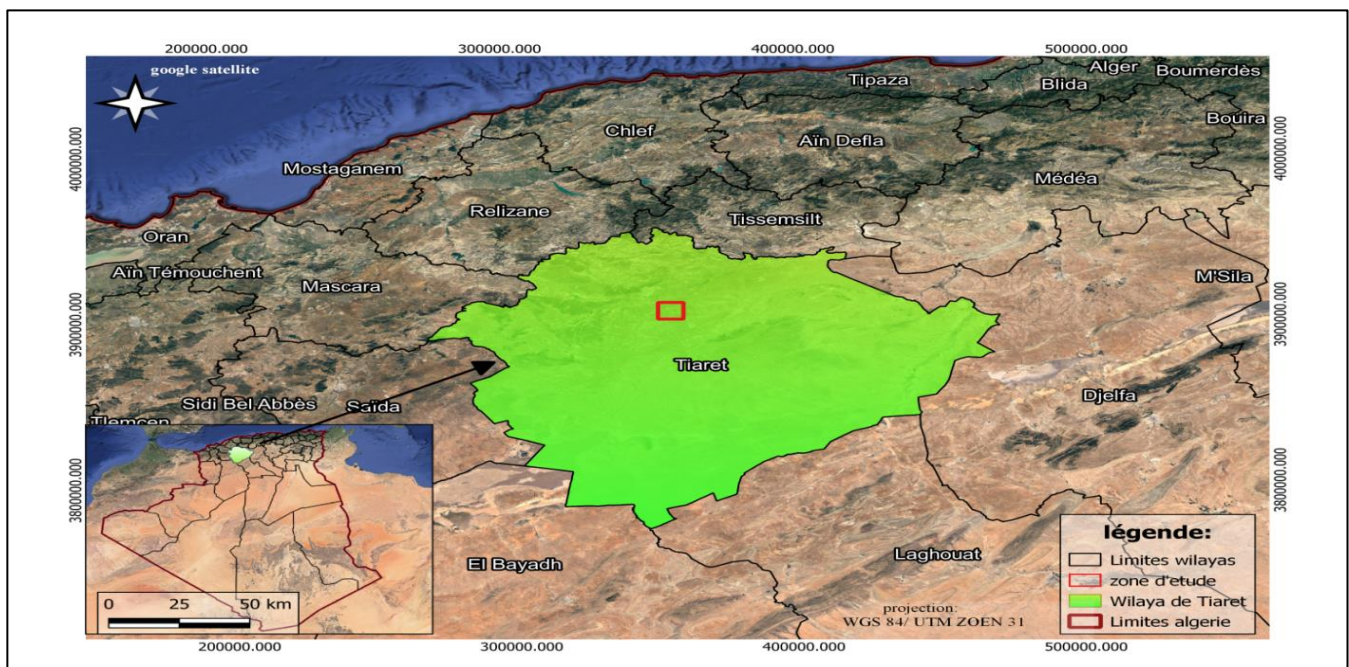


Figure 09 : Carte de situation de la wilaya de Tiaret (zone d'étude)

Dans ce travail nous avons travaillé sur la zone de sougueur à Tiaret

2-La situation géographique de la zone d'étude :

Sougueur est une ville située a 25km du chef lieu de la wilaya de Tiaret, et a 270 km de la capitale Alger, considéré comme le plus grand daira de la wilaya, avec une superficie de plus de 257km² et une population de 180000 habitante.

2-1Les coordonnées géographiques de la commune de Sougueur

-latitude : 35°11'08 nord

-longitude : 1°29'46 Est

-l'altitude par rapport au niveau de la mer : 1133m

2-2Les limites de sougueur :

-Au nord par la commun de Bouchakif (19,2 km)

-Au nord-ouest par la commune de mellakou (25km)

- A l'est par la commune de si- Abdelghani (13,9km)

-Au sud par la commune de Naima (10,5km)

-à l'ouest par la commune de Tousna (20km).

3-Production végétale :

La surface agricole totale de la commune occupe 24039 ha ; et la surface agricole utile par la ferme pilote cherrif- eddine (1168 ha)

Les cultures pratiquées au niveau de la commune de sougueur, sont les cultures fourragères et la céréaliculture s'élargirent sur une grande superficie de la surface agricole utilisée.

4-Occupation de sol :

L'occupation du sol est pour la FAO « la couverture physique de la surface des terres émergées » et donc le type d'usage fait des terres par l'Homme. La mosaïque paysagère est cartographiée en identifiant les types homogènes de milieux.

La carte suivante (figure 10) représente toute les type d'occupation de sol dans la wilaya de Tiaret . nous remarquons que le type prédominant est les terre agricole .

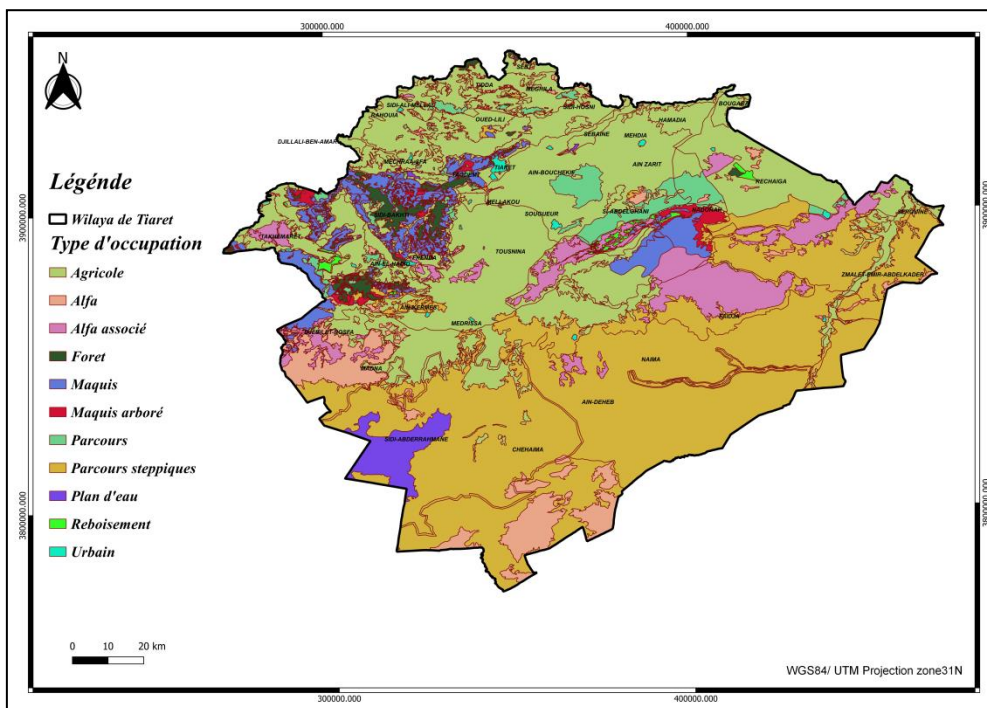


Figure 10 : carte d'occupation de sol de tiaret

5-Le climat :

Tiaret se situe entre 950 et 1150 m d'altitude, son climat est caractérisé par deux périodes: un hiver froid et rigoureux avec une température comprise entre $[0,7-12,7 \cdot C]$ et un été chaud et sec avec une température comprise entre $[13,5-36,2 \cdot C]$, avec une température moyenne de $15,9 \cdot C$. En période normale, la wilaya de Tiaret reçoit 300 à 400 mm de précipitations par an, avec une fluctuation saisonnière des précipitations allant de 157 mm en hiver à 31 mm en hiver. (ACHIR et Hellal 2016)

Dans la classification des climats, les facteurs essentiels considérés sont : la température, les précipitations, le nombre de jours de pluie, l'état hygrométrique, le brouillard et la rosée.

Ces données météorologiques ne sont pas toujours utilisées isolément. Elles sont combinées entre elles de façon à faire apparaître les périodes ayant une influence (favorable ou défavorable) (ACHIR 2016) .

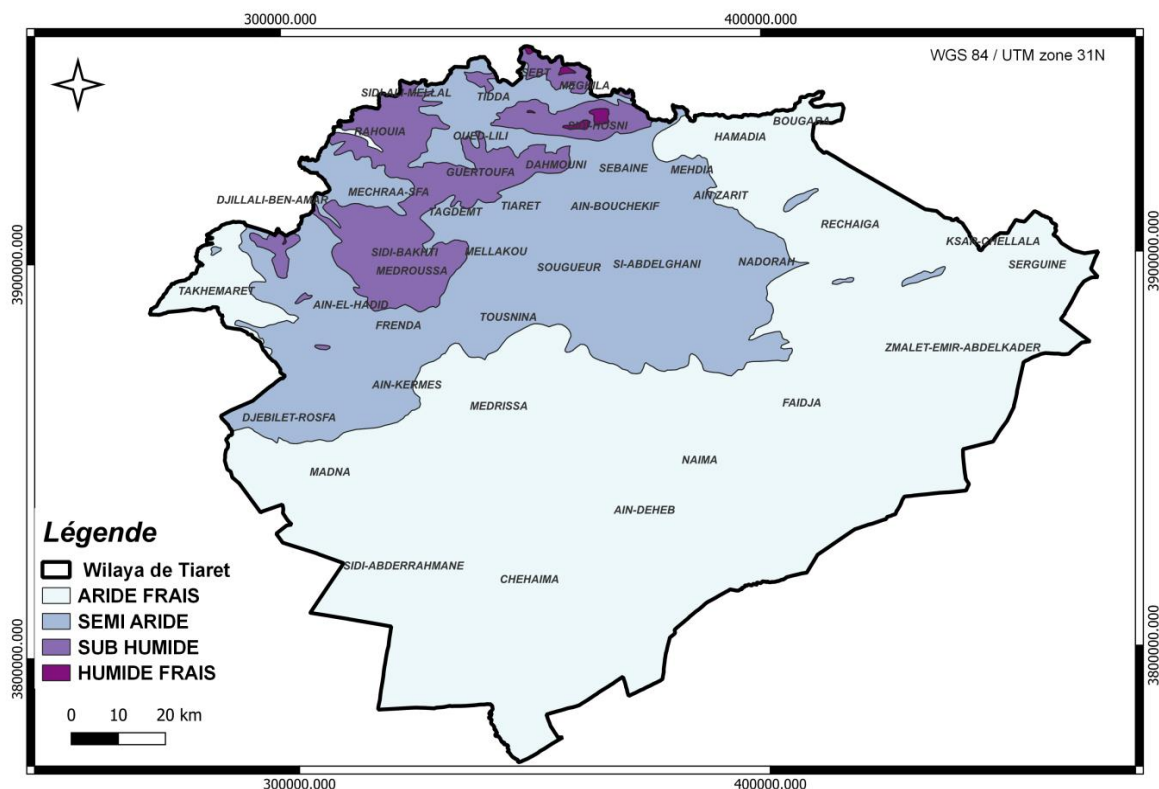


Figure 11: Carte de climat de la wilaya de Tiaret

5-1 Précipitation :

Les précipitations ont été identifiées par DJEBALLI 1978 comme le principal déterminant du type de climat. En fait, il influence à la fois la distribution et l'entretien de la couverture végétale et l'érosion la destruction de l'environnement naturel.

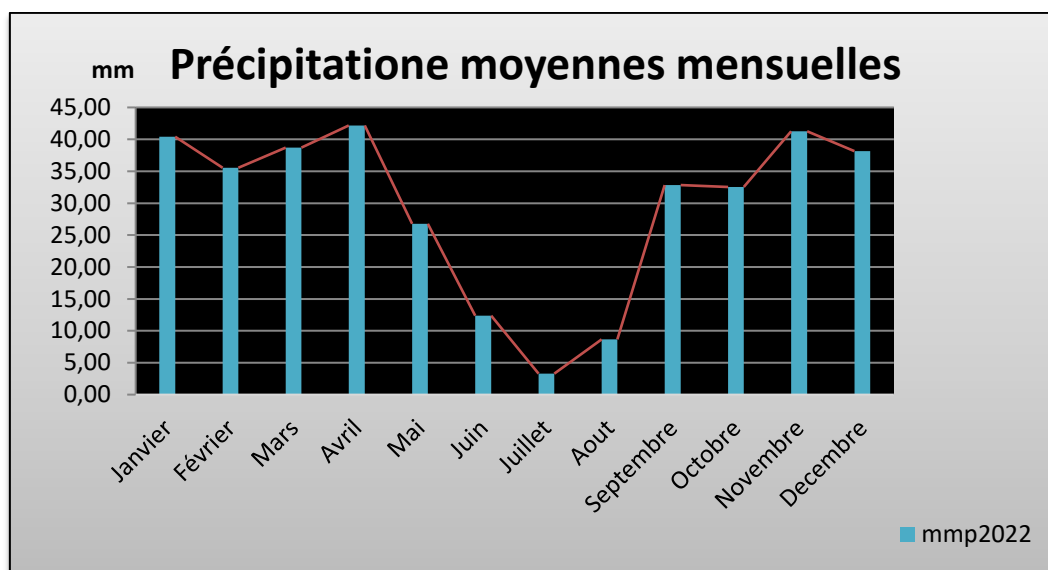


Figure 12 : précipitation moyennes mensuelles de la période (1987-2022)

Le graphique montre probablement les précipitations moyennes mensuelles en millimètres (mm) pour la région de Tiaret de 1987 à 2022. L'axe des x du graphique représente les mois de l'année, alors que l'axe des y représente les valeurs des précipitations en millimètres.

La région connaît une saison humide d'octobre à avril et une saison sèche de mai à septembre.

les mois sont susceptibles de faire partie de la saison sèche et de connaître moins de précipitations. Dans l'ensemble, le graphique montre la variation saisonnière des précipitations dans la région de Tiaret, avec mois plus humides en saison humide et mois plus secs en saison sèche. Le graphique montre également une certaine variation au cours de chaque saison, reflétant les tendances climatiques et météorologiques de la région.

5-2 Température :

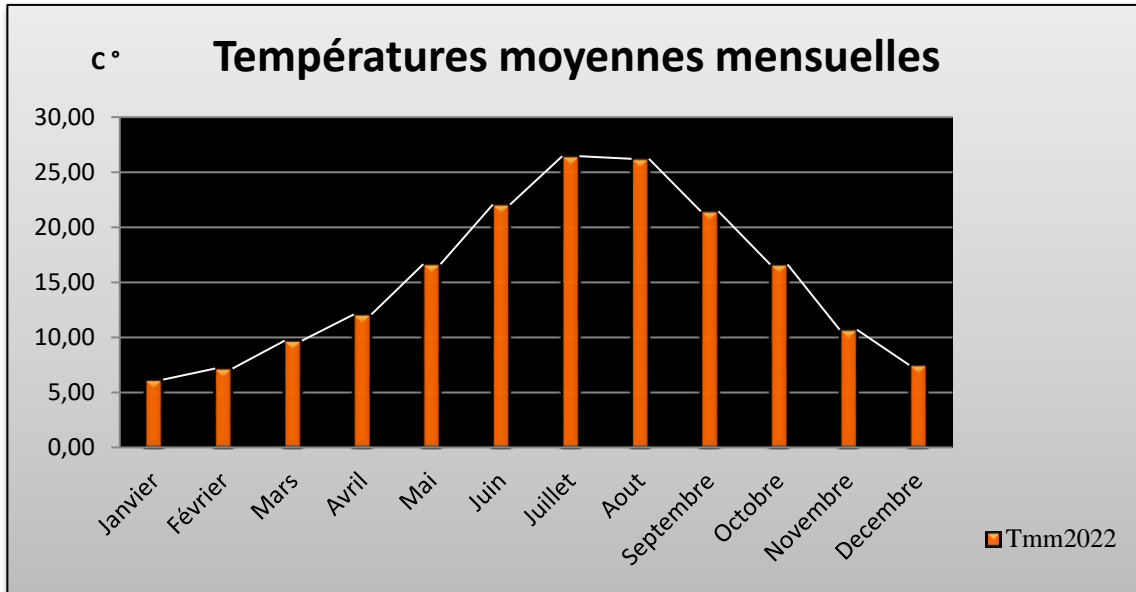


Figure 13 : Températures moyennes mensuelles de la période (1987-2022)

Le graphe est représenté la températures moyennes mensuelles en degrés Celsius (°C) pour la région de Tiaret de période de 1987 à 2022. L'axe des x du graphique représente les mois de l'année, tandis que L'axe des ordonnées représente les valeurs de température en degrés Celsius.

Le graphique montre une augmentation graduelle de la température de janvier à juillet, avec le plus chaud mois étant juillet et août. Les températures diminuent ensuite progressivement de septembre à Décembre, les mois les plus froids étant décembre et janvier.

Le graphique montre également une certaine variation de température au cours de chaque saison, avec un peu plus frais températures au début et à la fin de chaque saison.

Globalement, le graphique montre les variations saisonnières de température dans la région de Tiaret tout au long de l'année, avec des températures plus froides en hiver et des températures plus chaudes l'été. Le graphique montre également une certaine variation au cours de chaque saison, reflétant le climat et les conditions météorologiques de la région.

5-3Diagramme Ombrothermique de gaussin :

La définition du mois sec est celle où le total des moyennes des précipitations en mm égal ou inférieur au double de la moyenne mensuelle des températures $(M+m) / 2$ (en °c), $p \leq 2t$. (Bagnouls et Gausсен ,1954)

La détermination de la période sèche est déduite directement de la courbe Ombrothermique : elle est de l'ordre de la période de 1987-2022 de débute de juin à débute de septembre.

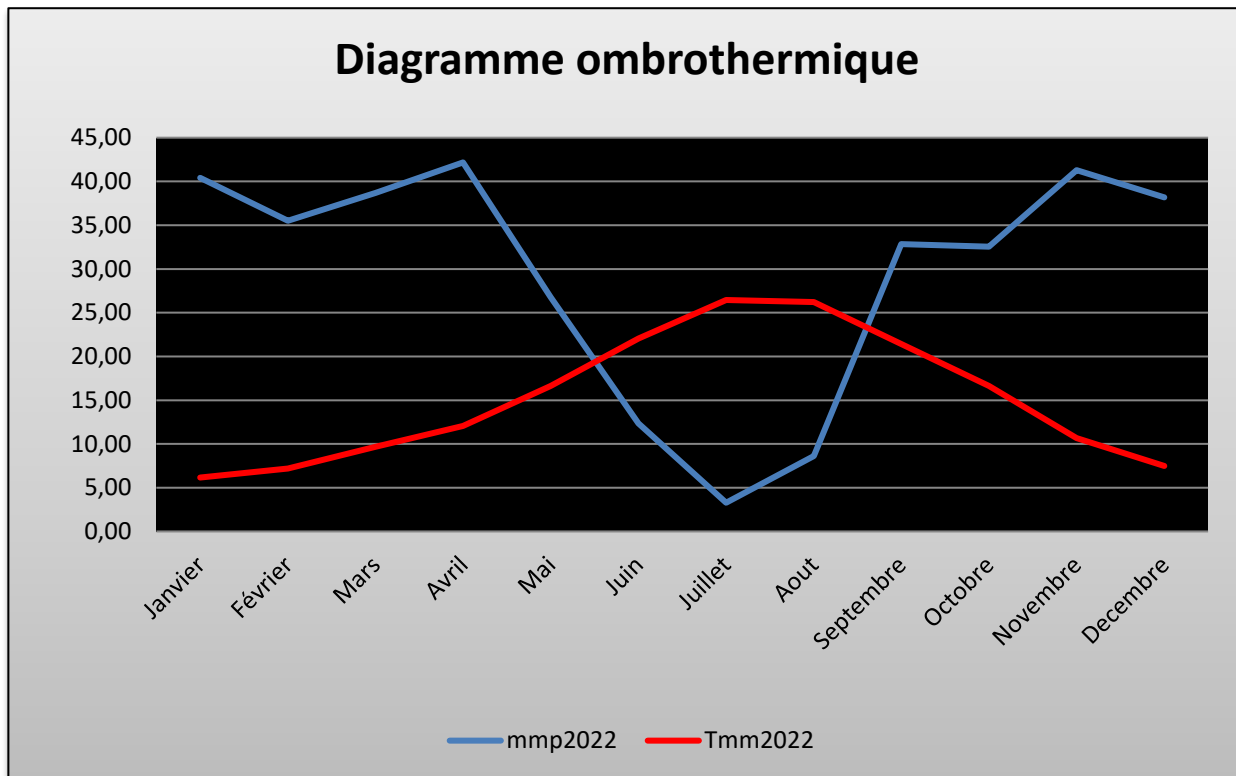


Figure 14 : Diagramme ombrothermique pour la période de (1987-2022)

5-4 Quotient et climagramme D'EMBERGER :

Emberger (1930 et 1955) a établi un quotient pluviométrique le « Q2 » qui est nécessaire pour déterminer l'étage bioclimatique d'une région, elle est spécifique au climat méditerranéen C'est le calcul d'indice d'aridité annuelle en tenant compte des précipitations et de la température. Il est le plus utilisé en Afrique du Nord. Ce quotient a été formulé de la façon suivante :

$$Q2 = 2000P/M^2-m^2$$

- Q_2 est égale à (34,87), donc bioclimatique est Semi-aride à hiver frais

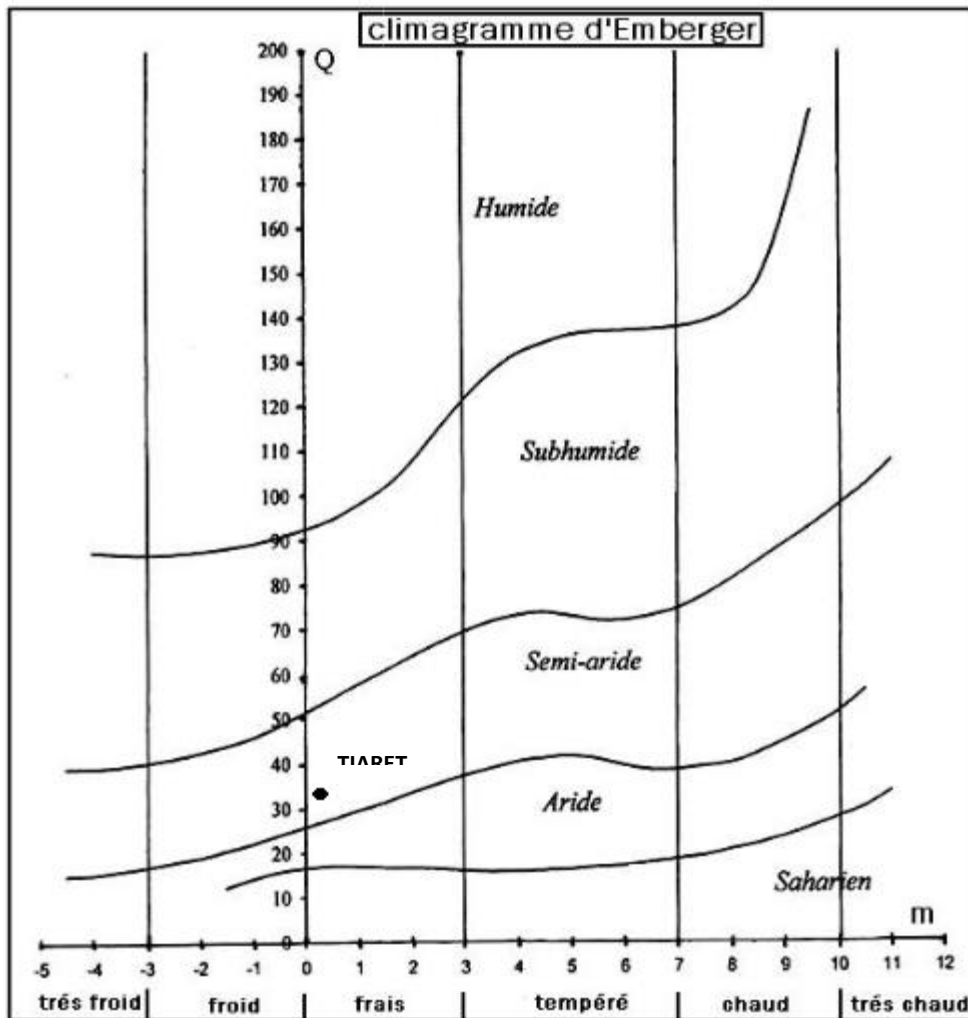


Figure 15 : climagramme d'omberger pour la période de 2018-2023

CHAPITRE V : MATÉRIELS ET MÉTHODES

Étant donné que l'objectif de cette étude est de suivre et de surveiller le stress hydrique par télédétection, une méthodologie basée sur l'exploitation des images satellitaires est adoptée. De plus, un échantillonnage sur terrain est planifié de telle sorte à caractériser le sol et la végétation de différentes cultures dans différentes parcelles. Dans ce sens, la méthodologie mise en place est organisée en deux phases distinctes.

1-Echantillonnage et choix des prélèvements :

1-1Sol :

Avant de commencer l'échantillonnage, nous devons examiner le terrain du point de vue de son uniformité (ex. l'uniformité de son niveau, genre de sol, de végétation, amendements appliqués, etc.). Il faut les prélever dans les mêmes conditions physiques (t°, humidité) et toujours le même jour (Dari, 2013).

L'échantillon doit représenter le mieux possible le sol de la parcelle. Cela n'est pas facile mais nécessaire pour que les résultats soient corrects. Et pour le type d'échantillonnage, on a choisi l'échantillonnage subjectif, c'est la plus simple d'échantillonnages, échantillon qui semble représentatif. On a réalisé le prélèvement sur deux parcelles différentes et prélevé 14 points dans la parcelle de blé dur et 15 points dans la parcelle de blé tendre, le total de points est 31 pour les deux parcelles. Pour chaque type de parcelle, le prélèvement a été effectué sur une profondeur de 30 cm. Chaque échantillon est clairement identifié par une référence apposée sur l'étiquette du sachet lui-même.

1-2 les plantes :

Pour prélever des échantillons des plantes, nous avons suivi la même méthode que pour prélever des échantillons de sol, c'est-à-dire une méthode d'échantillonnage subjectif. Nous avons prélevé un échantillon de sol et un échantillon de la plante à partir du même point dans chaque parcelle, ou nous avons prélevé 14 échantillons de blé dur et 15 de blé tendre, ainsi que des valeurs de NDVI. On a utilisé le Green Seeker. La plante était à l'étape de tallage au moment du prélèvement, et après cela, nous l'avons mise dans des sacs en plastique pour la conserver. Ensuite, nous l'avons immédiatement emmenée au laboratoire pour prendre des photos.

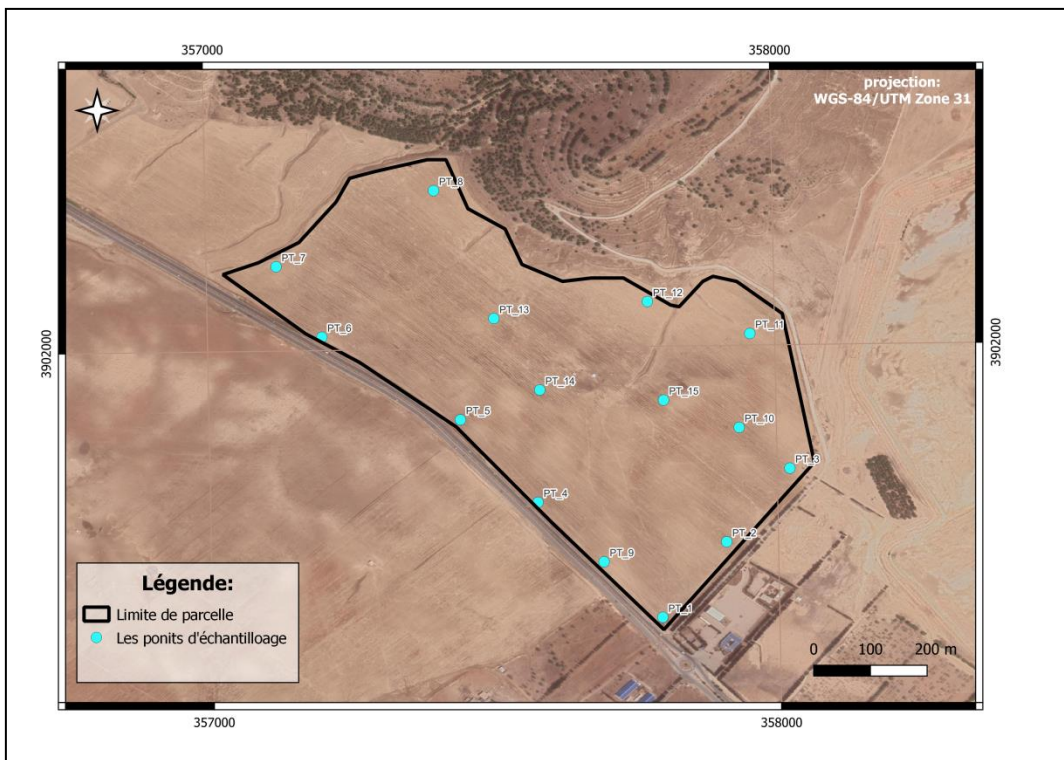


Figure16: points de prélèvement du sol et des plantes de blé tendre

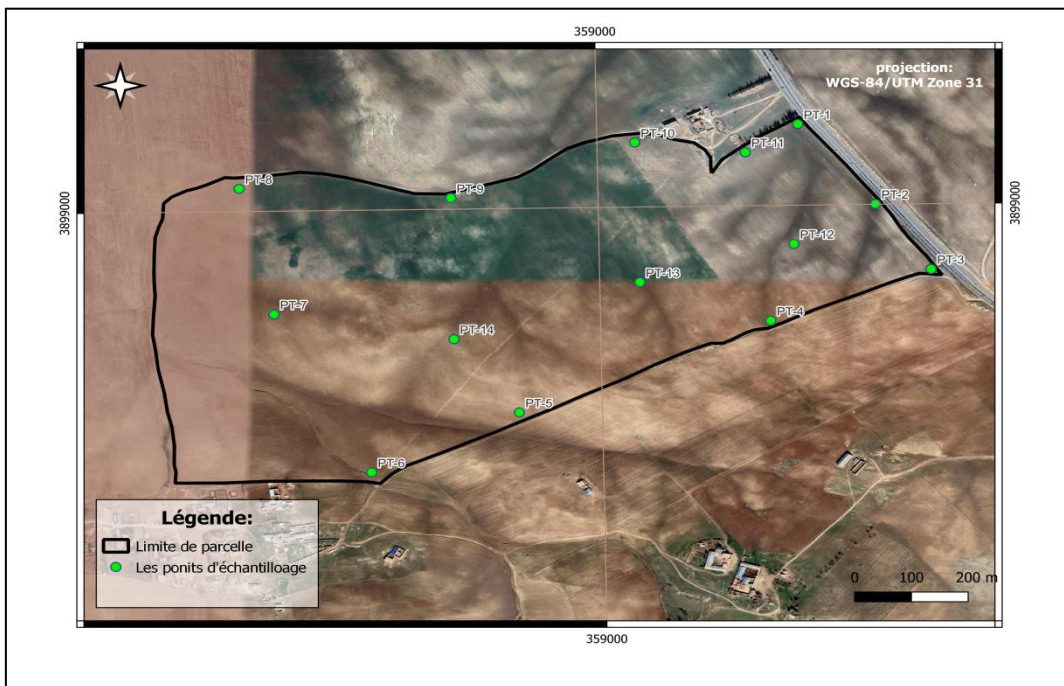


Figure 17 : points de prélèvement du sol et des plantes de blé dur

2-Méthodes : Le protocole expérimental pour les échantillons du sol et des plantes , est représenté dans la figure suivent.

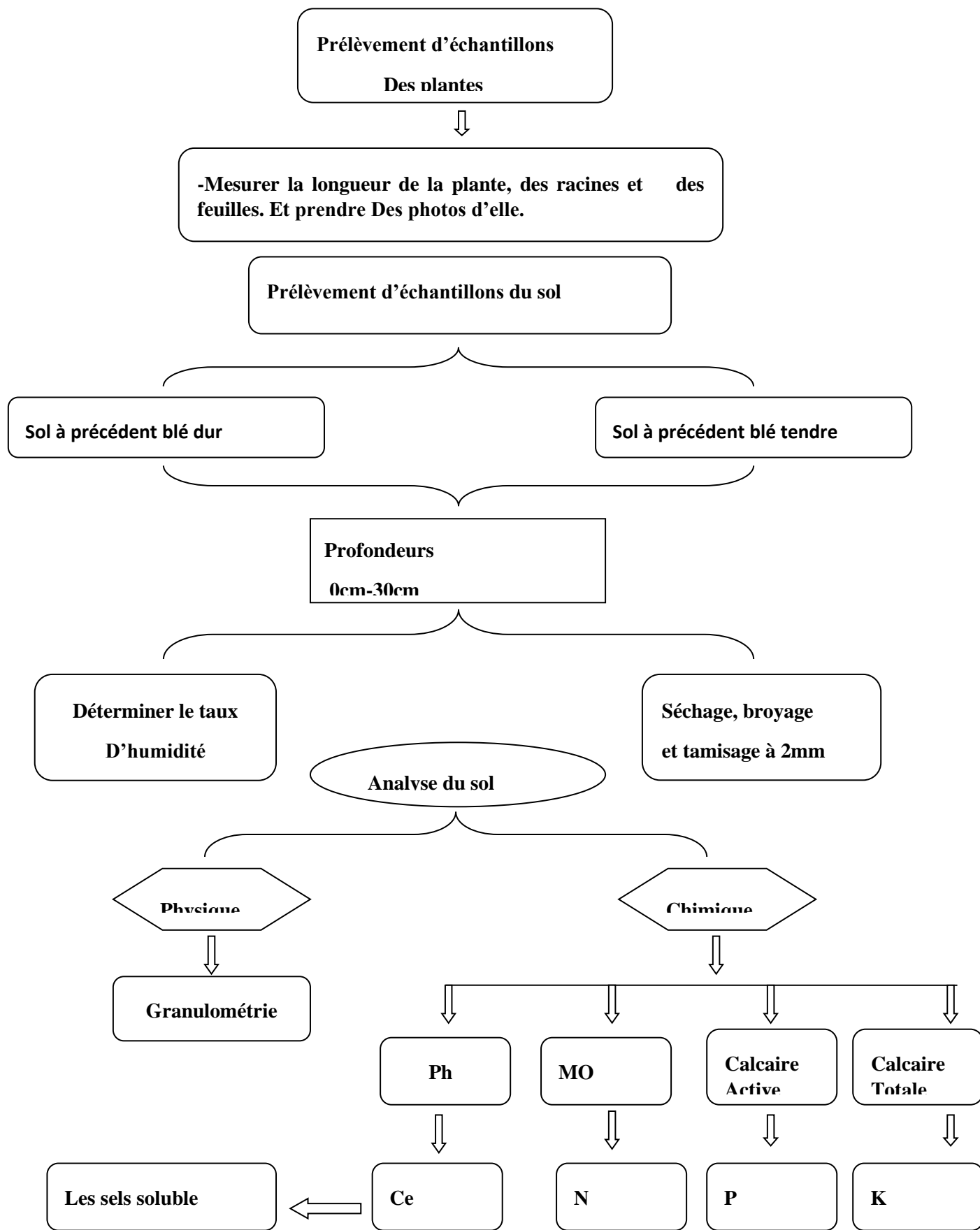


Figure 18 : Le protocole expérimental

3- Préparation des échantillons du plants :

3-1 prendre des photos : Après que les échantillons ont été apportés au laboratoire, nous avons pris des photos de la plante et des feuilles comme indiqué dans le figure 19 .



Figure 19 : les plante de blé dur (cliche ZIANI 14/03/2023)

3-2 utilisations de Grenneseeker : Le Green Seeker fonctionne en scannant les cultures à différents stades de croissance et en mesurant la quantité de lumière réfléchié par les plantes. Les plantes en bonne santé ont une capacité élevée à absorber la lumière, tandis que les plantes stressées ou malades réfléchissent davantage la lumière. En utilisant ces informations, le Green Seeker peut calculer un indice de vigueur des cultures.



Figure 20 : green seeker (cliche ZIANI 14/03/2023)

4 -Préparation des échantillons du sol :

4-1 Séchage :

Les échantillons de sol ont été placés dans des conteneurs et laissés sécher pendant une nuit à l'air libre.



Figure 21: Séchage des échantillons de sol (Cliche ZIANI 23/03/2023)

4-2 Broyage et tamisage

Les spécimens ont été broyés avec un pilon, puis tamisés avec un diamètre de 2 mm. Les échantillons de sol fins sont conservés dans des sacs pour diverses analyses de sol.



Figure 22: broyage et tamisage des échantillons (Cliche ZIANI 24/03/2023).

4-3 Analyses physiques

4.3.1. Taux d'humidité :

L'humidité du sol est le facteur prioritaire du rendement. La première amélioration à apporter est donc l'irrigation ou le drainage, ou quelquefois les deux (Guet, 2003).

L'humidité du sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol (Musy et Higy, 2004).

❖ Principe

C'est la perte de poids après séchage à 105°C exprimée en pourcentage (ou en pour mille) par rapport à la terre séchée à l'air % (Dari, 2013).



Figure 23: Echantillons de sol pesés et séchés à l'étuve (Cliche ZIANI 16/03/2023)..

4.3.2. Analyse granulométrique :

Cette analyse a été réalisée pour comprendre la texture du sol dans la zone d'étude.

❖ Principe

La texture d'un sol est révélée par son analyse granulométrique dont le principe est basé sur la vitesse de sédimentation des particules séparées et dispersées par destruction de la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée. Le fractionnement de ces particules se fait par l'intermédiaire de la pipette de Robinson qui permet la détermination des fractions argileuses et limoneuses fines. Ensuite, les sables fins et grossiers sont mesurés par tamisage (Benfardia et Chenine, 2014).



Figure 24: Analyse granulométrique par la méthode de la pipette de Robinson (Cliche ZIANI 19/03/2023)..

4.4. Analyses chimiques :

Nous avons effectué cette analyse pour déterminer si le sol est acide ou basique .

4.4.1. pH

Généralement, pour mesurer le pH, on ajoute de l'eau au substrat dans un rapport volumique donné ; on définit ainsi le pH (H₂O). Dans la pratique des solutions de KCl ou de CaCl₂ peuvent aussi être utilisées pour l'extraction et la mesure de pH (KCl) ou pH (CaCl₂). Comme des réactions d'échange ont lieu entre les cations K⁺ ou Ca⁺ apportés et les ions H⁺ présents sur la capacité d'échange du substrat, il y'aura une quantité d'ions H⁺ plus grande dans la solution à l'équilibre et ainsi le pH sera plus faible. La différence entre les valeurs de pH (H₂O) et pH (KCl) est de l'ordre de 0,5 à 1 unité pH. Il est donc nécessaire de faire suivre l'indication pH par H₂O ou KCl. La connaissance du pH est intéressante pour la conduite de la fertilisation et la satisfaction des exigences des plantes (Lemaire et al., 2003).

❖ Principe

Le pH du sol est mesuré dans un rapport sol/solution = 1/2.5. Une première mesure est faite avec de l'eau déminéralisée. La seconde est effectuée avec une solution molaire de chlorure de potassium (PETARD, 1993). (Voir le protocole dans l'annexe).

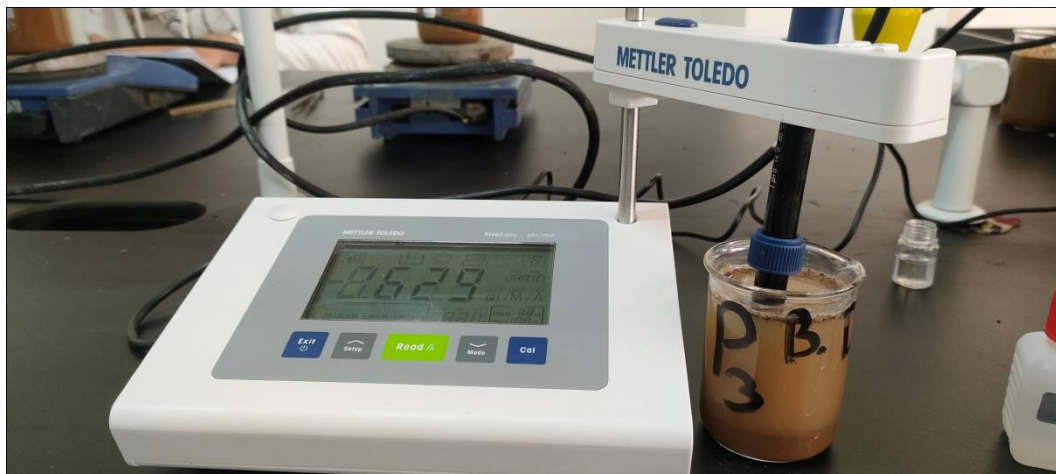


Figure 25: Mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre (Cliche ZIANI 15/03/2023)

4.4.2. Conductivité électrique :

La phase liquide du sol est une solution contenant divers ions qui confèrent au sol une certaine conductivité électrique. Elle dépend également des minéraux et des constituants organiques qui ont plutôt des propriétés isolantes. D'une façon générale, la conductivité électrique d'un matériau terreux dépend de sa composition, de sa structure, et de sa teneur en eau (Calvet, 2003).

❖ Principe

La détermination de la salinité d'un sol est fondée sur le principe de l'extraction d'un électrolyte dont on mesure la concentration en éléments dissous. Au laboratoire, l'électrolyte est extrait sous vide à partir d'un échantillon de sol préalablement séché à l'air, tamisé à 2 mm et porté à une teneur en eau donnée, celle-ci variant selon le mode de préparation de l'extrait. Une des techniques d'extraction couramment utilisée est l'extrait dilué : le rapport entre la quantité de sol et la quantité d'eau peut varier selon les laboratoires, mais il est en général de 1/5 : la masse d'eau ajoutée est égale à 5 fois la masse de sol (10g), soit un volume d'eau d'environ 50ml (Montoroi, 1997). (Voir le protocole dans l'annexe).

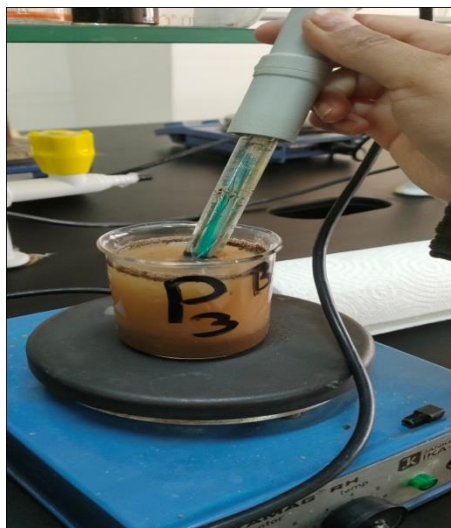


Figure 26 : Mesure de la conductivité électrique du sol par le conductimètre (Cliche ZIANI 15/03/2023)..

4.4.3. Calcaire total

Le calcaire est du carbonate de calcium ; il se présente sous la forme de particules plus ou moins grosses ; du point de vue purement granulométrique ces particules sont 32



analogues aux autres grains de sable mais du point de vue chimique elles sont différentes. En effet, les plus fines et les plus poreuses d'entre elles peuvent libérer du calcium qui tend à neutraliser les acides et donc à rendre les terres plus basiques (Pousset, 2002).

❖ Principe

Le calcaire total a été déterminé par la méthode volumétrique à l'aide du Calcimètre de Bernard. L'échantillon est attaqué à l' HCl 37%, on mesure le volume de CO₂ dégagé ; un mol de CO₂ correspondant à un mol de CaCO₃. Le CO₂ dégagé est comparé à celui obtenu par le poids connu de carbonate de calcium pur (Bedjadj, 2011). (Voir le protocole dans l'annexe).

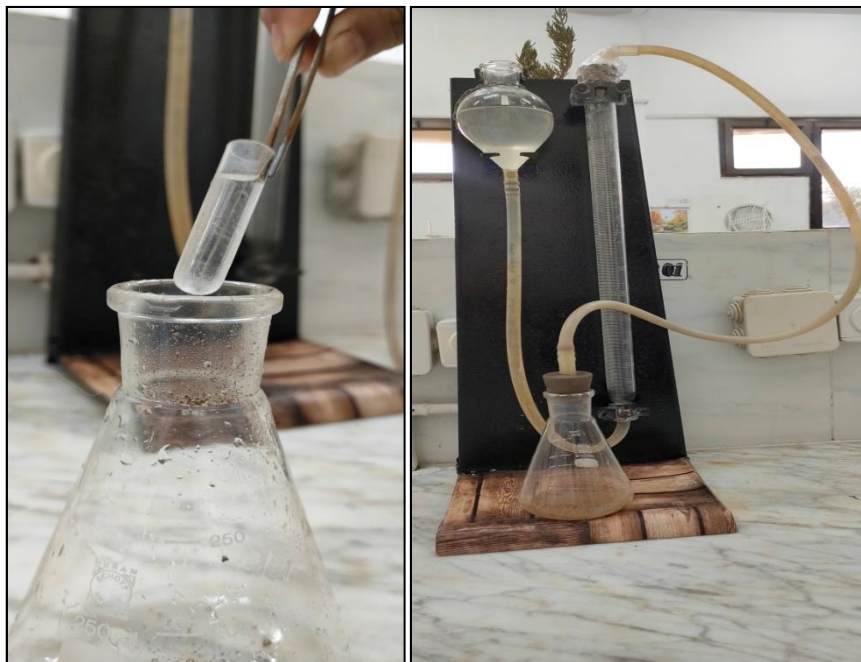


Figure 27: Mesure du calcaire total par le calcimètre de Bernard (Cliche ZIANI 05/04/2023).

4.4.4. Calcaire actif

La fraction de calcaire d'un sol capable de libérer assez facilement du calcium est appelée calcaire actif. Notez bien que le lien entre calcaire total et calcaire actif n'est pas automatique : une terre peut être riche en calcaire total et relativement pauvre en calcaire actif. L'excès de calcaire actif nuit à certaines plantes (par exemple aux arbres fruitiers), mais une présence modérée de calcaire actif améliore la solidité du complexe argilo-humique et donc la stabilité de la structure (Pousset, 2002).

❖ Principe

Le CaCO_3 actif (%) est déterminé par la méthode Drouineau - Gallet en utilisant l'oxalate d'ammonium qui se combine au calcium du calcaire facile à dissoudre (calcaire actif) pour former des oxalates de calcium insolubles. L'excès d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique (Benseghir, 2006). (Voir le protocole dans l'annexe)

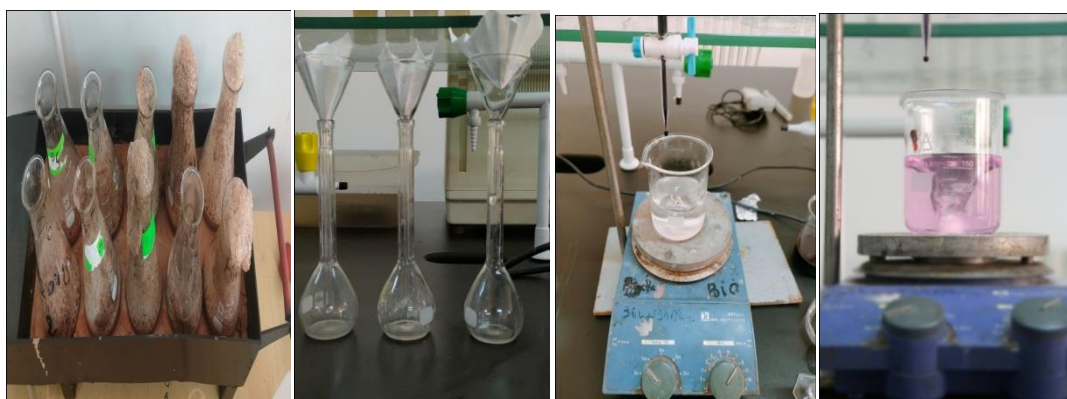


Figure 28 : Dosage du calcaire actif (Cliche ZIANI 23/03/2023).

4.4.5. Dosage du carbone organique

❖ Principe

Le carbone organique est dosé par la méthode ANNE II e carbone organique d'une prise d'essai est oxydé par du bichromate de potassium en excès, en milieu sulfurique, l'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de Mohr qui réduit le bicarbonate en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert. (Dari, 2013). (Voir le protocole dans l'annexe).

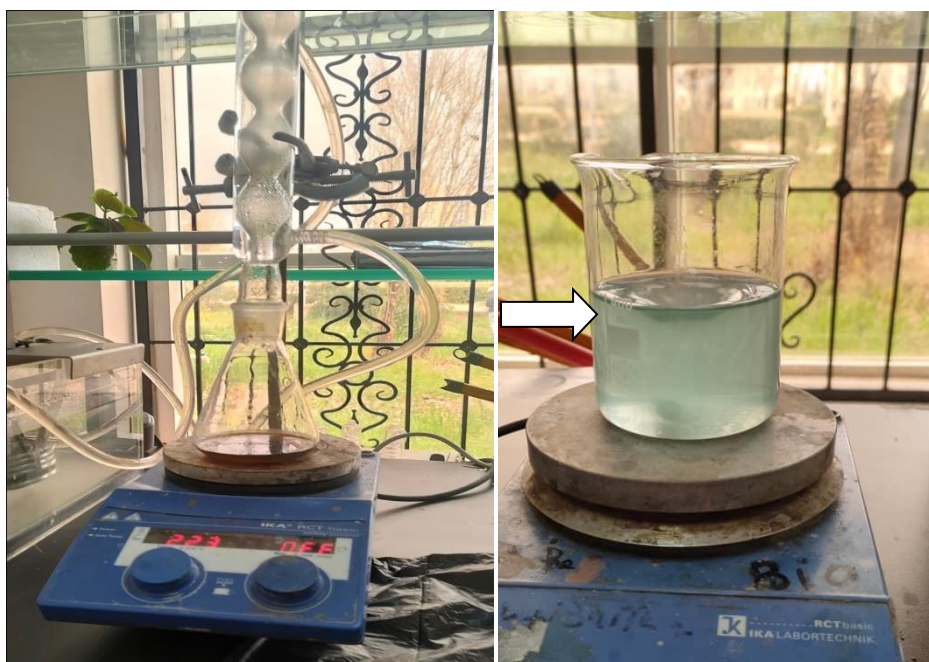


Figure 29: Dosage du carbone organique (Cliche ZIANI 26/03/2023).

4.4.6. Sels solubles

❖ Principe

Le dosage de la salinisation des sols est un processus anthropogénique, alors que la salinité du sol est un élément naturel et un facteur écologique constitué par la teneur en sel (Na Cl : représente un facteur limitant de première importance car, au-delà d'environ 5 pour 1 000, il interdit le développement des plantes) des eaux ou des sols. C'est un facteur limitant de nombreux écosystèmes .L'excès de sel dans le sols

em pêche le développement d'une végétation normale, seules quelques plantes halophiles pouvant y croître. À l'opposé, la carence en sel des sols peut entraver le développement de certaines populations animales. On a ainsi pu mettre en évidence que la déficience en chlorure de sodium édaphique s'accompagnait de très faibles densités de population de campagnols dans les prairies naturelles (**Ramade2008**).

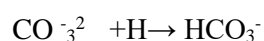


Figure 30 : préparation de la pâte saturée (Cliche ZIANI 28/03/2023).

4-4-6-1 Dosages des carbonates et bicarbonates :

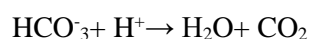
❖ Principe

Lorsque le pH de la pâte saturée est supérieur à 8,4, on est en présence probable d'ions carbonates. En dosant l'échantillon avec une solution acide jusqu'à pH = 8,4, on convertit l'ion carbonate en bicarbonate :



La quantité d'acide nécessaire au dosage (sachant que CO_3^{2-} se comporte comme une dibase faible) correspond à la quantité de carbonates totaux présents au départ.

Si on poursuit le dosage, HCO_3^- réagit à son tour avec l'acide pour donner



Les carbonates et les bicarbonates sont dosés sur la même aliquote. Ainsi à partir de la solution dans laquelle on a dosé les carbonates et qui se trouve à pH=8,4, on neutralise par une solution acide jusqu'à pH =4,0 contrôlé au pH mètre, où tous les bicarbonates sont neutralisés.

Dans les extraits de saturation des sols salés, les quantités de carbonates et de bicarbonates présents ne nécessitent pas en général une dilution. On procède donc sur une aliquote sans dilution.

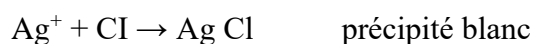


Figure 31: Dosage des carbonates et bicarbonates (Cliche ZIANI11/04/2023).

4-4-6-2 Dosage des chlorures :

Principe :

L'ion argent va réagir préférentiellement avec l'ion chlorure et précipiter sous forme de chlorure d'argent :



Lorsque tous les chlorures ont été précipités. L'argent va réagir avec l'ion chromate et former un précipité rouge qui marque la fin de la réaction.

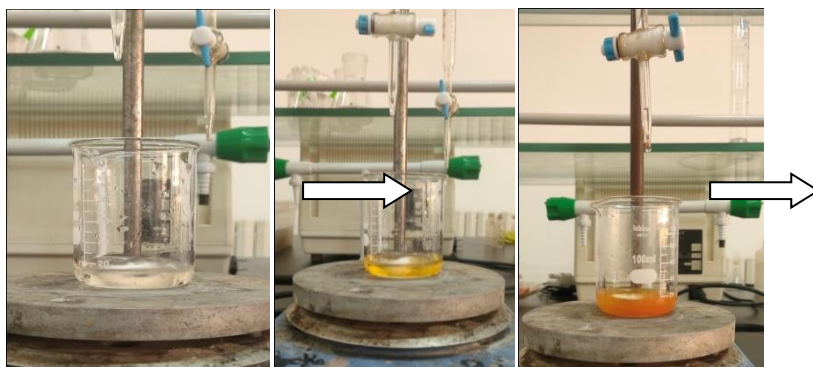
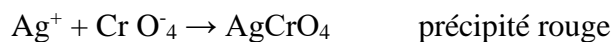


Figure 32 : Dosage des chlorures (cliche ZIANI 10/04/2023)

4-4-7 NPK :

Le capteur NPK, également connu sous le nom de capteur de nutriments NPK, est un dispositif utilisé pour mesurer les niveaux de trois éléments nutritifs végétaux essentiels : l'azote (N), le phosphore (P), et le potassium (K), ces trois éléments sont souvent inclus dans les engrais et sont nécessaires à la croissance et au développement des plantes .

Le principe de fonctionnement général d'un capteur NPK repose sur des techniques d'analyse spectrale et de chimie analytique. Voici les étapes typiques utilisées lors de l'utilisation d'un capteur NPK :

Collecte d'échantillons de sol : Des échantillons représentatifs de sol sont prélevés dans la zone d'étude. Plusieurs échantillons sont prélevés à différents endroits pour obtenir une moyenne représentative.

Préparation de l'échantillon : Une quantité de sol est prélevée et de l'eau distillée y est ajoutée, puis elle est mélangée pendant 1 heure. Ensuite, les capteurs NPK sont utilisés individuellement pour mesurer N, P et K en mg/kg.

Mesure spectrale : Un capteur NPK utilise souvent des techniques d'analyse spectrale, telles que l'analyse spectrale en proche infrarouge (NIR), pour mesurer les caractéristiques spectrales de l'échantillon. Ces caractéristiques spectrales sont influencées par les concentrations de N, P et K présentes dans l'échantillon.

Résultats de lecture : Le capteur fournira des mesures des niveaux de N, P et K individuellement dans le sol. Les résultats peuvent être affichés sur un écran intégré au capteur.

L'utilisation d'engrais chimiques NPK doit être équilibrée selon les besoins spécifiques des plantes et les conditions du sol. Une utilisation excessive ou une mauvaise utilisation de ces engrais peut entraîner des problèmes environnementaux tels que la contamination des eaux souterraines par les nitrates. Il est donc recommandé de suivre les instructions d'application et de se familiariser avec les bonnes pratiques agricoles pour une utilisation responsable des engrais.



Figure 33 : les captures NPK (cliche ZIANI 16/03/2023)

5-partie télédétection :

5-1 Image satellitaire :

Nous avons mis en œuvre une méthodologie qui repose sur l'utilisation des données issues de la télédétection. Dans ce sens, une série d'images satellites est utilisée. Les données utilisées pour mener à bien ce travail sont des images satellites acquises par le capteur Sentinel-2, et nous avons choisi celles qui ont été capturées entre octobre 2022 et mai 2023, soit une année agricole.

5-2 Sentinel-2 :

La mission Copernicus SENTINEL-2 est une mission européenne d'imagerie multi spectrale à haute résolution qui comprend une constellation de deux satellites en orbite polaire placés sur la même orbite héliosynchrone, en phase à 180° l'un de l'autre. Il vise à surveiller la variabilité des conditions de la surface terrestre, sa grande largeur de fauchée (290 km) et son temps de revisite élevé 10 jours à l'équateur avec un satellite et 5 jours avec 2 satellites.

Sentinel-2 transportera une charge utile d'instrumentes optiques qui échantillonneront 13 bande spectrale : 4 bandes à 10m, 6 bandes à 20 m , et 3 bande à 60 m de résolution spatiale .(ESA2015)

Tableaux n° 04 : les bande spectrale de sentinele-2

Les bandes	Echelle	Description	Résolution	Longueur d'onde
B1	0,0001	Aérosols	60 mètres	443,9nm(S2A) /442,3nm (S2B)
B2	0,0001	Bleu	10 Mètres	496,6nm(S2A)/492,1nm (S2B)
B3	0,0001	Vert	10 Mètres	560 nm(S2A)/559nm (S2B)
B4	0,0001	Rouge	10 Mètres	664,5nm(S2A)/665 nm (S2B)
B5	0,0001	Bord Rouge 1	20 Mètres	703,9nm(S2A)/703,8nm (S2B)
B6	0,0001	Bord Rouge 2	20 Mètres	740,2nm(S2A)/739,1nm (S2B)
B7	0,0001	Bord Rouge 3	20 Mètres	782,5nm(S2A)/779,7nm (S2B)
B8	0,0001	NIR	10 Mètres	835,1nm(S2A)/833 nm (S2B)
B9	0,0001	Bord Rouge 4	20 Mètres	864,8nm(S2A)/864nm (S2B)
B10	0,0001	Vapeur d'eau	60 Mètres	945nm(S2A)/943,2nm (S2B)
B11	0,0001	SWIR 1	20 Mètres	1613,7nm(S2A)/1613,4nm (S2B)
B12	0,0001	SWIR 2	20 mètres	2202,4nm(S2A)/2185,7nm (S2B)

5-3 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

La première utilisation rapportée du NDVI dans l'étude des Grandes Plaines remonte à 1973 par Rouse et al. (Le Dr John Rouse était le directeur du Centre de télédétection de l'Université Texas A&M où l'étude des Grandes Plaines a été menée). Cependant, ils ont été précédés de la formulation d'un indice spectral de différence normalisé par Kriegler et al.

L'indice de végétation, est devenu l'outil standard pour décrire le comportement environnemental de la couverture végétale (BERGHIDA et MECHTRI 2017) parmi tous les indices de végétation proposés depuis l'avènement de la télédétection spatiale. Il est utilisé pour relier les valeurs de réflectance aux caractéristiques physiques et chimiques des plantes, ainsi que pour estimer la biomasse végétale et le contenu en chlorophylle des feuilles.

Cet indice, souvent désigné par l'acronyme NDVI, est calculé à partir des bandes infrarouges et rouges du spectre électromagnétique, Sa valeur varie de (-1) l'eau,

(0) pour les sol nu, (0.2) pour la réflectance de sol dominants et(1) pour chlorophylle élève (les forêt) . Son utilité réside dans sa capacité à décrire avec précision la couverture végétale. (HAMDI et BOULHNDI 2020)

Pour le calcul du NDVI à partir des images satellitaires Sentinel-2, la formule utilisée

est la suivante :

$$\text{NDVI} = \left(\frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \right)$$

NIR : représente la bande infrarouge

RED : représente la bande rouge.

5-4 les indice VHI et VCI :

Les indices VCI (Vegetation Condition Index) et VHI (VegetationHealth Index) sont les plus appropriés car ils permettent d'évaluer la couverture végétale sur une période donnée en fonction des conditions historiques. De plus, des études antérieures ayant utilisé ces indices ont défini un seuil critique au-delà duquel la sécheresse est prévue, ce qui permet de connaître le début et l'intensité de la sécheresse. (SASSINE et HAMZALI 2019)

mentionne le VCI comme un indicateur principal de l'état de la couverture végétale. Il se base principalement sur l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Le VCI est sensible aux variations saisonnières et permet de détecter les conditions de stress de la végétation, d'évaluer l'état général de la couverture végétale à grande échelle, de prédire la production agricole, de détecter et d'évaluer la sécheresse, ainsi que les impacts du changement climatique sur la végétation. En

résumé, le VCI et le VHI sont des indicateurs appropriés pour évaluer la couverture végétale, détecter et évaluer la sécheresse, ainsi que pour prédire les impacts du changement climatique sur la végétation.

Tableau n°5 : classification de l'Indice VH (Kogan, 2002)

VHI	Sécheresse végétative
<10	Sécheresse extrême
Entre 10 et 20	Sécheresse sévère
Entre 20 et 30	Sécheresse modérée
Entre 30 et 40	Sécheresse légère
>40	Pas de Sécheresse

Et Pour calculait l'indice VCI, VHI utilise les formule suivent.

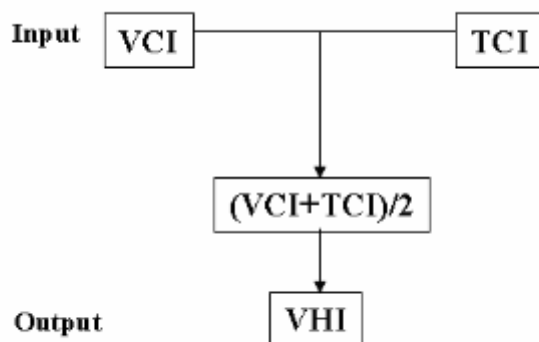
VCI :

Le VCI est un indice de végétation dérivé des valeurs maximale et minimale du NDVI les valeurs historiques (NDVI min et NDVI max) de la décade sont tirées des 36 images décadaires. Les valeurs du VCI sont sauvegardées en 8 bits signés.(LAYELMAM 2008)

$$VCI = \frac{NDVI(i) - NDVI_{min}(i-1)}{NDVI_{max}(i-1) - NDVI_{min}(i-1)} * 100$$

VHI :

Le calcul de l'indicateur VHI est réalisé avec un programme développé sur le Modeler d'ERDAS. On pose $\alpha=0.5$ le VHI devient la moitié de la somme de VCI et TCI.

**5-5 Modèle d'humidité OPTRAM (Optical TRApézoid Model) :**

est une approche basée sur la physique pour l'estimation à distance de l'humidité du sol. OPTRAM est basé sur la réponse de la réflectance infrarouge à ondes courtes (SWIR) à l'état de l'eau de la végétation, qui à son tour réagit aux changements de l'humidité du sol de la zone racinaire. Dans les tourbières, cette dernière est étroitement liée à la profondeur de la nappe phréatique (WTD). (LULIA et al 2020).

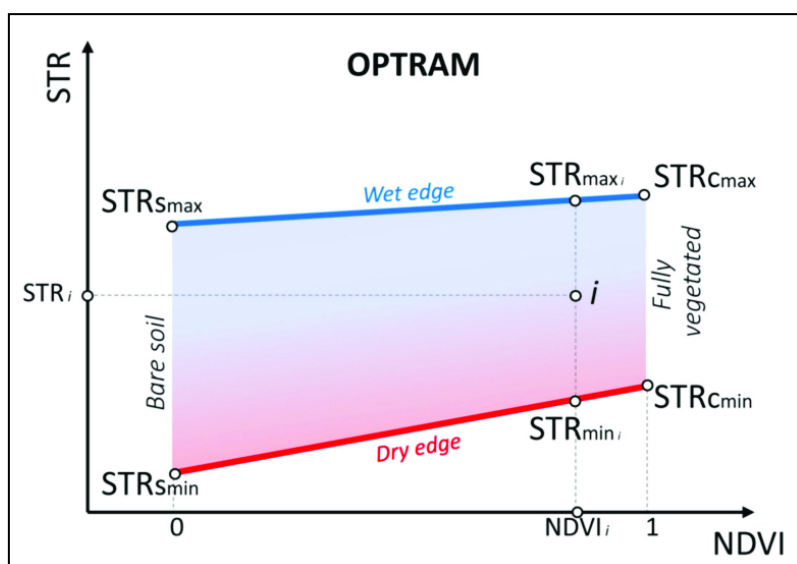


Figure 34 : Modèle d'humidité OPTRAM

Le concept d'OPTRAM pour récupérer un indice d'humidité du sol au point i en fonction de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et de la réflectance transformée infrarouge à ondes

courtes (STR). Le bord mouillé est représenté par une ligne bleue et indiqué par des points Étoiles max et STR c max.

Le bord sec est représenté par la ligne rouge et indiqué par les points STR s min et STR c min . Le dégradé de couleur indique la transition des conditions d'humidité des bords humides aux bords secs. Le point i avec STR i et DVI i représente une disponibilité modérée en humidité. Pour i, les valeurs STR des bords humides et secs sont Star max i et STR mini en conséquence (LULIIA et al 2020).

-VW.OPT (Variable Wavelength Optics)

-IW.OPT (Imaging Optics)

-ID.OPT (Interference Optics)

-SD.OPT (Spectral Distribution Optics)

-SW.OPT (Switching Optics)

-Vd.OPT (Variable Dispersion Optical Transceiver)

5-6 logiciel QGIS :

Utilise la logiciel QGIS pour la mise en page des cartes .

QGIS est un logiciel SIG libre qui a débuté en mai 2002 et s'est établi en tant que projet sur Source Forge en juin 2002. Ce logiciel SIG est un choix accessible et viable pour toute personne ayant un ordinateur (qui est traditionnellement des logiciels propriétaires assez coûteux). QGIS est utilisable sur la majorité des Unix, MacOS et Windows.

QGIS gère un grand nombre de formats raster et vecteur, avec le support de nouveaux formats facilité par l'architecture basée sur les extensions. QGIS est distribué sous la licence GNU GPL (General Public License) (QGIS Project 2020).

5-7 Google Earth Engine :

est une plate-forme d'analyse géospatiale basée sur le Cloud, qui permet aux utilisateurs de visualiser et d'analyser les images satellite de notre planète. Les scientifiques et les organismes à but non lucratif utilisent Google Earth Engine pour la recherche en télédétection, la prédiction des épidémies, la gestion des ressources naturelles et d'autres activités. Vos élèves peuvent accéder à ces informations afin de participer aux discussions et devenir eux-mêmes des data scientists. (Site web 1).

(EE) Earth Engine est un catalogue de données public, une infrastructure de calcul, des API géospatiales et un serveur d'applications interactif. Elle constitue un outil extrêmement précieux pour les étudiants qui souhaitent approfondir leurs connaissances par la disponibilité des archives de données

publiques d'Earth Engine, qui comprennent d'images historiques et d'ensembles de données scientifiques, mis à jour et enrichis quotidiennement dans trois domaines :

- **Climat et météo** : Température superficielle, Climat, Atmosphérique et Temps.
- **Imagerie** : Landsat, Sentinelle, MODIS et Imagerie haute résolution.
- **Géophysique** : Terrain, Couverture terrestre, Terres cultivées et Autres données géophysiques y compris les images nocturnes du système de balayage linéaire opérationnel du programme de satellite météorologique de la Défense (DMSP-OLS)

CHAPITRE VI : RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats des analyses physico-chimiques du sol :

1.1. les analyse physique :

1.1.1. Discussion des résultats de granulométrie

D'après le Tableau, on ne constate que le blé dur étudiées, ont proportion en sable entre (50-51%), mais la différence s'observe dans les fractions de limions et d'argiles, puisque le blé tendre a le taux le plus élever en limons (53%)

Tableaux n° 06 : résultante des analyses granulométrie des sols étude.

Précédents particules %	Blé dur		Blé tendre	
	P1	P2	P1	P2
Sable	51,31%	40,85%	45,74%	57,92%
Argile	13,70%	19,28%	0,78%	0,98%
Limons	34,99%	39,87%	53,48%	41,1%

D'après le tringle des textures (fig.), les deux parcelles étudiées sont :

- Le sol de blé tendre est de texture limono-sableux.
- Le sol de blé dur est de texture sableux-limoneux et de texture argilo-limoneux

1.1.2 Discussion des résultats D'humidité :

L'humidité est la compréhension du comportement chimique et hydrologique des sols et de leur effet sur la croissance des plantes (Michel et al., 2011).

Le tableau n° 07 montre les résultats obtenus pour l'ensemble des échantillons du sol

Tableaux n°07: résultante des analyses d’humidité des sols étude.

Echantillonnage Humidité (%)	Blé dur	Blé tendre
min	9,29	10,46
max	14,96	16,9
moyn	12,58	13,19

Après le calcul de la moyenne nous constatons, qu’il n’y a pas une variation entre les différents échantillons du sol pour les deux parcelles (blé dur ,blé tendre)

Selon les résultats de laboratoire nous constatons que les deux parcelles présentent un taux d’humidité faible (> 13.5%), Ceci peut être expliqué par les conditions climatiques au moment de prélèvement plus l’effet de l’irrigation.

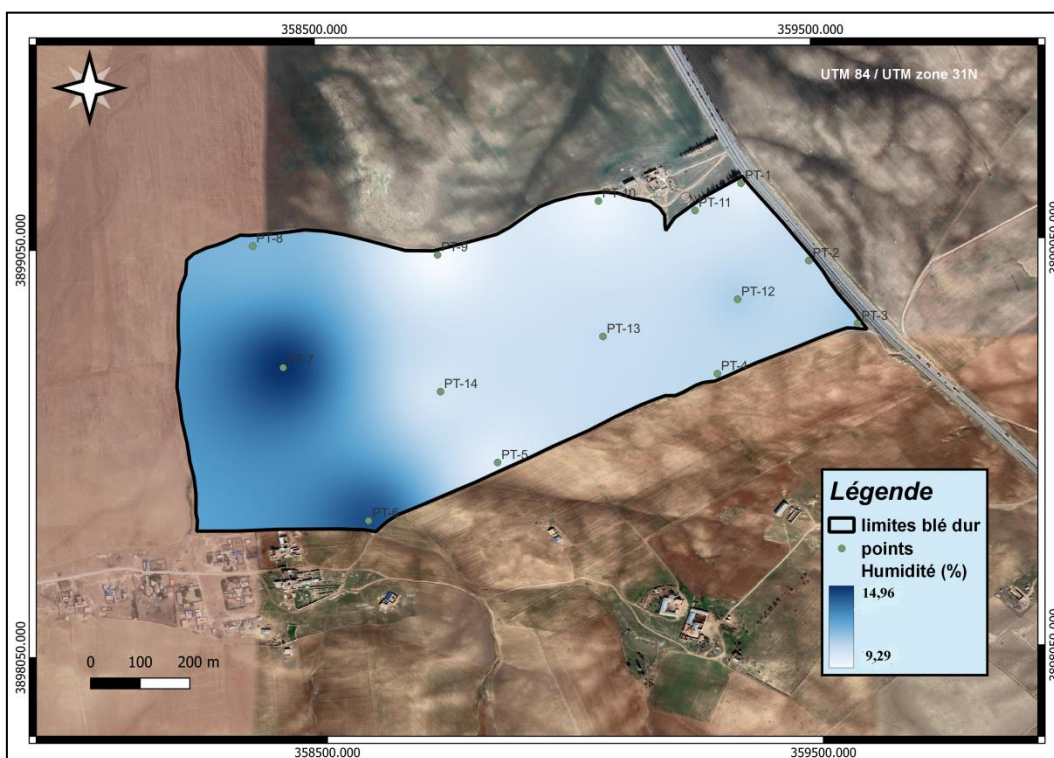


Figure 34 : carte d’interpolation d’humidité de blé dur

La carte représente le niveau d'humidité du sol pour le blé dur dans la ferme expérimentale de Cherif Eddine Sougoure à Tiaret. Les valeurs d'humidité sur cette carte varient entre 9,29 et 14,96 et peuvent être interprétées comme suit :

-Une humidité de 9,29 indique un sol sec, représenté par la couleur blanche. Cela est dû à une faible pluviométrie.

-Une humidité maximale de 14,96 indique un sol humide, représenté par la couleur bleue. Cela s'explique par un apport d'eau adéquat.

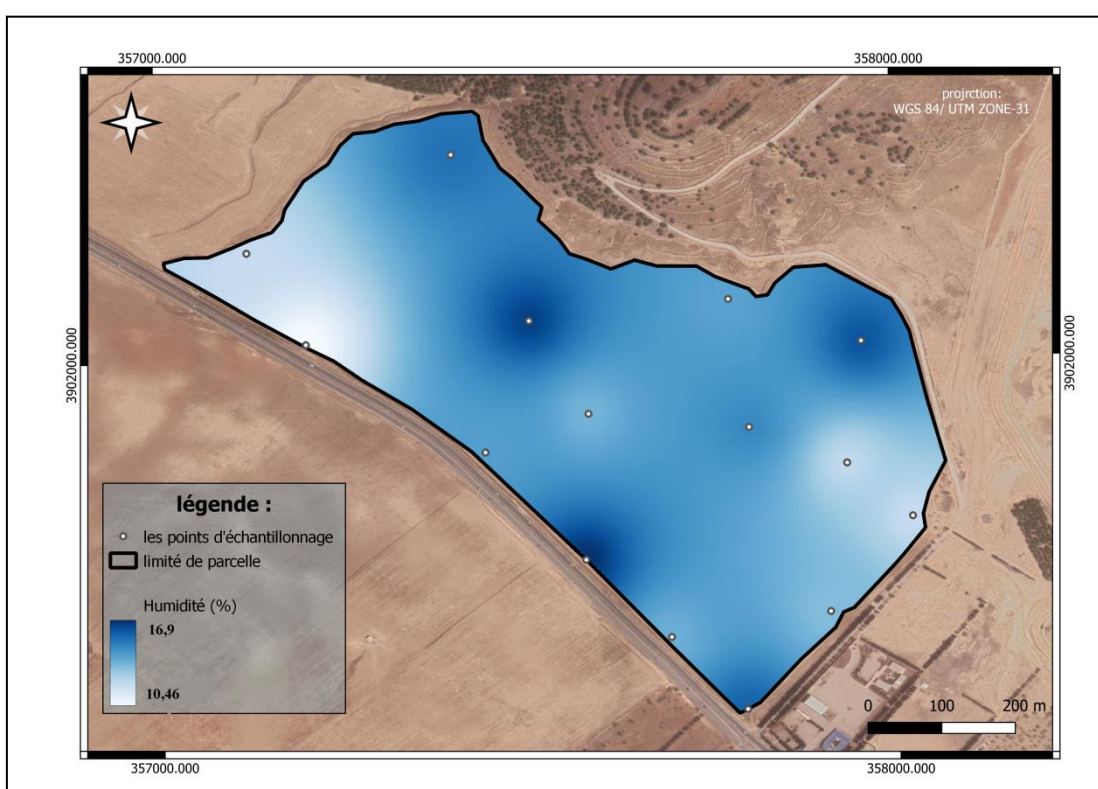


Figure 35 :carte d'interpolation d'humidité de blé tendre

La carte représente le niveau d'humidité du sol du blé tendre dans la ferme expérimentale de Chérif EddinSougoure à Tiaret. Les valeurs d'humidité sur cette carte varient entre 9,29 et 14,96. Ces valeurs peuvent être interprétées comme suit :

-Une humidité de 9,29 indique un sol sec représenté par la couleur blanche. Cela est dû à une faible pluviométrie, ce qui signifie qu'il y a eu peu de précipitations.

-Une humidité maximale de 14,96 indique un sol humide représenté par la couleur bleue. Cela peut être expliqué par un apport suffisant en eau.

En résumé, la carte montre la répartition de l'humidité du sol dans la ferme expérimentale, allant du sol sec (représenté en blanc) au sol humide (représenté en bleu), en fonction des niveaux d'humidité allant de 9,29 à 14,96

1.2.les analyse chimique :

1.2.1 Discussion des résultats de ph :

Le pH est une expression logarithmique de l'acidité d'une solution. C'est le logarithme négatif de la concentration H^+ . Il est important pour la croissance des plantes, c'est grâce à lui que les éléments nutritifs sont assimilables ou pas les plantes. Le meilleur pH se trouve entre 5.5 et 7.5 (**Anonyme, 1977**).

Le tableau 08 présente les caractéristiques statistiques du pH dans les sols de deux parcelle

Tableaux n°08 : résultante des analyses de PH des sols étude.

Echantillonnage PH	Blé dur	Blé tendre
min	8,32	7,27
max	8 ,73	8,41
moyn	8,53	7,82

D'après les valeurs des pH enregistrées dans le tableau 6., il ressort que le blés dur comprises entre (8.32-8,73) ,le sol présente un pH alcalin et le blé tende varie entre (7.27-8,41) présente un sol légèrement alcalin selon les normes de **Feller et demarsily, (2016)** (annexe 2) .

Les cartes représente les valeurs de pH pour chaque type de sol, à savoir le sol de blé dur et le sol de blé tendre , dans la ferme piloté de Sherif El-DinSougoure - Tiaret. Donc que , les valeurs de pH varient entre 7 et 8.

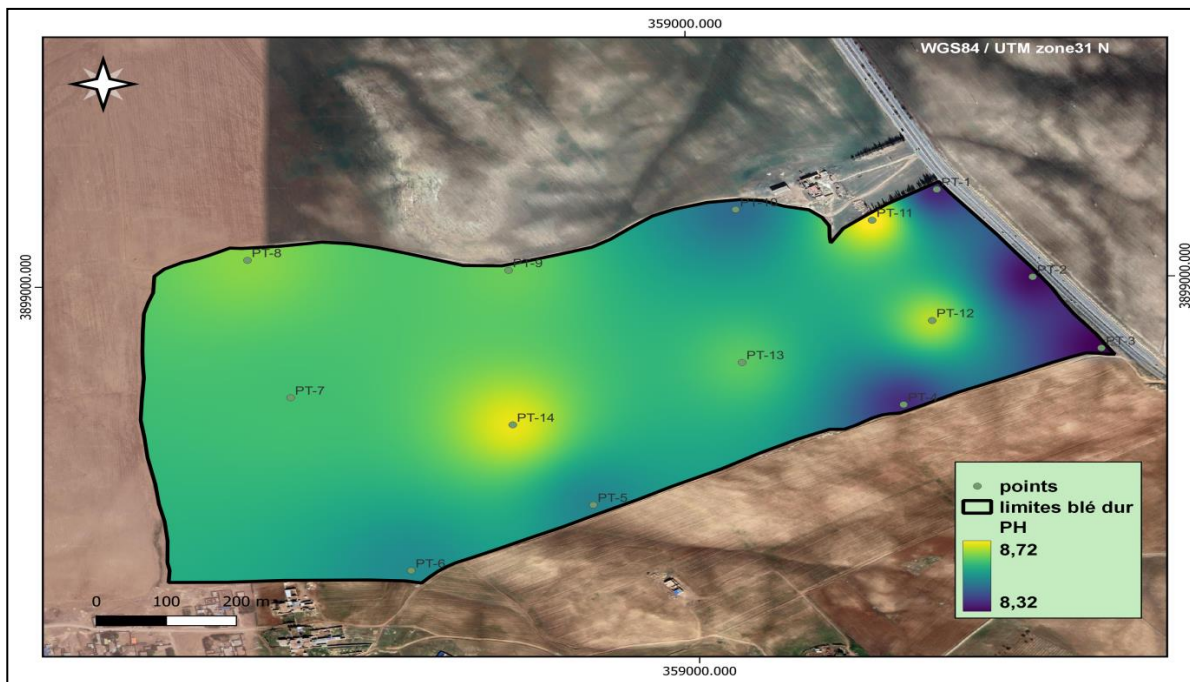


Figure 36 :carte d'interpolation de ph de blé dur

Nous observons que les valeurs de pH de blé dur entre 8,32 à 8,72 Nous remarquons une différence des couleurs. Une valeur de pH de 8 indique une solution basique qui prend une couleur jaune

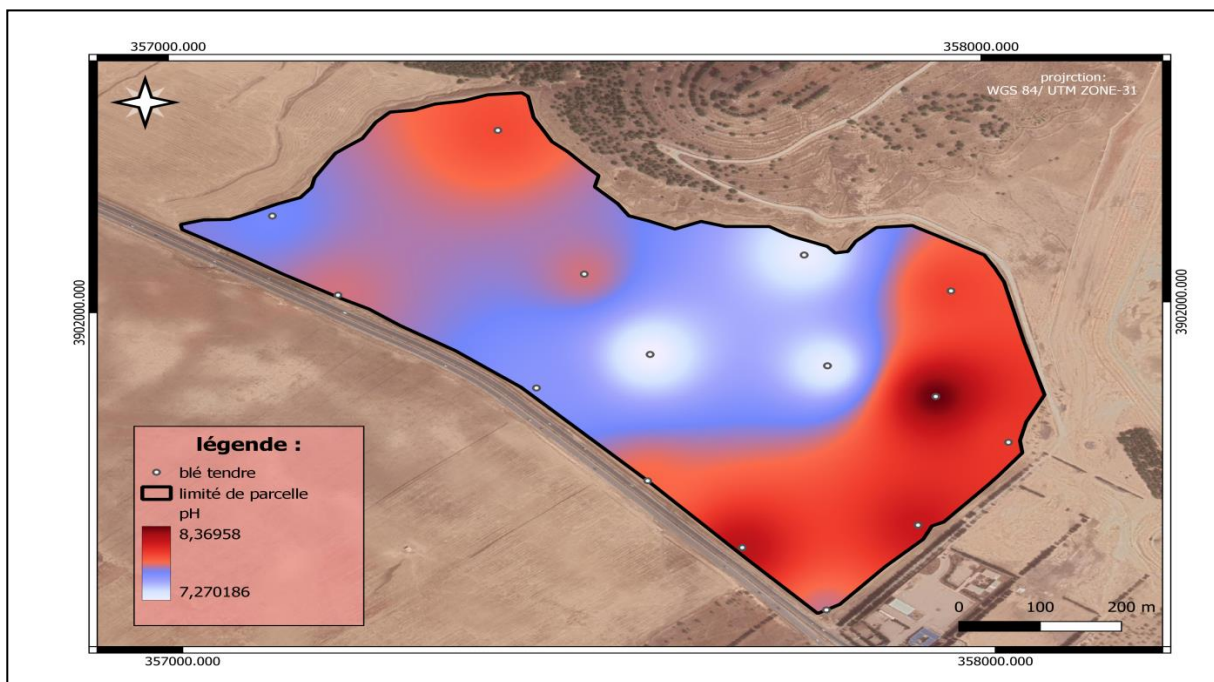


Figure 37 : carte d'interpolation de ph de blé tendre

Nous observons que les valeurs de pH de blé tendre 7,2 correspondent à une

Solution acide qui prend une couleur claire. Plus les valeurs de pH augmentent, plus nous remarquons une différence dans les couleurs.

Une valeur de pH de 8 indique une solution basique qui prend une couleur rouge foncé

Après les figures 36 et 37 et les tableaux n°8 .

Un pH élevé peut inhiber l'assimilation de certains éléments nutritifs tels que le cuivre et le zinc et bloquer l'absorption du phosphore qui est considéré comme un élément majeur dans la nutrition des plantes et ceci par l'effet antagoniste avec le calcium, la porosité et la microflore qui stimulent l'activité des micro-organismes et la première position des bases échangeables qui contribuent à l'accroissement du pH, et par conséquent la minéralisation de la matière organique est imposée la libération des carbonates de calcium et de magnésium et ne peut être modifiée par les pratiques agricoles et la première position des bases échangeables qui contribuent à l'accroissement du pH .

En absence de carbonates, le pH du sol est neutre ou acide (STENGEL et GELIN, 1998).

1.2.2 Discussion des résultats de pH KCl :

Le pH est également mesuré couramment dans du KCl 1 M. On pense que le pH-KCl représente une mesure de l'acidité échangeable puisque la solution concentrée de KCl déplace facilement l'Al du complexe d'échange. Tant que la capacité d'échange de cations dépasse la capacité d'échange des anions, ΔpH ($\text{pH}_{\text{water}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$) devrait être positif et peut atteindre 1 unité de pH (Pansu et Gautheyrou, 2006).

Tableaux n° 09 : résultante des analyses de pH KCl des sols étudiés.

Echantillonnage \ Ph kcl	Blé dur	Blé tendre
min	7,33	6,18
max	7,98	7,41
moyn	7,71	6,73

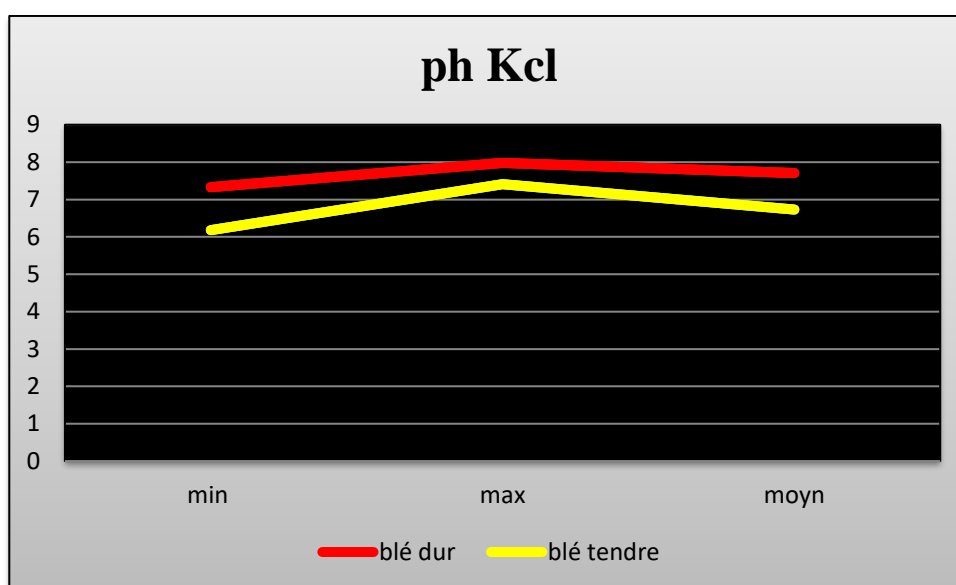


Figure 38 : représentation graphique des valeurs de ph kcl

1.2.3 Discussion des résultats de conductivité électrique :

Le tableau ci-dessous montre qu'il n'y a pas une variation entre la conductivité électrique des différents échantillons du sol dans la mesure ou la conductivité électrique de blé dur atteint 131,6 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et le blé tendre 184,6 $\mu\text{s}/\text{cm}$

Tableaux n°10 : résultante des analyses de conductivité électrique des sols étude.

Echantillonnage	Blé dur	Blé tendre
Ce ($\mu\text{s/cm}$)		
min	32,8	105,2
max	210	34,2
moyn	131,6	184,6

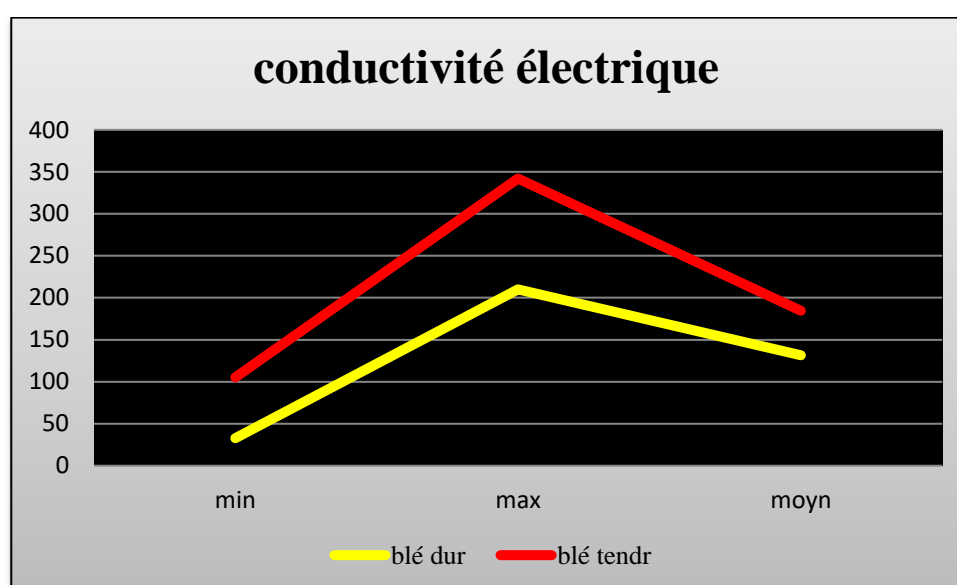


Figure 39 : représentation graphique de conductivité électrique

La figure 39 permet de visualiser la distribution des classes de conductivité électrique à travers les sols des deux parcelles. Cette distribution montre plusieurs degrés de salinité du sol selon les normes de (Feller et demarsily, 2016).

Selon **fig39** un sol avec une $CE \leq 500 \mu\text{s/cm}$, est un sol non salé, et l'effet de cette dernière sur le rendement est négligeable.

La concentration saline de la solution nutritive joue un rôle prépondérant dans l'alimentation hydrique de la plante. Elle détermine la pression osmotique de la solution. Celle-ci doit être inférieure à la pression osmotique du suc cellulaire, pour que l'eau puisse diffuser de la solution vers la plante. La conséquence la plus immédiate d'une concentration saline excessive est une lésion des racines suivie du flétrissement de la plante (BLANC, 1987).

1.2.4 Discussion des résultats de NPK :

Les valeurs dans le tableau numéro 11 représentent les plages recommandées d'apport en nutriments pour les cultures de blé dur et de blé tendre, exprimées en kilogrammes par hectare (kg/ha). Pour le blé dur :

- La plage recommandée d'azote (N) est de 18 kg/ha à 75,6 kg/ha.
- La plage recommandée de phosphore (P) est de 14,4 kg/ha à 72 kg/ha.
- La plage recommandée de potassium (K) est de 50,4 kg/ha à 237,6 kg/ha.

Pour le blé tendre :

La plage recommandée d'azote (N) est de 25,2 kg/ha à 108 kg/ha.

- La plage recommandée de phosphore (P) est de 21,6 kg/ha à 158,4 kg/ha.
- La plage recommandée de potassium (K) est de 75,5 kg/ha à 190,8 kg/ha.

Tableaux n°11: résultante des analyses de NPK des sols étude.

Echantillonnage	Blé dur			Blé tendre		
	N	P	K	N	P	K
min	18	14,4	50,4	25,2	21,6	75,5
max	75,6	72	237,6	108	158,4	190,8
moyn	33,94	31,88	91,8	42,24	44,88	101,9

Ces valeurs représentent les quantités d'azote, de phosphore et de potassium recommandées pour une croissance et un rendement optimaux des cultures de blé dur et de blé tendre. Il est important de noter que les besoins en nutriments peuvent varier en fonction de facteurs tels

que le type de sol, le climat, la variété de blé et les pratiques agricoles. Il est donc recommandé de consulter les normes et recommandations spécifiques à votre région et de prendre en compte les conditions locales pour déterminer les quantités précises d'engrais à utiliser.

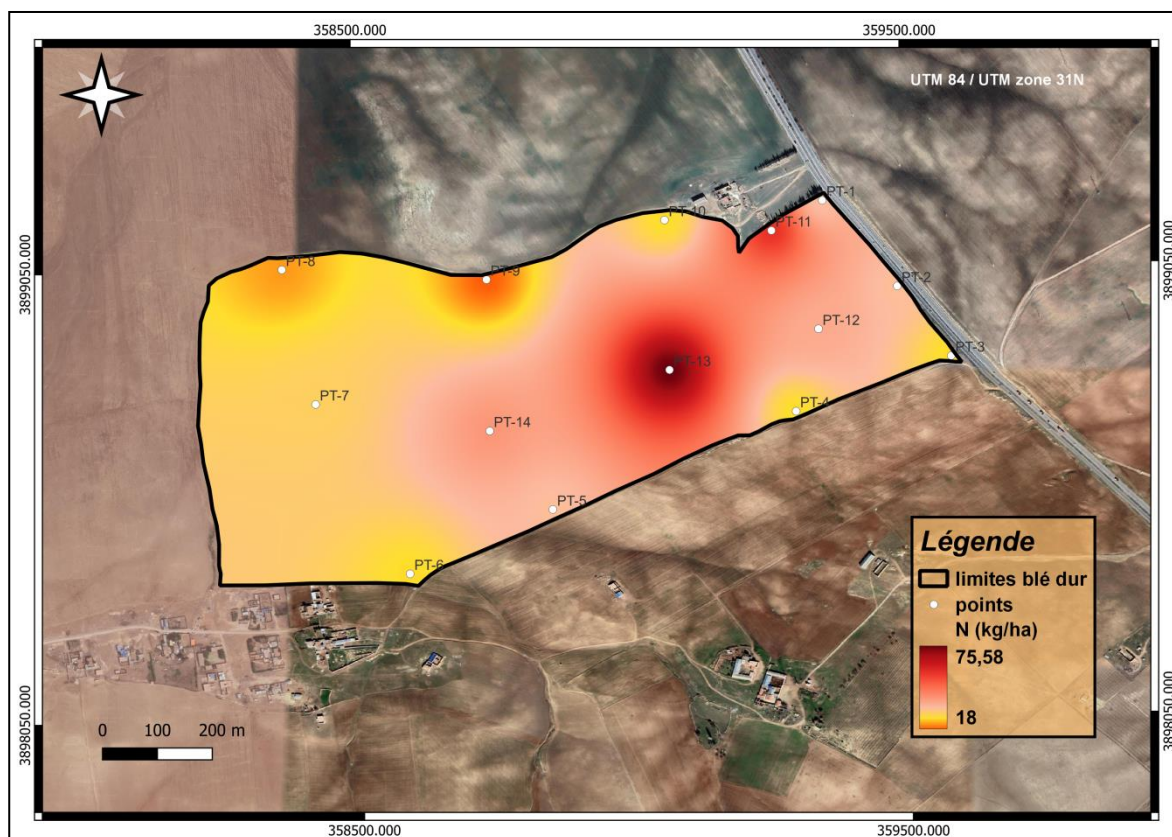


Figure 40 : carte d'interpolation de N de blé dur

La carte représente les valeurs d'azote dans le blé dur à la ferme expérimentale Sherif El-Din Soukra à Tiaret. Les valeurs de N varient entre 18 et 75,58. Ces valeurs représentent les concentrations d'azote. En utilisant la légende de la carte, nous remarquons que la couleur blanche et jaune correspond aux concentrations les plus faibles, tandis que le rouge foncé correspond aux concentrations les plus élevées. Il y a aussi des nuances de jaune pâle et d'orange pour les valeurs moyennes

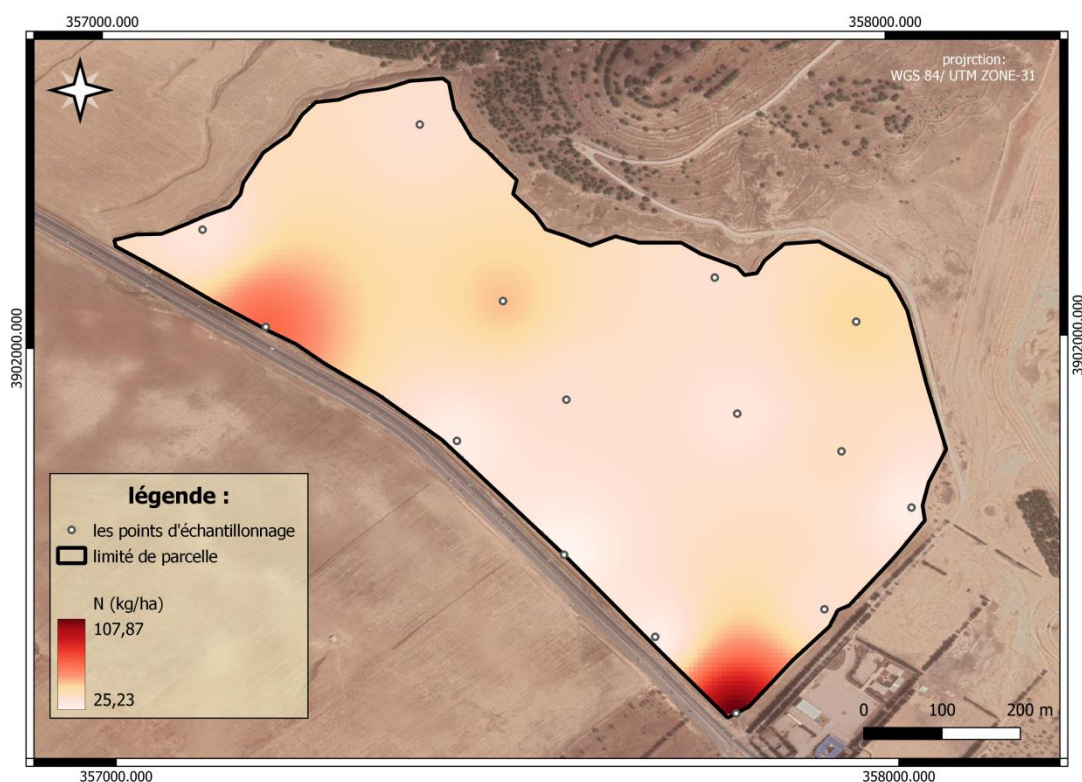


Figure 41: carte d'interpolation de N de blé tendre

La carte représente les valeurs d'azote dans le blé tendre de la ferme expérimentale de Cherif El Dine Sougueur à Tiaret. Les valeurs de N varient de 25,23 à 107,87, et elles représentent les concentrations d'azote. En utilisant la légende de la carte, on observe que la couleur blanche indique la concentration la plus basse, tandis que le rouge foncé représente la concentration la plus élevée, avec des nuances de jaune clair et d'orange pour les valeurs moyennes.

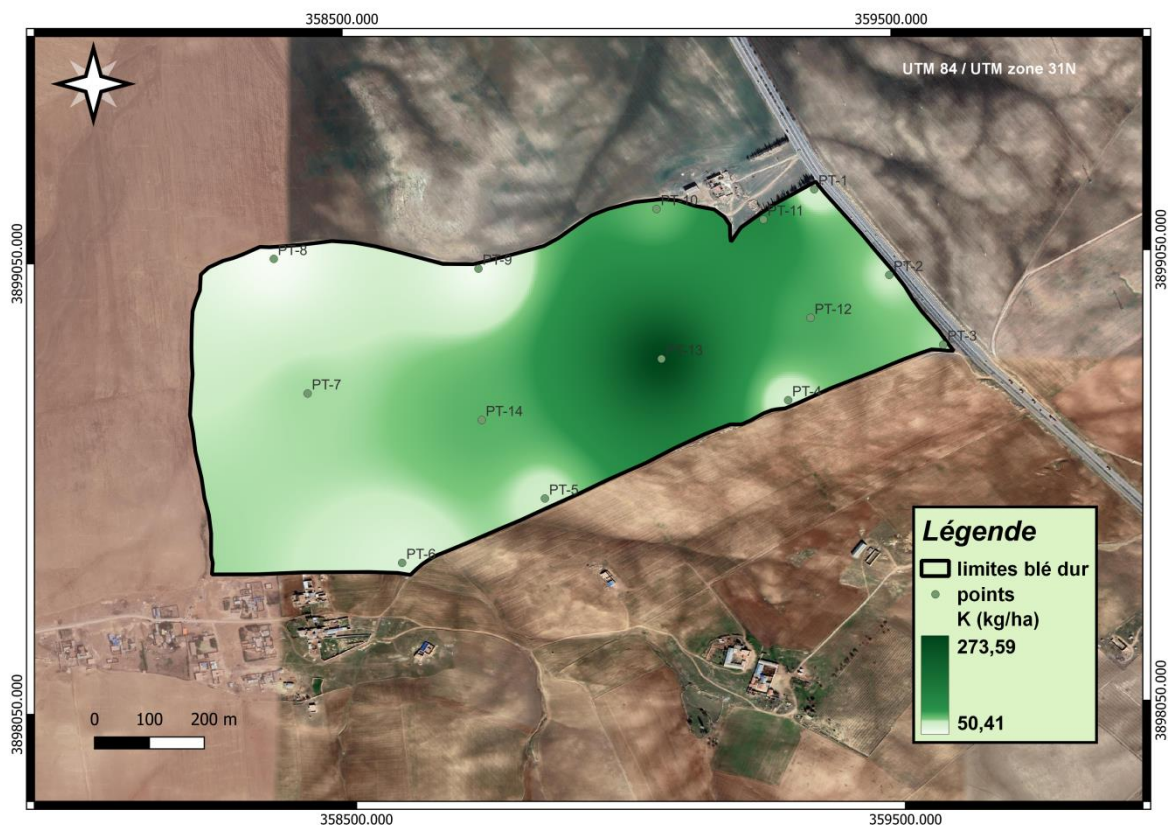


Figure 42 : carte d'interpolation de K de blé dur

La carte représente les valeurs de potassium pour le blé dur à la ferme expérimentale Cherif Eddine Sougueur, Tiaret. Les valeurs de K varient de 50,41 à 273,59, les valeurs inférieures de 50,41 indiquent une grande variation des niveaux de potassium, représentée en blanc sur la légende de la carte. Cela explique la carence en potassium et nécessite une gestion spécifique pour améliorer la disponibilité du potassium.

Les valeurs de 273,59 indiquent les valeurs maximales, et cela est expliqué par la carte comme des zones présentant des niveaux plus élevés de potassium, ce qui est plus propice à la croissance des plantes. La variation des valeurs de potassium est attribuée à la fertilité du sol, représentée en vert sur la carte

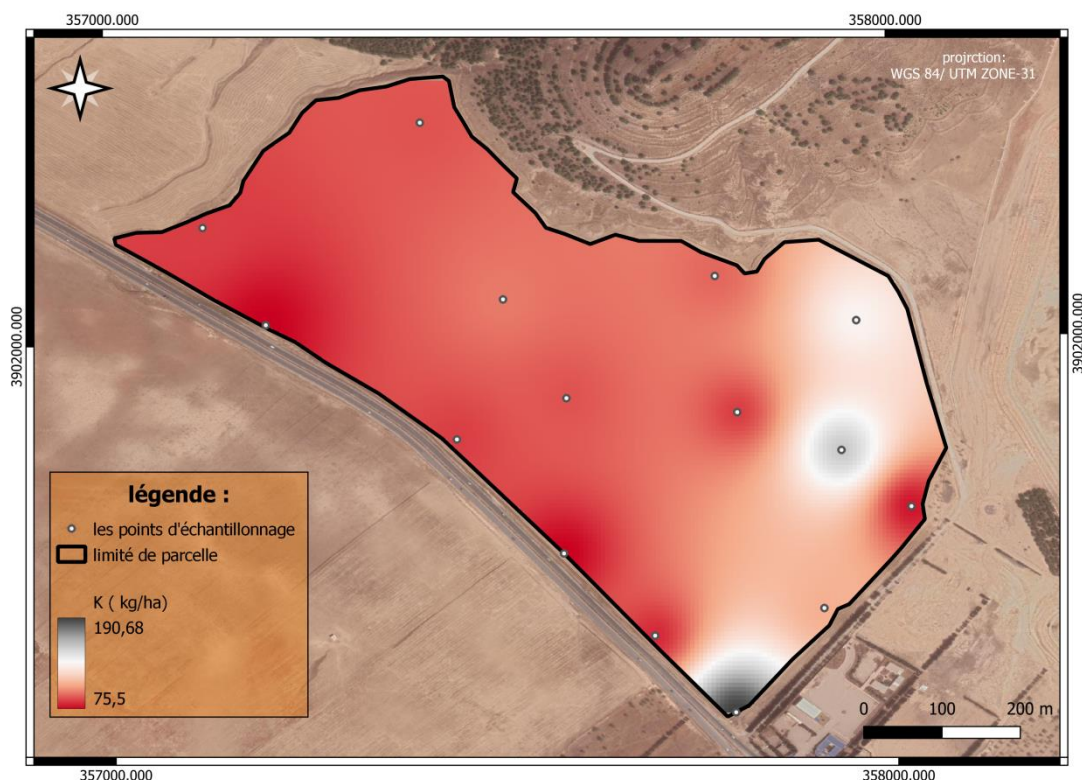


Figure 43 : carte d'interpolation de potassium K de blé tendre

La carte représente les valeurs de potassium de blé tendre (K) dans la ferme expérimentale Sherif Eddine Sougueur - Tiaret. Les valeurs de K varient de 75,5 à 190,68. Les valeurs inférieures de 75,5 indiquent une grande variation dans les niveaux de potassium, représentés par la couleur blanche et le rouge clair selon la légende de la carte. Cela explique la carence en potassium et nécessite une gestion spécifique pour améliorer la disponibilité du potassium.

Les valeurs de 190,6 représentent les valeurs maximales, et selon la carte, cela s'explique par le fait que les zones avec des niveaux plus élevés de potassium sont plus favorables à la croissance des plantes. Les différences dans les valeurs de potassium sont dues à la fertilité du sol

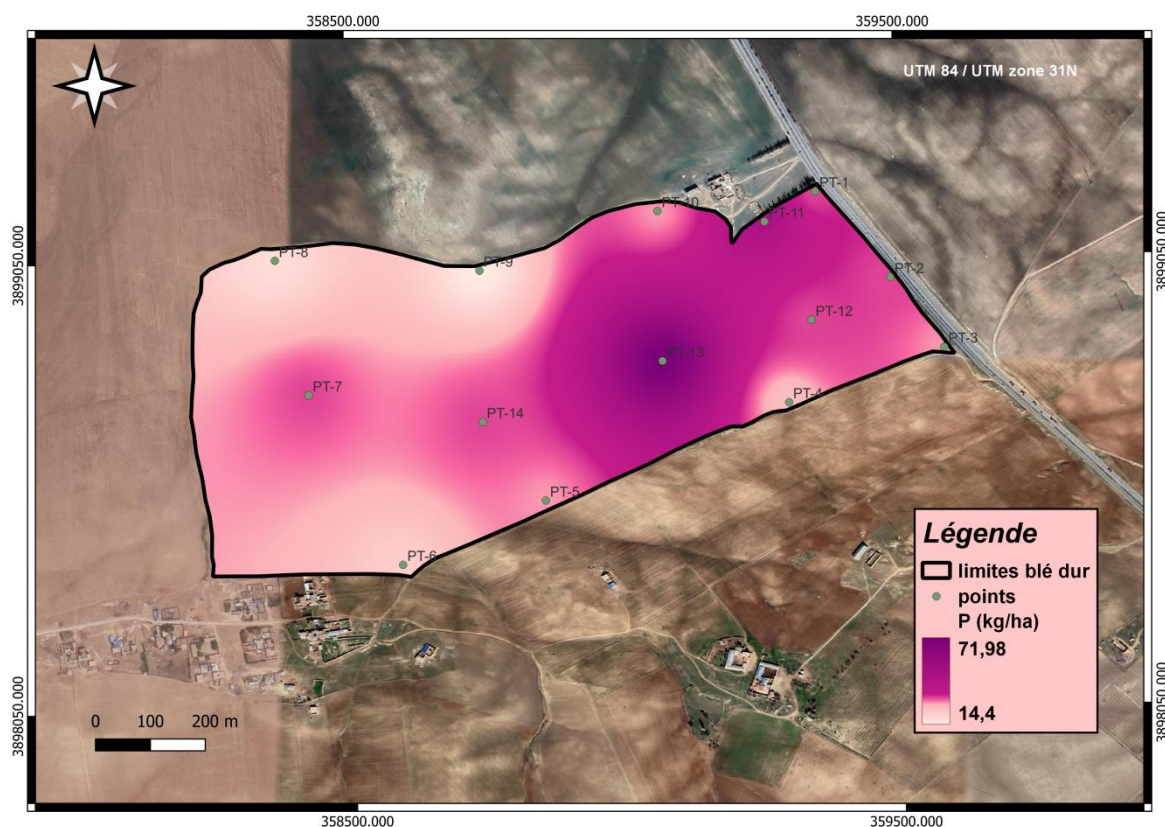


Figure 44 : carte d'interpolation de P de blé dur

La carte représente les valeurs de phosphore (P) pour la culture du blé dur dans une ferme expérimentale à Chérif-El-Din Sougueur - Tiaret. Les valeurs de phosphore varient de 14,4 (minimum) à 71,98 (maximum). On observe une grande variation dans la concentration de phosphore, représentée par la couleur blanche pour les valeurs inférieures, le violet clair pour les concentrations moyennes et le violet foncé pour les concentrations maximales de phosphore. Cette diminution est due à une insuffisance de phosphore dans le sol, ce qui entraîne une croissance réduite des racines et donc une baisse de la production. Une augmentation de la concentration de phosphore est bénéfique pour les plantes

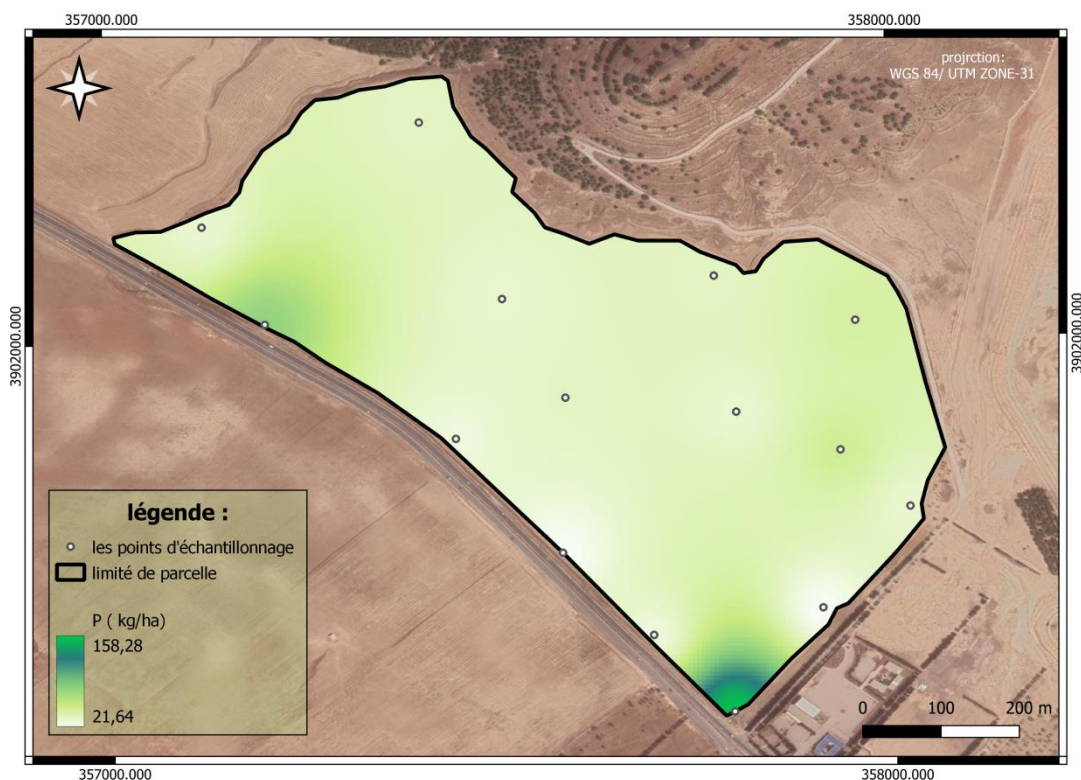


Figure 45 : carte d'interpolation de P de blé tendre

La carte représente les valeurs de phosphore (P) pour le blé tendre dans une ferme expérimentale à Sherif EdDinSougueur - Tiaret. Les valeurs de phosphore varient de 21,64 au minimum à 158,28 au maximum, et on observe une grande variation dans la concentration de phosphore, représentée par la couleur. Le blanc représente les valeurs inférieures de phosphore, le vert clair représente la concentration moyenne de phosphore, et le vert prend la valeur maximale de phosphore. Cette diminution est expliquée par une insuffisance de phosphore dans le sol, ce qui entraîne une croissance réduite des racines, une diminution de la production. Une augmentation de la concentration de phosphore est bénéfique pour la plante.

1.2.5 Discussion des résultats de matière organique :

Selon le tableau.12 on constate que nos deux parcelles ont des valeurs supérieures à 1% et inférieures à 2% de matière organique. Comme l'indique le tableau annexe 03, ce sont donc le blé dur riche en MO et le blé tendre pauvre. Si on vient à comparer ces valeurs, on constate que les sols de blé dur ont un stock de MO plus élevé que de blé tendre, avec respectivement des valeurs comprises entre 2,28% à 7,34% pour le sol de blé dur, et entre 0,01% à 2,49% pour le sol de blé tendre.

Tableaux n°12 : résultante des analyses de matière organique des sols étudiés.

Echantillonnage	Blé dur	Blé tendre
MO (%)		
min	2,28	0,01
max	7,35	2,49
Moyn	3,52	0,85

Il est cependant nécessaire de citer que les résultats obtenus ont peut-être influencés par plusieurs paramètres, puisque les sols de blé tendre sont des sols faible teneur en matière organique sont moyennement fertile et le sol de blé dur contient un forte teneur en matière, et sol fertile qui contient beaucoup de végétation est due certainement aux apports ajoutés de matières organique

Matières organique une forte salinité cause une action d'inhibition sur l'activité des micro-organismes dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la dégradation de la matière organique (Gallel, 1980).

d'après des études faites par l'INRA, associé que le sol à une capacité à fixer l'azote, et des protéines dans les feuilles des plantes et constituent une source de protéines de grande valeur (INRA, 2010).

Il faut noter aussi que différents travaux de recherche ont montré que plus la teneur en argile du sol est élevée, plus le taux de matière organique souhaitable augmente (CRA, 2012), ce qui est tout à fait cohérent avec les résultats que nous avons obtenu.

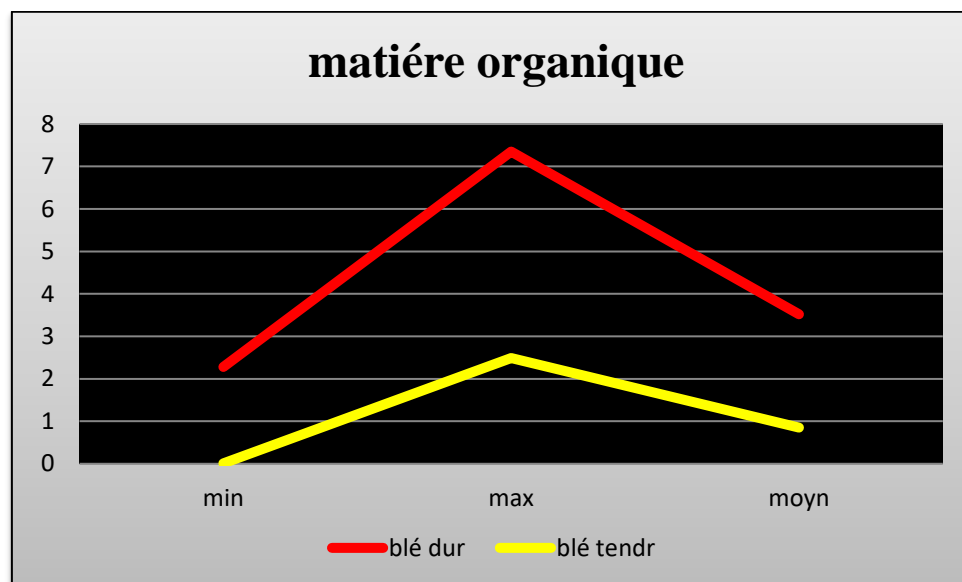


Figure 46 : représentation graphique de matière organique

1.2.6 Discussion des résultats de calcaire totale :

Les différentes statistiques descriptives du calcaire total sont enregistrées dans le tableau 13. On remarque clairement que le sol de blé dure a des taux plus élevés que de sol de blé tendre en calcaire au niveau de profondeurs 30cm.

Tableaux n° 13 : résultante des analyses de calcaire totale des sols étude.

Echantillonnage \ CaCo3(%)	Blé dur	Blé tendre
min	17,28	2,62
max	36,37	36,18
moyenn	30,89	17,04

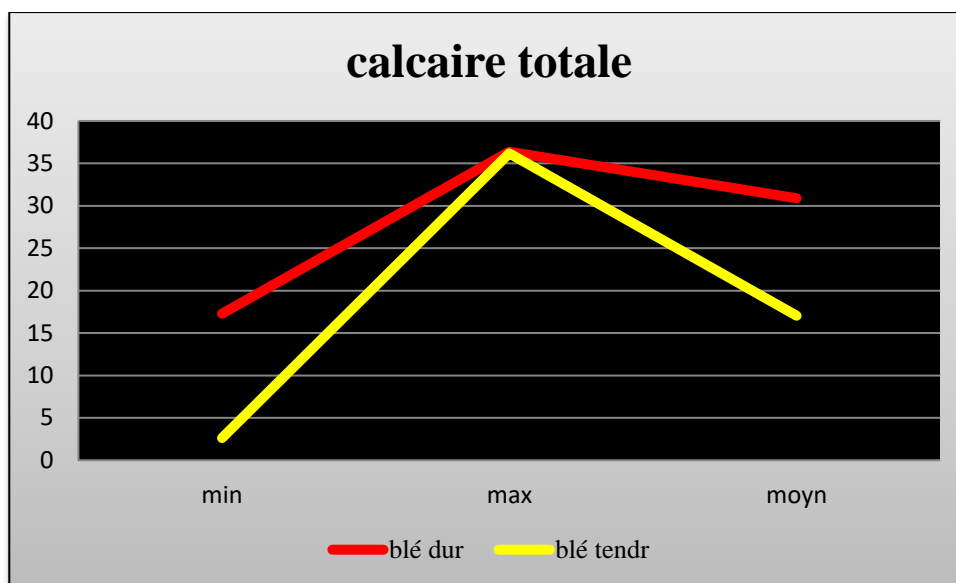


Figure 47 : représentation graphique de calcaire totale

La figure 47 permet de montrer la distribution des classes de calcaire total pour les deux parcelle . Nous remarquons la présence de trois strates de calcaire total : non calcaire, peu calcaire et modérément calcaire selon les normes d'appréciation du calcaire total du sol proposé par **Baize, (1988)** (annexe 04)

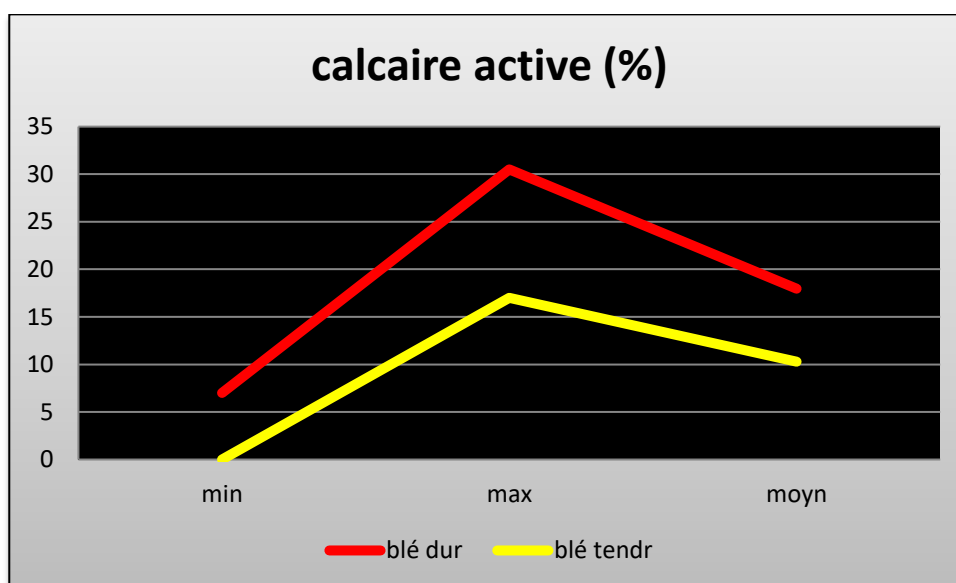
1.2.6 Discussion des résultats de calcaire active :

Le calcaire actif correspond au calcaire fin qui entre dans les réactions du sol qui est présente dans la terre fine (**Baize, 1988**).

Le tableau 14 présente les caractéristiques statistiques du calcaire actif pour les deux parcelle (dur ,tendre). Le calcaire actif pour les deux parcelle enregistre une moyenne arithmétique comprise entre (10,3et 17.96) .

Tableaux n°14 : résultante des analyses de calcaire active des sols étude.

Echantillonnage \ Calcaire active	Blé dur	Blé tendre
min	7	0
max	30,5	17
moyn	17,96	10,3

**Figure 48** : représentation graphique de calcaire active

D'après la figure 48 nous constatons une distribution de deux classes de calcaire actif varie de (7 à 30,5) de blé dur et (0 à 17) de blé tendre. On considère généralement que des problèmes sérieux peuvent commencer à apparaître à partir de teneurs en calcaire actif voisines de 50% (POUSSET, 2002), donc, on peut déduire que nos sols sont dans la norme, et il ne risque pas d'avoir de problèmes liés au calcaire actif.

2 /Résultats de télédétection :

2.1 Discussion des résultats de modal d'humidité OPTRAM

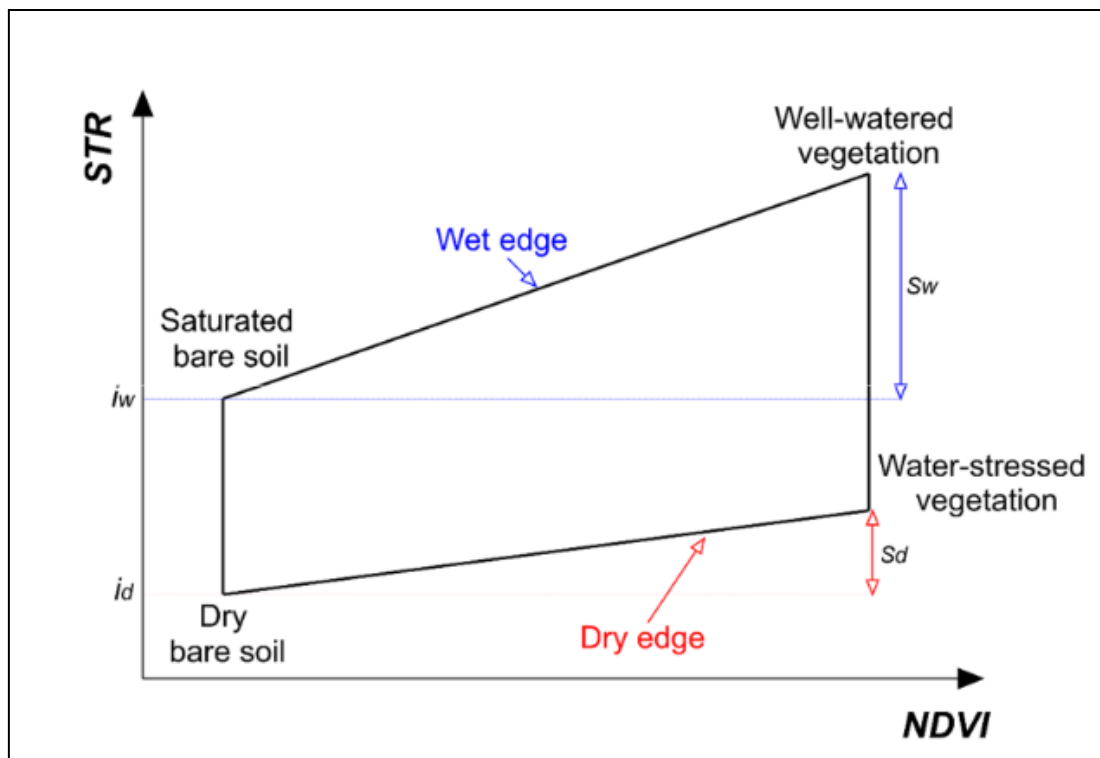


Figure 49: modal d'humidité OPTRAM

$V_w_{opt} = 1,52$, $V_D_{opt} = 0,31$, $IW_{opt} = 1,52$, $ID_{opt} = 0,16$

$SD_{OPT} = 0,15$, $SW_{OPT} = 0$

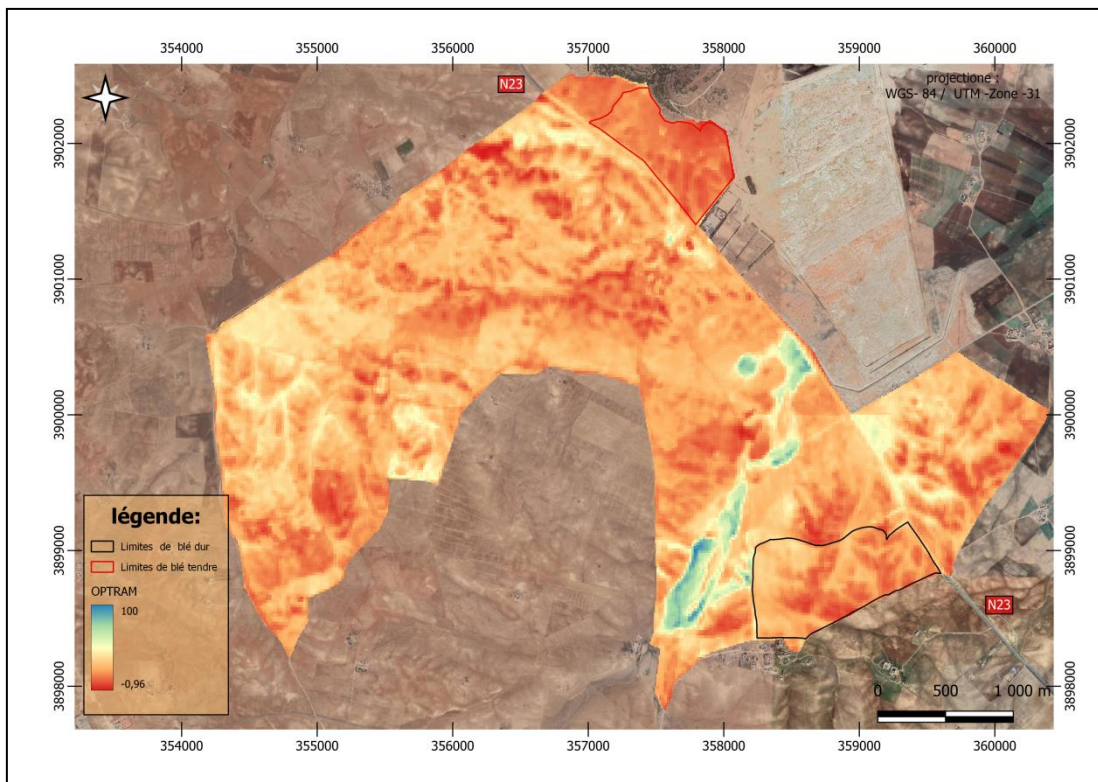


Figure 50 : carte de modale d'humidité OPTRAM de zone étude

La carte OPTRAM représente les niveaux d'humidité dans la ZONE 31. La valeur minimale de -0,96 est considérée comme une valeur aberrante, tandis que la valeur maximale de 100 représente une humidité extrême. Cela indique un environnement humide. Les nuances de couleur, allant de l'orange clair au bleu, indiquent généralement des niveaux d'humidité plus élevés. Les teintes plus sombres indiquent une diminution des niveaux d'humidité. Les zones les plus humides peuvent être indiquées comme des zones propices à la croissance des cultures

2.2 Discussion des résultats d'indice de l'état de la végétation (VCI)

La carte représente les valeurs de VCI pour évaluer l'état de la couverture végétale. Les valeurs VCI sur cette carte varient de (0,2 à 0,7). Les valeurs minimales de (0,2) indiquent un état végétal bas et une détérioration de la couverture végétale, ce qui est représenté par la couleur orange foncé sur la carte.

Cela peut être dû à des facteurs tels que la sécheresse ou les maladies des plantes. On remarque également une différence de teinte orange, ce qui indique une amélioration de la couverture végétale. La valeur maximale de (0,7) indique un état végétal élevé et prospère.

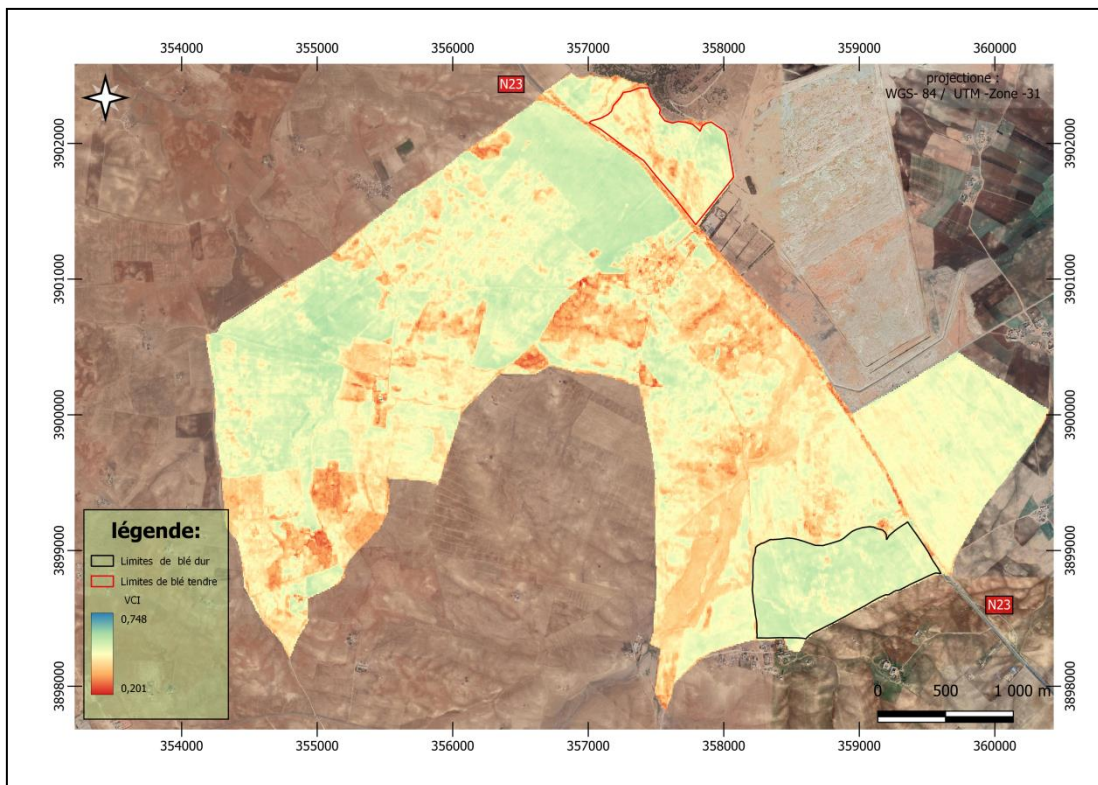


Figure 51: carte de l'état de la végétation de la zone d'étude

2.3 Discussion des résultats d'indice de santé de la végétation (VHI)

La carte de VHI peut être interprétée avec des valeurs allant de valeur minimale (0,25) et des valeur maximale (0,66) , Les valeurs inférieures à 0,25 indiquent une santé végétale très faible, causée par de longues périodes de sécheresse, des températures extrêmes ou des précipitations insuffisantes, comme le montre la couleur bleu foncé sur la carte.

Les valeurs entre 0,50 et 0,66 indiquent une bonne santé végétale, ce qui favorise la croissance des plantes et des cultures, comme le montre la couleur orange sur la carte.

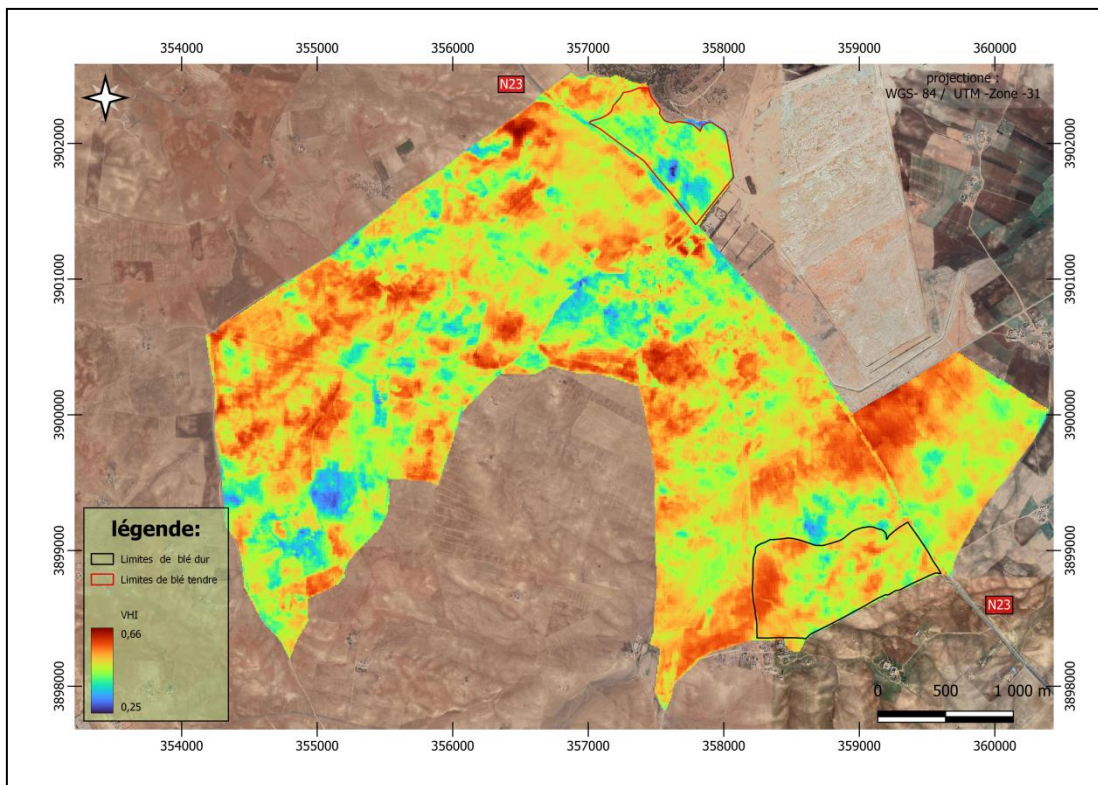


Figure 52 : carte de santé de la végétation de la zone d'étude

2.4 Discussion des résultats d'indice de la végétation (NDVI)

La carte représente les valeurs NDVI du blé dur dans la ferme expérimentale de Sherif Eddine, Sougoure, Tiaret. Les valeurs NDVI dans cette carte varient de 0,1 à 0,6, ce qui peut être interprété comme suit :

Les valeurs de 0,18 indiquent une faible couverture végétale, ce qui est attribuable à la sécheresse que l'État a connue ces dernières années. La couleur blanche visible sur la carte, de 0 à 0,2, est due à des variations de teintes vertes causées par des cultures non saines ou des types de sol. Les valeurs supérieures à 0,5 indiquent des plantes denses et des cultures vigoureuses, qui apparaissent en vert foncé sur la carte.

La carte montre donc les différentes conditions de croissance des cultures dans la ferme expérimentale, allant de faible à dense, en fonction des valeurs NDV

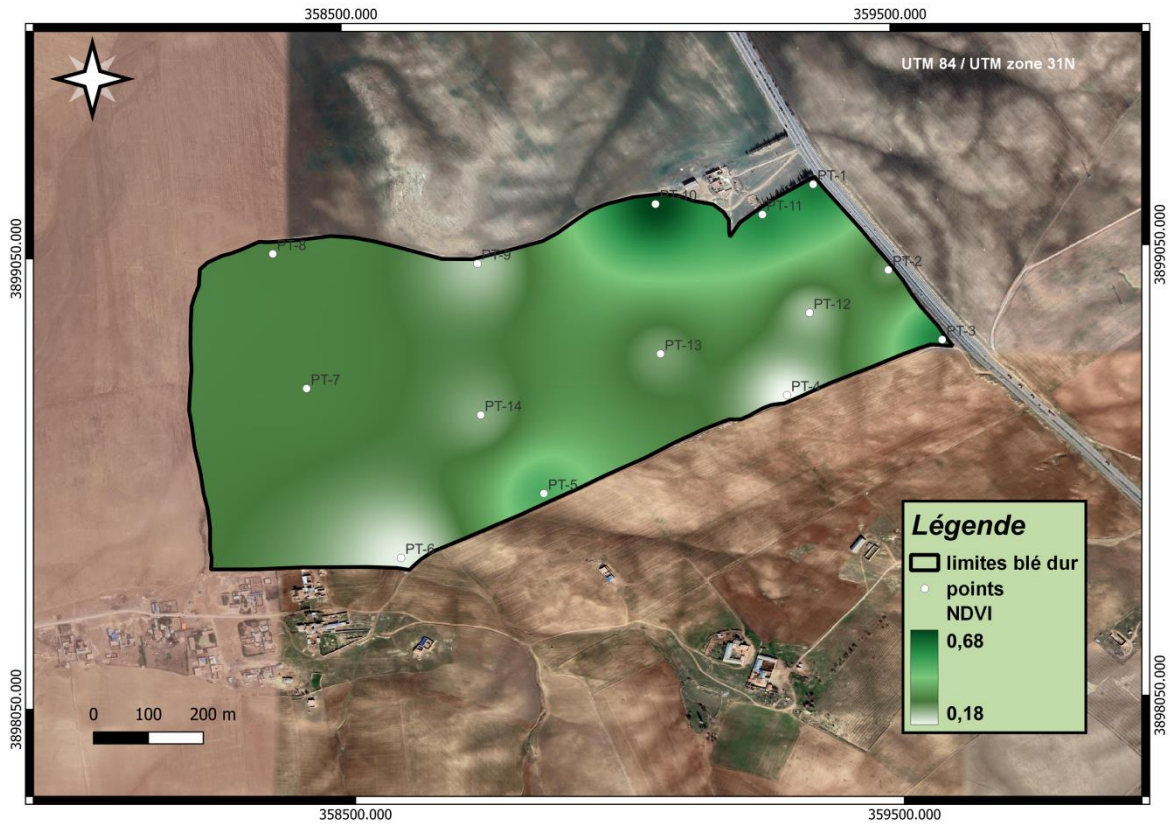


Figure 53 : carte d'indice de la végétation (NDVI) de la zone d'étude

CONCLUSION GÉNÉRALE :

Afficher l'estimation et la surveillance des cultures exposées au stress hydrique par télédétection dans la ferme expérimentale de Cherif Sougueur à Tiaret souligne son importance et ses avantages dans la gestion agricole. La télédétection peut fournir des informations précieuses sur les conditions de culture des cultures.

En utilisant les données de télédétection, il est possible d'estimer les paramètres clés liés au stress hydrique des cultures, tels que l'indice de végétation, la température de surface et l'humidité du sol. Ces informations permettent aux agriculteurs et aux décideurs de surveiller l'état des cultures et de prendre les mesures appropriées pour atténuer les effets du stress hydrique.

L'estimation et la surveillance par télédétection offrent également l'avantage de couvrir de vastes zones géographiques, ce qui permet une évaluation plus complète de l'impact du stress hydrique sur les cultures. Cela permet une meilleure planification des ressources en eau et la prise de décisions éclairées pour améliorer les cultures malgré les contraintes hydriques.

De plus, l'utilisation de la télédétection pour estimer et surveiller les cultures sous pression hydrique réduit la dépendance à l'égard des méthodes traditionnelles de collecte de données sur le terrain, qui peuvent être coûteuses et chronophages.

Cependant, il convient de noter que la télédétection seule ne peut pas résoudre tous les problèmes liés au stress hydrique des cultures. Elle doit être complétée par des mesures sur le terrain et des connaissances locales pour une évaluation plus précise.

En résumé, l'estimation et la surveillance des cultures exposées au stress hydrique par télédétection sont des outils précieux pour la gestion agricole. Elles permettent d'obtenir des informations de base sur l'état des cultures et d'améliorer les rendements malgré les contraintes hydriques. Cependant, il est nécessaire d'adopter une approche intégrée qui combine la télédétection, les mesures sur le terrain et les connaissances locales pour une gestion efficace des ressources en eau et des décisions éclairées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE :

Passioura, J. B. (1996). Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation*, 20(2), 79-83.

Sengupta, S., & Majumder, A. L. (2010). Insight into the salt tolerance factors of a wild halophytic rice, *Porteresiacarctata*: a physiological and proteomic approach. *Planta*, 232(4), 919-940

CCT (2015) : Notions fondamentales de télédétection. Centre canadien de télédétection. P 5-6, 180, 188, 163.

❖ Feller, C ; demarsily, G. 2016. Le sol une merveille sous nos pied.ed paris belin pour

❖ INRA, 2010. Carrefours de l'innovation agronomique : Légumineuses et agriculture

❖ Pousset J., 2002. Engrais verts et fertilité des sols. 2eme Edition. Editions

❖ Stengel P., Gelin S., 1998. Sol : interface fragile. Editions INRA. Paris. 213P.08P.

❖ 2eme eddunod. 448p Agridécisions. Paris. 305P.

❖ Anonyme. 1977. Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol.3eme et 4eme. Institut

apports organiques du sol. Fiche Matières organiques N°03. Provence Alpes Côte d'Azur.

-B, islam Mohammed 2017, Application des SIG & de la télédétection à l'étude de la dynamique de végétation des parcours steppiques algériens. Cas de la région de TIARET.

❖ Baize, D. 1988. Guide des analyses courantes en pédologie, PARIS. 2émé édit : INRA.257p.

❖ Bedjadj S., 2011. Contribution à l'étude des caractéristiques microbiologiques des sols dans la région de Ouargla (Cas de l'exploitation de l'université de Ouargla).Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences agronomiques option mise en valeur des sols sahariens. Université Kasdi Merbah Ouargla. Pages: 06, 07, 14, 37. 59P

❖ Benfardia H., Chenine A., 2014. . Effet de la nature du sol sur l'efficacité d'un dispositif de bio dépollution à l'aide des bactéries hydrocarbonates. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'un master académique en biologie spécialité microbiologie appliquée. Université Kasdi Merbah Ouargla .Page:22. 43P.

-BENSAID ABDELKRIM ; 2006- SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone semi-aride : (le cas de la wilaya de NAAMA- Algérie). Thèse de doctorat. Université JOSEPH FOURIER-GRENOBLE 1.p174-209.

- ❖ Benseghir A., 2006. Contribution à l'étude de l'état nutritionnel par la méthode du diagnostic foliaire de trois variétés d'abricotier (*Prunus Armenia ca L.*) en zone aride(Commune de Doucen, W. Biskra). Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, option culture spérennes. Université de Biskra. Page: 22. 43P.
 - ❖ Blanc D., 1987. Les cultures hors sol. 2eme édition. Editions INRA. Paris. 413P.
 - ❖ Calvet R., 2003. Le sol Propriétés et fonctions, Phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales. Tome2. Vol2. Editions France agricole. Paris. 513P.
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., ... &Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, 89(7), 907-916.
- ❖ CRA (Chambre régionale de l'agriculture), 2012. Les sols vivants bio : Adapter les
 - ❖ DariR., 2013.Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides, exemple d'un sol salé sous deux types de cultures. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, option mise en valeur des sols sahariens .UniversitéKasdiMerbah Ouargla. Pages:03, 34,53. 53P.
 - ❖ de technologie agricole. Mostaganem. 105p.
 - ❖ doctorat ès-science, université de Nancy-I, 202p.
 - ❖ durable. Innovations agronomiques 11. France. 1-24 / 25-44. 204P.
 - ❖ Feller, C ; demarsily, G. 2016. Le sol une merveille sous sous nos pied.ed paris belin pour la sceince. 255p
- Flexas, J., Bota, J., Escalona, J. M., Sampol, B., & Medrano, H. (2002). Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional plant biology*, 29(4), 461-471.
- ❖ Gallel, T.1980. Transfert sels-matière organique en zone arides méditerranéennes thèse de

- Hadim, R, Lbouainene, H.2020.les problématique de l'eau d'irrigation agricole en Algérie. mémoire de master, université Mouloud Mammeri Tizi ousou ,page 1
- ❖ lasceince. 255p.
- Lawlor, D. W., &Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell&Environment*, 25(2), 275-294.
- ❖ Lemaire F., Dartigues A., Charpentier S., Rivière L.M., Morel P., 2003.Cultures en pots et conteneurs : principes agronomiques et applications. 2^{eme}édition.EditionsINRA. Paris. 232P.
- ❖ Michel, C-G ; Christian, W ; Claude, R. 2011. Dénomination des sols. étude des sols.
- ❖ Montoroi J.P., 1997.Etude et gestion des sols. Conductivité électrique de lasolution du sol et d'extraits aqueux de sol : application à un sol sulfaté acide salé deBasse-Casamance (Sénégal). Article scientifique 4, (4). Editions AFES. Montpellier. P : 279-298.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- ❖ Musy A., Higy C., 2004. Hydrologie: 1 Une science de la nature.EditionsPresses polytechniques et universitaires romandes. Collection gérer l'environnement. Lausanne.314P.
- ❖ PetardJ.,1993.Lesméthodesd'analyse.Tome1,Analysedesols.Notestechniques.Laborat oirecommund'analysesN°5.Documentdetravail.EditionsORSTOM(Officedelarecherch escientifiqueettechniqueoutre-mer).NouvelleCalédonie.196P.
- ❖ Pousset J., 2002.En graisverts et fertilité des sols.2^{eme}Edition.EditionsAgridécisions.Paris. 305P.

ANNEXES

Annexe I: Modes opératoires

I.1. Analyses physico-chimiques du sol

I.1.1. Détermination du taux d'humidité

Cette analyse ne nécessite pas le broyage et le tamisage des échantillons. L'analyse du taux d'humidité des échantillons doit se faire le même jour que leur prélèvement, ceci est un renseignement important pour la connaissance de l'état hydrique du sol. Le protocole est simple et se fait comme suite :

- Peser à l'aide d'une balance de précision, une capsule en verre vide.
- Faire le tarage du poids de la capsule et peser 20g d'échantillon de sol.
- Mettre à l'étuve à 105°C, pendant 24 heures.
- Peser la capsule contenant l'échantillon séché, après l'avoir laissée refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur.

▪ Calculs

$$H = (P_{air} - P_{105^{\circ}C}) / P_{air} \times 100$$

H : Taux d'humidité en %.

P air : Poids de la terre séchée à l'air.

P 105°C : Poids de la terre après séchage à l'étuve.

I.1.2. Analyse granulométrique

- Dans un erlen, peser 20g de terre fine.
- Ajouter 50 ml d'eau oxygénée, et laisser agir toute une nuit, afin que toute la matière organique soit détruite.
- Ajouter 20ml d'eau oxygénée, et mettre sur un bain de sable sous la haute, jusqu'à disparition de la mousse.
- Pour la dispersion des éléments argileux, on utilise 25ml de la solution de pyrophosphate de sodium (20g par litre d'eau distillée) si le sol est non calcaire. Si au contraire on a un sol calcaire, on utilise 50ml de la solution de Calga(39,2métaphosphate de sodium NaPO_3 + 10g de carbonates de sodium Na_2CO_3 par litre d'eau distillée).
- Agitation mécanique pendant 2 heures.

- Verser la suspension dans un tamis de 0.05mm et rincer avec l'eau distillée, et récupérer la solution dans un bac qu'on va verser ensuite dans un cylindre grâce à un entonnoir.
- Compléter la solution versée dans le cylindre avec de l'eau distillée jusqu'au trait de 1 litre.
- Mettre le sable restant sur le tamis de 0.05mm dans un creuset à poids connu, et
- mettre à l'étuve à 105°C/ 15heures.
- Pour la fraction < 0.05mm, on agite le cylindre et on fait le prélèvement au milieu grâce à la pipette de Robinson.
- Pour la fraction de < 0.02 mm, on agite le cylindre, et on laisse reposer pendant 4min et 40 secondes, ensuite on prend un prélèvement à 10cm grâce à la pipette de Robinson
- Pour la fraction < 0.002mm, on agite le cylindre, et on laisse reposer pendant 4heures et 39 minutes, ensuite on prend un prélèvement à 6cm grâce à la pipette de Robinson.
- Les prélèvements sont mis dans des creusets à poids connus, puis ils sont séchés à l'étuve à 105°C/15heures.
- Après avoir ressorti tous les échantillons de l'étuve, on les laisse refroidir dans un dessiccateur, et on les pèse. On pèse également l'échantillon de sable, puis on le tamise à 0.2 mm, et on pèse le sable grossier qui reste dans le tamis, et le sable fin qui est passé à travers les mailles du tamis.
- Faire les calculs et déterminer la texture du sol grâce au triangle des textures.

- Calculs

$$(1) = \text{Argiles + sels solubles} = [(\text{sol sec de 6cm} + \text{tare}) - \text{tare}] \cdot 100$$

$$(2) = \text{LF} + \text{A} + \text{sels solubles} = [(\text{sol sec de 10cm} + \text{tare}) - \text{tare}] \cdot 100$$

$$(3) = \text{LG} + \text{LF} + \text{A} + \text{SS} = [(\text{sol sec du milieu} + \text{tare}) - \text{tare}] \cdot 100$$

$$(4) = \text{Sables} = (\text{sable} + \text{tare}) - \text{tare}$$

$$\text{Sable grossier} = (\text{sable grossier} + \text{tare}) - \text{tare} \quad \text{Sable fin} = \text{sable} (4) - \text{sable grossier}$$

$$\text{grossier} = (3) - (2)$$

$$\text{Limon fin} = (2) - (1)$$

$$\text{Argile} = (1) - \text{sels solubles} (2,5\text{g Calgon ou } 0,5\text{g pyrophosphate de sodium}).$$

On calcule la somme (S) et contrôle si on retrouve les 20g de terre avec lesquelles on a travaillé. Calculer les pourcentages en multipliant tous les résultats par 100/20.

I.1.3. Mesure du pH

pH eau

- - Peser 20g de terre fine dans un bécher de 250ml - Ajouter 100ml d'eau distillée au sol.
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Allumer le pH mètre et faire l'étalonnage.
- - Mettre l'électrode du pH mètre au contact du surnageant de la solution. - Lire la valeur obtenue.

pHKCl

- Dans la même solution précédente, ajouter 50ml de KCl (0,1g par litre d'eau distillée).
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- - Mettre l'électrode du pH mètre au contact du surnageant de la solution. - Lire la valeur obtenue.
- Rincer l'électrode du pH mètre avec de l'eau distillée avant et après chaque utilisation et essuyer avec du papier Joseph.

II.1.4. Mesure de la conductivité électrique

- Peser 10g de sol dans un bécher de 100ml.
- Ajouter 50ml d'eau distillée.
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Allumer le conductimètre, et rincer l'électrode par l'eau distillée et essuyer par du papier joseph.
- Mettre l'électrode dans le surnageant de la solution, et lire la valeur affichée

II.1.5. Mesure du calcaire total

- Peser 1g de terre fine dans un erlen de 250ml.
- Tenir l'appendice latéral à l'aide d'une pince métallique, et la remplir par l'HCl à 37% au 3/4.

- Sécher les parois de l'eren avec du papier joseph pour éviter le contact HCl-terre
- Ouvrir l'ampoule du calcimètre et ajuster le niveau du calcimètre à zéro.
- Relier l'eren au calcimètre, en prenant soin de bien fermer l'ouverture.
- Lire le volume du CO₂ dégagé (V₀).
- Répandre l'acide sur la terre, et lire le niveau du volume de CO₂ dégagé sur le calcimètre. (V₁).
- Pour le témoin, on remplace la terre par 0,3g de CaCO₃ et on lit le volume V₀ lorsqu'on relie l'eren avec le calcimètre, et le V₁ après le contact du HCl avec le CaCO

- **Calculs**

$$CaCO_3 \% = \frac{V_s \times mCaCO_3}{V_t \times mso} \times 100$$

msol = 1g

mCaCO₃ = 0.3g

V_s = V_{1 sol} – V_{0 sol}

V_t = V_{1 témoin} – V_{0 témoin} V₀ = Volume initial

V₁ = Volume lu

I.1.6. Dosage du calcaire actif

Le dosage du calcaire actif ne s'effectue que pour les échantillons ayant 5% ou plus de calcaire total.

- Peser 1g de terre fine dans un erlen de 250ml.
- Ajouter 100ml de la solution d'oxalate d'ammonium (14,2g par litre d'eau distillée).
- Agitation mécanique pendant 2 heures.
- Filtrer 2 fois à l'aide de papiers filtres.
- Récupérer 20ml du filtré, et mettre dans un bécher de 250ml.
- Ajouter 100ml d'eau distillée.
- Ajouter 5ml d'acide sulfurique.
- Chauffer la solution à 60°C.
- Titrer par la solution de permanganate de potassium KMnO₄ (6,32g par litre d'eau distillée), jusqu'à coloration rose persistante.

- Pour le témoin, on suit les mêmes étapes mais sans ajouter l'échantillon de terre.

Calculs

$$CaCO_3 \text{ actif } \% = 5. (N - n)$$

N : nombre de ml de $KMnO_4$ utilisés pour le témoin.

n: nombre de ml de $KMnO_4$ Utilisés pour l'échantillon de terre fine

I.1.7. Dosage du carbone organique

- Dans un erlen à col rodé, peser 1g de terre fine.
- Ajouter 10ml de solution de bichromate de potassium (8g par 100ml d'eau distillée).
- Ajouter 15ml d'acide sulfurique.
- Relier l'ouverture de l'erlen au réfrigérant, en s'assurant de bien la fermer
- Allumer l'appareil.
- Chauffer grâce à un agitateur chauffant
- Lorsque la solution commence à bouillir, on compte 5minutes, ensuite on éteint l'appareil et l'agitateur chauffant et on laisse l'erlen refroidir.
- Détacher l'erlen du réfrigérant.
- Mettre la solution dans une fiole jaugée de 100 ml, et compléter avec l'eau distillée jusqu'au trait de 100 ml.
- Agiter la fiole 10 fois.
- Laisser reposer 30min.
- Avec une pipette graduée, prélever 20 ml du surnageant, et mettre dans un bécher de 500 ml.
- Ajouter 1,5g Naf, et 3 gouttes de l'indicateur de couleur diphénylamine baryum sulfonâtes (0,5g dans 100ml acide sulfurique +20ml eau distillée et garder dans un flacon brun).
- Titrer par la solution de sel de mohr 78,4278g dans 20ml acide sulfurique H_2SO_4 et compléter à 1 litre par l'eau distillée), la solution brune au départ, deviendra bleu foncée, puis il y'aura rapidement un virage de couleur au vert foncé.
- Lire le nombre de ml de la solution de sel de mohr utilisé.
- Pour le témoin, on suit les mêmes étapes, sans ajouter l'échantillon de terre fine.

Calculs

Le calcul se fait par l'équation suivante :

$$C\% = (V' - V) \times 0,3$$

V' : quantité en ml de la solution de sel mohr utilisée pour le témoin.

V : quantité en ml de la solution de sel mohr utilisée pour les échantillons de terre.

Pour calculer la teneur en matière organique du sol (MO %, ou g/100 g de sol sec), la teneur en carbone du sol (C %, ou g/100 g de sol sec) est multipliée par un coefficient de valeur 1,72 (VAN DE KERCHOVE et al., 2006).

$$\text{Matière organique \%} = C \% \times 1,72$$

I.1.7. Dosage du sel soluble

➤ Réalisation de l'extrait de pâte saturée

(Procédure opérationnelle PopS26 de l'US49, Analyses du CIRAD de Montpellier–France)

- Dans une capsule de porcelaine on pèse 200g de sol. Ensuite, à l'aide d'une éprouvette graduée remplie d'eau distillée, on humecte le sol et on le mélange à l'aide d'une spatule, en ajoutant avec précaution de l'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte satisfaisant les conditions suivantes :
 - ✓ Elle doit couler lentement, lorsqu'on incline la capsule;
 - ✓ Sa surface doit être brillante;
 - ✓ Elle doit se détacher librement de la spatule.
- On note le volume d'eau versé.
- On rassemble cette boue au fond de la capsule ménagée un trou de 2 à 3cm³. Après une heure, si de l'eau s'est rassemblée dans le creux, le point de saturation a été dépassé, il convient d'ajouter de la terre (on notant le poids) et de renouveler les trois tests précédents.
- On laisse reposer pendant 4 heures en couvrant d'un papier filtre humide ou d'un film plastique afin d'éviter l'évaporation.
- On procède ensuite à la centrifugation de la pâte saturée, pendant 15 minutes, à 2400 tours/minute, dans des supports de godets (de 250 ml) préalablement tapissés de film plastique pour éviter les pollutions.

- Après séparation par centrifugation, on récupère l'aliquote et on mesure, ensuite, la conductivité électrique à l'aide d'un conductimètre de paillasse.
- On procède, ensuite à une filtration de l'aliquote, sur papier filtre sans cendre, afin d'éliminer les fragments de matière organique. La solution doit être parfaitement limpide.
- Les volumes récupérés sont généralement faibles mais les solutions sont concentrées. A cet effet, on effectue des dilutions (1/50 ou 1/100) après avoir mesuré la conductivité électrique. Cette solution est destinée aux analyses du bilan ionique (cations et anions solubles).
- Les chlorures sont dosés par titrimètre à l'aide d'argent (AgNO_3 en meq.l^{-1}) en présence de chromate de potassium ;
- Les carbonates (CO_3^{2-} en meq.l^{-1}) et les bicarbonates (HCO_3^- en meq.l^{-1}) sont dosés par titrimètre avec du H_2SO_4 .

I.1.8.NPK

Testeur (Ne pas l'utiliser pour mesurer un sol sec et dur ou un liquide)

Principe de fonctionnement :

Le testeur utilise la méthode électrochimique et la méthode de réduction d'ionisation.

Application :

Le testeur est destiné à une utilisation sur le terrain pour tester rapidement les niveaux instantanés d'azote, de phosphore et de potassium dans le sol.

Spécifications :

Plage de mesure : 0-1999 mg/kg (mg/l)

Résolution : 1 mg/kg (mg/l)

Précision : 2% de la pleine échelle

Température de fonctionnement : 5-45°C (41-113°F) / ATC

Fonctionnalité : Arrêt automatique après environ 8 minutes

Affichage : LCD rétroéclairé

Calibration : Calibration standard d'usine

Longueur de la sonde : 140 mm

Dimensions : Ø50,5 x 250 mm

Poids : 100 g

Alimentation : DC 9V (batterie rechargeable 9V280/6F22 NMH)

Modèle : ZD-1804N. P. K Combiné ZD-180IN CI ZD-1802P ZD-1803K

Utilisation :

1. Retirez le capuchon protecteur de la sonde en métal.
2. Appuyez sur le bouton OFF/ON. Le testeur affiche 0.
3. Test rapide : Arrosez le sol avec de l'eau distillée avant le test. Assurez-vous que l'eau pénètre d'au moins 10 cm de profondeur. L'humidité idéale est de 70 à 80 %. Insérez la sonde en métal dans le sol de manière verticale et en tournant dans le sens des aiguilles

d'une montre, à une profondeur d'environ 6 à 8 cm. Assurez-vous que le sol est en contact complet avec la sonde en métal. Après environ 6 secondes, le testeur affichera la valeur mesurée. L'étanchéité du sol peut affecter le résultat de mesure. Effectuez plusieurs tests au même endroit et à différents endroits, puis prenez la moyenne comme résultat final.

Test précis : Utilisez un récipient de 200 ml, mélangez du sol sec avec de l'eau distillée en remuant pour obtenir une consistance boueuse. Plongez la sonde en métal dans la boue jusqu'à une profondeur de 6 à 8 cm. Au bout de 6 secondes, le testeur affichera la valeur mesurée.

4. Essuyez la sonde en métal avec une serviette ou un papier après chaque test. Nettoyez-la et laissez-la sécher jusqu'à ce que l'affichage indique 0.

Pour convertir mg/kg en kg/ha :

nous avons besoin de (i) la superficie, (ii) la densité en vrac et (iii) la profondeur de la couche. Si la superficie est de 1 ha, la densité en vrac est de 1,2 t/m³ et la profondeur du sol est de 30 cm (0,3 m), le volume de la couche de sol est de $10000 \times 0,3 = 3000 \text{ m}^3$. La masse de la couche de sol est de $3000 \text{ m}^3 \times 1,2 \text{ t/m}^3 = 3600 \text{ t}$ ou 3600000 kg. Si la teneur en NO₃ par kg de sol est de 10 mg, alors $3600000 \times 10 = 36 \text{ kg}$ de NO₃/ha à une profondeur de couche de 30 cm.

Annexe III: Echelles d'interprétation des résultats

Annexe 01 : Échelle de pH des sols (feller et demarsily , 2016).

Gamme de pH	Appréciations
-------------	---------------

Inférieur à 4,5	Extrêmement acide
4,6 – 5,2	Très acide
5,3 – 5,5	Acide
5,6 – 6,0	Modérément acide
6,1 – 6,6	Légèrement acide
6,7 – 7,2	Neutre
7,3 – 7,9	Légèrement alcalin
8,0 – 8,5	Alcalin
Supérieur à 8,6	Très alcalin

Annexe 02 : Classification du degré de salinité (feller et demarsily, 2016)

Conductivité Électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Degré de salinité
2,50	Non salé
2,50-5,00	Légèrement salin
5,00-10,00	Salé
10,00-20,00	Très salé
>20,00	Extrêmement salin

Annexe 03 : L'échelle de MO % (Orand, 2001).

MO%	Nom de classe
0.5 à 1 %	Très faible en MO
1 à 2 %	Faible en MO
2 à 3 %	Moyenne (ou modérée) en MO
3 à 5 %	Elevée en MO
> à 5 %	Très élevée en MO

Annexe 04 : Normes d'appréciation du calcaire total du sol (Baize, 1988).

Caco3 Total %	< 1	Non calcaire
	1 à 5	Peu calcaire
	5 à 25	Modérément calcaire
	25 à 50	Fortement calcaire
	50 à 80	Très fortement calcaire
	Plus de 80	Excessivement calcaire

Annexc05: Classes de la qualité des sols selon leur CE (**Ramade 2008**)

Classe	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) à 25°C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Nonsalé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des Cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	salé	Diminution du rendement de la plupart des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes ont un rendement Satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Excrément sale	Seules quelques cultures satisfaisants

Annexe 06 : norme Joret-Hébert

Phosphore en ppm	Niveau
<100	Trèsfaible
100à140	Faible
140à180	Médiocre
180à220	Normal
>220	Elevé

Annexe 06 : Triangle de texture (Doucet, 2006).

