



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

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج
Université Mohammed El Bachir El Ibrahimy B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

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

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : : Science Agronomique

Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

Intitulé

L'agriculture de précision : Comment l'intelligence artificielle (IA) a révolutionné l'irrigation des cultures ?

Présenté par :

Keddouche Ilyas et Benammar Samir

Soutenu le __ / 0/ 2024, Devant le Jury :

Année Universitaire 2023/2024

Président :	M. TIAIBA Mohammed	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
Encadrant :	Mme. BOURAHLA Amel	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
Examineur :	M. DEFFAF Ammar	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.

Dédicace

À mes très chers parents, qui m'ont guidé pendant les moments les plus pénibles de ce long chemin. À ma mère, qui a été à mes côtés et m'a soutenu tout au long de ma vie afin de me voir devenir ce que je suis aujourd'hui. Merci, mes parents.

À toutes les personnes qui m'ont aidé à poursuivre mes études. À mes très chers frères et sœurs, à toute ma famille sans exception.

À tous mes amis et à toute la promotion de Master 2. À mon binôme

À celui avec qui j'ai collaboré pour la réalisation de ce mémoire.

Enfin, à tous ceux qui nous sont très chers.

Remerciement

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de cette thèse.

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de thèse Mm Bourahla A, pour ça patience, et disponibilité et surtout pour ces conseils avisés qui ont contribué à stimuler ma réflexion.

Je tiens également à remercier toute l'équipe pédagogique et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour en avoir présenté la partie théorique.

Je tiens à remercier sincèrement les personnes suivantes pour leur aide dans la réalisation de cette thèse :

- Dr Defaf Ammar, qui nous a aidé à surmonter certains des défis auxquels nous sommes confrontés dans le monde des affaires. Il a partagé avec moi ses connaissances et son expérience dans ce milieu,

- Tous les professeurs pour m'avoir accordé des interviews et répondu à mes questions sur la culture du monde de l'entreprise et leurs expériences personnelles. Ils ont bénéficié d'un grand soutien dans l'élaboration de cette thèse.

- Mon ami Amir Belaifa, pour avoir relu mon message et l'avoir corrigé. Ses conseils en matière de rédaction ont été extrêmement précieux.

- Mes parents pour leur soutien et leurs encouragements constants.

Table des matières

Table des matières	3
Liste des figures	5
المخلص	7
Résumé	7
Abstract	8
Introduction	10
Chapitre I. Evolution de l'agriculture vers la précision	13
I.1. Historique de l'agriculture traditionnelle	13
I.1.a. Apparition de l'agriculture Au Néolithique	13
1.1.b. Antiquité Au Moyen Âge	14
I.1.c. Innovations des temps moderne	14
I.1.d. Révolution de la seconde moitié du XXe siècle	15
I.2. Défis auxquels l'agriculture traditionnelle a été confrontée	15
I.3. Introduction en l'agriculture de précision comme solution	16
Chapitre II. Le principe de l'Agriculture de Précision	18
II.1. L'agriculture de précision	18
II.2. Les technologies utilisées dans l'agriculture de précision	18
II.2.a. Système d'information géographique(SIG)	18
II.2.b. Drones	18
II.2.c. Capteur et la télédétection	20
II.2.d. Robot agricole	22
II.3. Rôle de l'intelligence artificiel dans analyse des données recueillies	23
Chapitre III : Importance de l'irrigation dans l'agriculture	26
III.1. Importance de l'irrigation dans la croissance des cultures	26
III.2. Les défis liés à l'irrigation inefficace	26
III.3.Lien entre l'irrigation de précision et la gestion de l'eau	27
Chapitre IV : L'intelligence artificielle dans l'irrigation de précision	29
IV.1. Explication de la manière dont l'IA analyse les données pour optimiser l'irrigation.	
IV.2. Exemples de systèmes utilisant l'IA pour la gestion de l'eau dans l'agriculture	30
IV.3. Avantages de l'utilisation de l'IA dans l'irrigation	31

Chapitre V:Etude de cas	33
V.1. Présentation de cas réels où l'agriculture de précision a transformé l'irrigation.	33
<i>Conclusion</i>	38
<i>Perspectives d'Avenir</i>	40
<i>Références bibliographiques</i>	42

Liste des figures

Figure 01 : processus de labour dans l'agriculture de précision	13
Figure 02 : La carte topographique de bassin versant de l'oued Douimis à Tunis	19
Figure 03 : Drone agricole	19
Figure 04 : Image de spectrale des zones agricole	20
Figure 05 : capteur météorologique	21
Figure 06 : Visualisation du bilan hydrique d'une parcelle agricole	21
Figure 07 : Robot de désherbage	23
Figure 08 : Schéma de plantation du champ utilisant des systèmes d'irrigation goutte à goutte parcelle (A) : Système d'irrigation intelligent, Parcelle (B) :	34
Figure 09 comparaison de la consommation d'eau entre deux parcelles durant La période de croissance des plantes	35
Figure 10 : évolution végétation durant tout cycle de plante	36
Figure 11 : Analyse comparative de quantités de tubercules Produits dans les deux parcelle	37

المخلص

تخطو الزراعة الحديثة خطوة كبيرة إلى الأمام بفضل التقدم التكنولوجي مثل الزراعة الدقيقة واستخدام الذكاء الاصطناعي. على

سبيل المثال، تُستخدم أجهزة الاستشعار البصرية لجمع بيانات مفصلة عن المحاصيل، مما يسمح للمزارعين بمراقبة نموها عن كثب واتخاذ

قرارات مستنيرة بشأن الممارسات الزراعية

يعد الذكاء الاصطناعي في الزراعة ابتكارًا رئيسيًا آخر يساعد على زيادة إنتاجية المحاصيل. ويمكن لهذه الآلات الآلية أداء

مجموعة متنوعة من المهام، مثل البذر والحصاد ورش المبيدات الحشرية، بدقة وكفاءة أكبر مقارنة بالعمل اليدوي. وهذا لا يؤدي إلى

تحسين العمليات الزراعية فحسب، بل يقلل أيضًا من تكاليف العمالة ويحسن الإنتاجية.

يعد الري الذكي أيضًا مجالًا متزايدًا للزراعة الدقيقة. وباستخدام الأنظمة القائمة على الذكاء الاصطناعي، يستطيع المزارعون

تحسين استخدام المياه بناءً على احتياجات المحاصيل المحددة، وبالتالي تقليل الهدر والتبخر. وهذا لا يوفر موارد المياه فحسب، بل يساعد

أيضًا في الحفاظ على البيئة عن طريق تقليل البصمة البيئية للزراعة.

بشكل عام، يمثل إدخال الزراعة الدقيقة واستخدام الذكاء الاصطناعي في الزراعة حلولاً مبتكرة توفر العديد من الفوائد للمزارعين

والبيئة. ومن خلال تمكين إدارة أكثر دقة وكفاءة للموارد الزراعية، تلعب هذه التقنيات دورًا حاسمًا في تعزيز الممارسات الزراعية

المستدامة وضمان الأمن الغذائي على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: الزراعة الحديثة، الزراعة الدقيقة، الذكاء الاصطناعي، الري الذكي

Résumé

L'agriculture moderne fait un grand pas en avant grâce à des avancées technologiques telles que **l'agriculture de précision** et l'utilisation de **l'intelligence artificielle (IA)**. Les capteurs optiques, par exemple, sont utilisés pour recueillir des données détaillées sur les cultures, permettant aux agriculteurs de surveiller de près leur croissance et de prendre des décisions éclairées sur les pratiques agricoles.

L'intelligence artificielle est une autre innovation majeure qui contribue à augmenter les rendements des cultures. Ces machines automatisées peuvent effectuer une variété de tâches, telles que le semis, la récolte et la pulvérisation de pesticides, avec une précision et une efficacité accrue par rapport au travail manuel. Cela permet non seulement d'optimiser les processus agricoles, mais aussi de réduire les coûts de main-d'œuvre et d'améliorer la productivité.

L'irrigation intelligente est également un domaine en plein essor de **l'agriculture de précision**. En utilisant des systèmes basés sur l'IA, les agriculteurs peuvent optimiser l'utilisation de l'eau en fonction des besoins spécifiques des cultures, réduisant ainsi les déchets et l'évaporation. Cela non seulement économise les ressources en eau, mais contribue également à préserver l'environnement en réduisant l'empreinte écologique de l'agriculture.

Dans l'ensemble, l'introduction de **l'agriculture de précision** et l'utilisation de l'IA dans l'agriculture représentent des solutions innovantes qui offrent de nombreux avantages aux agriculteurs et à l'environnement. En permettant une gestion plus précise et efficace des ressources agricoles, ces technologies jouent un rôle crucial dans la promotion de pratiques agricoles durables et dans la garantie de la sécurité alimentaire à long terme.

Mots clés : l'agriculture moderne, l'agriculture de précision, intelligence artificielle, l'irrigation intelligente

Abstract

Modern agriculture is taking a big step forward thanks to technological advancements such as **precision farming** and the use of artificial intelligence (AI). Optical sensors, for example, are used to collect detailed data on crops, allowing farmers to closely monitor their growth and make informed decisions about agricultural practices.

Intelligent artificial is another major innovation that helps increase crop yields. These automated machines can perform a variety of tasks, such as sowing, harvesting and spraying pesticides, with greater precision and efficiency compared to manual labor. This not only optimizes agricultural processes, but also reduces labor costs and improves productivity.

Smart irrigation is also a growing area of **precision agriculture**. Using AI-based systems, farmers can optimize water use based on specific crop needs, thereby reducing waste and evaporation. This not only saves water resources, but also helps preserve the environment by reducing the ecological footprint of agriculture.

Overall, the introduction of **precision agriculture** and the use of AI in agriculture represent innovative solutions that provide many benefits to farmers and the environment. By enabling more precise and efficient management of agricultural resources, these technologies play a crucial role in promoting sustainable agricultural practices and ensuring long-term food security.

Key words : Modern agriculture, Precision agriculture, Intelligent artificial, Smart irrigation

Introduction

L'Agriculture, en assurant la subsistance de 2,57 milliards de personnes, incluant à la fois les travailleurs du secteur et les membres de leur famille, sans emploi représente 42% de la population mondiale. Encore aujourd'hui, elle reste le moteur des économies de la plupart des pays en développement.

Dans les pays industrialisés, les exportations agricoles ont atteint 290 milliards de dollars en 2001. Dans l'histoire de l'humanité, peu de pays ont connu une croissance économique rapide et ont réussi à vaincre la pauvreté sans que ces progrès ne soient précédés ou accompagnés du développement de l'agriculture (**Zeven et al., 1985**).

Modernisation et l'amélioration de l'efficacité de l'agriculture sont des défis constants dans un contexte d'augmentation de la population, d'épuisement des ressources naturelles, d'attention accrue accordée au secteur industriel au détriment de l'industrie agricole, ainsi que d'inquiétudes croissantes résultant de la pollution et des risques sanitaires causés par des aliments contaminés. C'est grâce à ces facteurs que l'agriculture moderne a émergé, qui repose principalement sur une technologie ayant des applications dans l'amélioration de la fertilité des sols, la nutrition des sols appauvris, la stimulation de la croissance des plantes et, finalement, l'utilisation d'une génétique améliorée pour augmenter la productivité et l'efficacité (**Attef., 2022**).

L'Agriculture utilise 85 % de l'eau douce disponible sur la planète. En plus de se concentrer sur les applications de l'IA dans ce domaine, il est essentiel de gérer efficacement cette ressource vitale compte tenu de sa forte consommation.

L'Intelligence artificiel peut contribuer à cette efficacité de diverses manières. Une approche consiste à surveiller automatiquement et en temps réel l'humidité du sol pour évaluer les besoins en irrigation. Ainsi, l'apport en eau aux cultures peut être ajusté en fonction des besoins réels, évitant ainsi un gaspillage d'eau à grande échelle.

Cette intervention peut être optimisée au fur et à mesure que l'algorithme d'apprentissage automatique acquiert une meilleure compréhension des réactions des cultures et des sols à l'irrigation, en tenant compte des changements environnementaux. De plus, l'IA peut analyser les données météorologiques et climatiques pour optimiser le calendrier d'irrigation des cultures (**Tanha et al., 2020**).

Dans cette étude, nous explorerons comment l'intelligence artificiel peut être appliquée à l'agriculture de précision, en mettant particulièrement l'accent sur l'importance de l'irrigation des cultures et en examinant les principaux objectifs de l'irrigation intelligente, les technologies sous-jacentes et les avantages qu'elle offre aux agriculteurs et à l'environnement, Enfin, nous discuterons des défis et opportunités futur dans ce domaine en pleine croissance.

Chapitre I.
***Evolution de l'agriculture vers la
précision***

Chapitre I. Evolution de l'agriculture vers la précision

I.1. Historique de l'agriculture traditionnelle

L'agriculture traditionnelle constitue un élément essentiel de l'histoire humaine, depuis ses origines primitives jusqu'à ses développements modernes.

Ce parcours historique met en lumière l'adaptabilité et l'ingéniosité de l'homme dans sa relation avec la terre et la production alimentaire, De la transition de la chasse et la cueillette à la sédentarisation, jusqu'aux avancées technologiques contemporaines, chaque étape reflète une évolution significative de nos sociétés et de nos modes de vie (Neveu., 2021).

Dans cette synthèse, nous explorerons les origines, les défis, les succès et l'impact de l'agriculture traditionnelle à travers les âges (Figure 01).



Figure 01. Processus de labour dans Agriculture traditionnelle (Martin., 2016)

I.1.a. Apparition de l'agriculture Au Néolithique

L'Agriculture est née il y a environ 12 000 ans au Moyen Orient, un peu plus tard en Chine, en Nouvelle Guinée, puis en Amérique centrale, avant de s'étendre à l'ensemble des continents.

Les hommes ont ainsi progressivement cessé de vivre de chasse, de pêche et de cueillette pour se consacrer aux premières cultures de céréales et à l'élevage de quelques animaux récemment domestiqués.

Ces premières cultures ont été réalisées sur brulis de forêts ou de savanes, avec des outils très simples, en général de bois et de pierre taillée.

Dans le même temps, sans doute pour des raisons de proximité des cultures et de surveillance des animaux, les populations d'agriculteurs se sont sédentarisées.

Le développement de l'agriculture a permis une augmentation sensible et une sécurisation des ressources alimentaires de ces petits groupes humains, avec comme conséquences l'augmentation de la

population agricole, puis rurale et enfin urbaine. Des classes dirigeantes se sont formées, avec de nouveaux rapports sociaux de dominants (dans les villes) à dominés (dans les campagnes).

Pour finir, cette révolution du néolithique a conduit à la constitution de grands empires comme les empires romains, perses ou chinois (Neveu., 2021).

1.1.b. Antiquité Au Moyen Âge

Pendant toute l'Antiquité, et malgré quelques progrès toujours très lents à s'imposer, les techniques culturales sont longtemps restées assez frustrées : *labour avec un araire, longues périodes de jachère, et l'emploies bœufs pour labourer*, s'est cependant assez souvent substitué à la houe.

L'utilisation du fer dans les outils agricoles ne s'est propagée que partiellement, car souvent limitée aux engins coupants (faucille) ou à la pointe des socs.

En revanche, les techniques d'irrigation ont permis de cultiver des sols désertiques (en Égypte notamment) et d'augmenter les rendements (comme pour le riz en Chine).

En Europe, tout au long du Moyen Âge, une succession de petites innovations a permis de changer progressivement les modes de culture : *charrue à versoir, collier d'épaule pour les chevaux de trait, moulins à eau et à vent, assolement triennal*. Ces innovations ont permis de multiplier les défrichements et de nourrir une population plus nombreuse. Mais les rendements unitaires restaient bien faibles (moins de 10 quintaux de blé par hectare) et très aléatoires (Neveu., 2021)

1.1.c. Innovations des temps moderne

Première révolution agricole des temps modernes débute au XVI^e siècle en Italie, dans les Flandres et en Grande Bretagne.

Le système de polyculture élevage qui s'y développe, permet d'enrichir les sols grâce aux déjections animales. En Grande Bretagne, avec la règle des enclosures, les propriétaires, devenus maîtres chez eux, éliminent la vaine pâture. Ainsi la jachère disparaît peu à peu au profit des plantes sarclées ou des prairies artificielles.

Ces améliorations se diffusent peu à peu à l'ensemble du continent européen. Au XIX^e siècle, les machines agricoles tractées par des chevaux ou mues à la vapeur commencent se multiplier notamment les faucheuses, les batteuses et même, dans les grandes plaines américaines, les premières moissonneuses-batteuses. Avec le développement du commerce maritime au long-cours, les plantes voyagent beaucoup et colonisent de nouvelles terres dès lors que les conditions pédoclimatiques leurs sont favorables. C'est le cas du *maïs, de la canne à sucre, du café, du cacao* et d'un grand nombre de fruits et de légumes totalement inconnus hors de leur aire d'origine (Neveu., 2021).

I.1.d. Révolution de la seconde moitié du XXe siècle

A partir de 1950 en Europe, le progrès agricole fait un véritable bond en avant. Il repose sur le triptyque :

- *Semences améliorées*
- *Utilisation massive d'engrais chimiques*
- *Multiplification des traitements contre les ennemis des cultures.*

Les rendements progressent très rapidement puisque, dans les terres céréalières, ceux-ci passent de moins de 20 quintaux par hectare avant-guerre à près de 80 à la fin du XX e siècle.

Dans le même temps, la mécanisation explose, assurant une augmentation considérable de la productivité du travail, qui à son tour induit un exode rural massif mais aussi nécessite un agrandissement de la taille des parcelles et des exploitations. Un phénomène analogue se produit en élevage, avec des troupeaux de plus en plus conséquents et plus productifs.

Dans le Tiers monde, la révolution verte utilise les mêmes facteurs de production (*auxquels s'ajoute souvent l'irrigation*), et conduit également à une augmentation très significative de la production agricole. Les grandes famines disparaissent et la pénurie régresse.

En revanche, les structures de production sont peu modifiées, car, en milieu rural, la pression démographique reste forte, et les micro-exploitations demeurent la règle (Neveu., 2021).

I.2. Défis auxquels l'agriculture traditionnelle a été confrontée

Voici une explication plus détaillée de ces points :

❖ **Utilisation d'outils simples** : Dans l'agriculture traditionnelle, les agriculteurs utilisent souvent des outils manuels simples tels que *des bêches, des houes et des faucilles*. Bien que ces outils aient été utilisés avec succès pendant des générations, ils peuvent nécessiter plus de temps et d'efforts pour effectuer des tâches telles que *le labourage, la plantation et la récolte* par rapport aux machines modernes utilisées dans l'agriculture conventionnelle (Altieri., 2021).

❖ **Coût élevé des récoltes** : En raison du temps prolongé nécessaire pour planter et récolter les cultures avec des outils manuels, le coût de la main-d'œuvre peut être plus élevé dans l'agriculture traditionnelle par rapport à l'agriculture conventionnelle, où des machines mécanisées peuvent accélérer ces processus (Altieri., 2021).

❖ **Exposition aux maladies du sol** : L'agriculture traditionnelle repose souvent sur des pratiques telles que la décomposition naturelle du sol et la rotation des cultures pour maintenir la fertilité du sol. Cependant, cela peut rendre les cultures plus exposées aux maladies du sol, car les pratiques de gestion traditionnelles peuvent ne pas toujours offrir une protection adéquate contre ces maladies (Altieri., 2021).

❖ **Risques liés aux pesticides** : Alors que l'agriculture conventionnelle utilise souvent des pesticides chimiques pour lutter contre les ravageurs et les maladies des cultures, ceux-ci peuvent avoir des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine s'ils sont mal utilisés ou appliqués de manière excessive. Dans l'agriculture traditionnelle, les agriculteurs peuvent également utiliser des méthodes de lutte contre les ravageurs et les maladies, mais celles-ci peuvent être moins efficaces et nécessiter plus de travail manuel pour leur application (Altieri., 2021).

Il est important de noter que l'agriculture traditionnelle présente également des avantages, tels que :

- *La préservation des connaissances traditionnelles et des pratiques durables,*
- *La diversification des cultures et la résilience aux changements environnementaux.*

Cependant, pour relever les défis mentionnés ci-dessus, il peut être nécessaire d'introduire des pratiques agricoles modernisées et des technologies appropriées tout en préservant les aspects positifs de l'agriculture traditionnelle (Altieri., 2021).

I.3. Introduction en l'agriculture de précision comme solution

En tant que solution innovante pour réduire les obstacles de l'agriculture traditionnelle, nous constatons que l'agriculture de précision est plus efficace car elle contient des dispositifs et des programmes qui contribuent à l'agriculteur en fournissant des études précises en plus de faciliter la gestion de grandes terres agricoles en un temps record.

Chapitre II.

Le principe de l'Agriculture de

Précision

Chapitre II. Le principe de l'Agriculture de Précision

II.1. L'agriculture de précision

L'agriculture de précision (AP) révolutionne le secteur agricole en s'appuyant sur des outils technologiques de pointe et l'analyse de données pour optimiser les pratiques agricoles et maximiser le potentiel de chaque zone d'un champ.

Cette approche innovante, a connu ses débuts avec le guidage GPS des tracteurs, permettant une conduite automatisée basée sur des cartes géographiques précises. Depuis lors, le domaine de l'AP s'est considérablement développé, offrant aux agriculteurs une multitude de technologies pour une gestion optimisée des ressources et une augmentation durable de la productivité (Getmos et *al.*, 2013).

Il est nécessaire d'utiliser des équipements et des logiciels spéciaux de l'agriculture de précision pour collecter et analyser toutes les informations. Prenant en considération que ces technologies utilisent le matériel et les logiciels spécifiques, on a besoin des spécialistes appropriées.

Dans ce cas-là, avec plus de travail, les agriculteurs peuvent se débrouiller eux-mêmes. Les outils de l'agriculture de précision peuvent être divisés en terrestres, aériens et satellites. Le premier couvre la planification de la production, la cartographie, le dépistage et le contrôle des véhicules. Les deux derniers sont utilisés pour résoudre des problèmes plus globaux, par exemple, l'analyse en temps réel de l'état du rendement de n'importe quelle place. Il est recommandé de mélanger les techniques de l'agriculture de précision pour obtenir des données objectives (Atkinson, D. S., 2019).

II.2. Les technologies utilisées dans l'agriculture de précision

II.2.a. Système d'information géographique (SIG)

Système d'information géographique est une base des données numérisées dans laquelle sont stockées des informations variées mais ayant un dénominateur commun : elles sont toutes repérées par leur position géographique à la surface de terre.

On dit, de ce fait, quelles sont géocodées ou géoréférencées, d'où l'expression aussi employer de système d'information géocodée.

Un SIG peut stocker des informations sur des objets de nature très diverse, par exemple : topographique, climatique, pédologique, agronomique (Brabant.,1993).

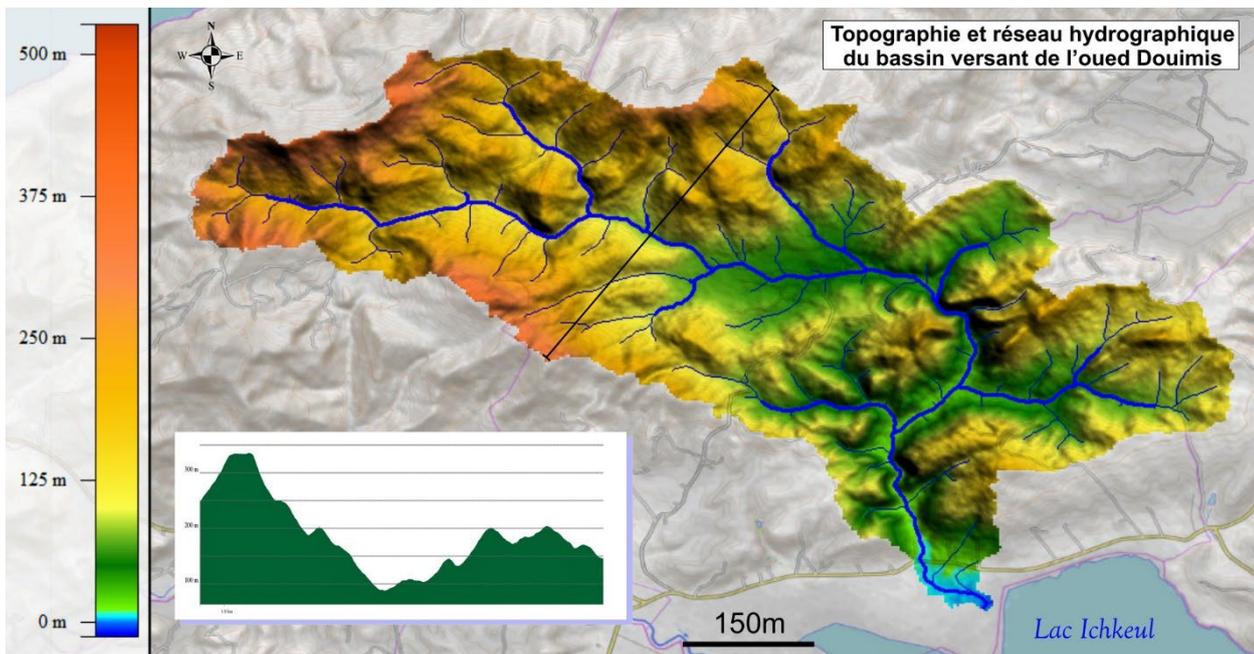


Figure02 : La carte topographique de bassin versant de l'oued Douimis à Tunis (Brahim jaziri.,2020)

II.2.b. Drones

Les drones, qui sont définis comme étant des objets volants sans équipage humain et guidés à distance, existent à tous les formats, mesurant de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres et pesant de quelques grammes à plus d'une tonne (**Jeanne., 2022**).

Le drone dédié à l'agriculture, a un diamètre d'un peu plus de deux mètres et pèse dix kilogrammes à vide. Il transporte une masse maximale de quinze kilogrammes, dont cinq de matériel agricole(**figure03**) et dix sous la forme de graines ou de produits de bio-contrôle à répandre par exemple.



Figure03. Drone agricole (**Mustafah., 2023**)

Les drones peuvent devenir de bons guides et alliés pour les agriculteurs grâce au suivi et à la planification des cultures, à l'analyse des sols grâce à l'imagerie spectrale des zones agricoles (**Figure04**), et à la capacité de déployer une stratégie d'irrigation sur mesure et de diffuser des intrants (notamment des engrais et des solutions de bio-contrôle, y compris des produits phytosanitaires). En effet, dans un contexte difficile où l'eau est devenue une ressource précieuse, tout dispositif permettant de réduire sa consommation doit être examiné (**Jeanne., 2022**).

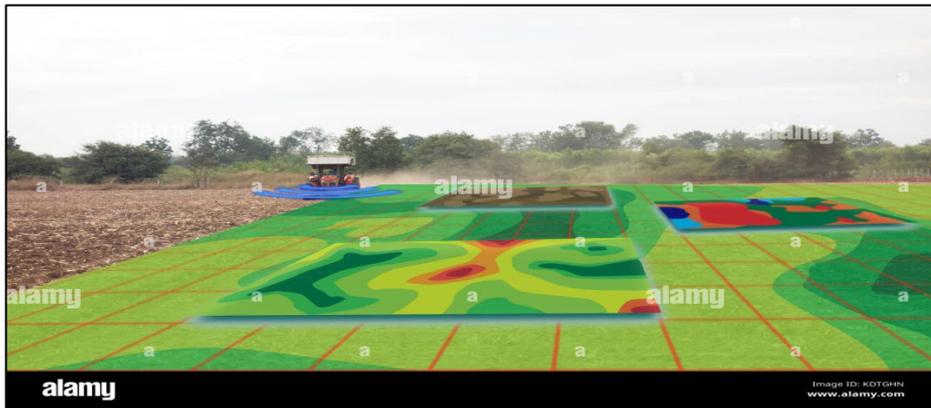


Figure04. L'imagerie spectrale des zones agricoles (**Wilson., 2021**)

Il en est de même au niveau de la pollution de l'eau, une utilisation parcimonieuse et néanmoins suffisante de substances chimiques, permettant de limiter la pollution des cours d'eau et nappes phréatiques, devrait être examinée avec attention, d'autant plus que cette dernière peut avoir des conséquences néfastes sur la santé publique (**Jeanne., 2022**).

II.2.c. Capteur et la télédétection

L'agriculture de précision est une approche qui révolutionne le secteur agricole en permettant aux agriculteurs de collecter des données détaillées sur leurs cultures à l'aide de divers capteurs optiques (**Figure 05**). Ces données fournissent des informations précises sur les plantes et les sols, ce qui permet d'améliorer la productivité, la durabilité et la rentabilité des cultures (**Donald., 2023**).

Les capteurs RVB (Rouge Vert Bleu) sont utilisés pour cartographier les plantes à différents stades de croissance et mesurer la couleur des feuilles. Ils aident également à identifier les zones nécessitant une attention particulière. Contrairement à ces capteurs, les capteurs hyper-spectraux mesurent la réflexion de la lumière dans plusieurs bandes de longueurs d'onde, ce qui permet d'obtenir des informations plus détaillées sur la composition chimique et la santé des plantes, ainsi que sur leur état de maturité. Ces capteurs fournissent des données sur la densité des feuilles, la teneur en eau, la chlorophylle et la concentration en éléments nutritifs du sol.

De plus, les capteurs infrarouges mesurent le rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi par les cultures dans le spectre infrarouge. Ils peuvent mesurer la température des cultures et leur teneur en

eau(Figure 06), ce qui est important pour évaluer la croissance des plantes et prendre des décisions agricoles éclairées (Donald., 2023).

Quant à la télédétection, elle est utilisée en agriculture depuis les années 1980. Les satellites fournissent des images à l'échelle des bassins de production avec une bonne résolution temporelle. La réflectance, qui mesure la capacité d'une surface à réfléchir l'énergie incidente, est utilisée pour obtenir des informations sur les cultures. Chaque type de plante ou d'arbre possède une signature spectrale unique qui dépend de sa croissance et des conditions environnementales, ce qui permet de les distinguer et d'analyser leur santé (Bernard., 2016).

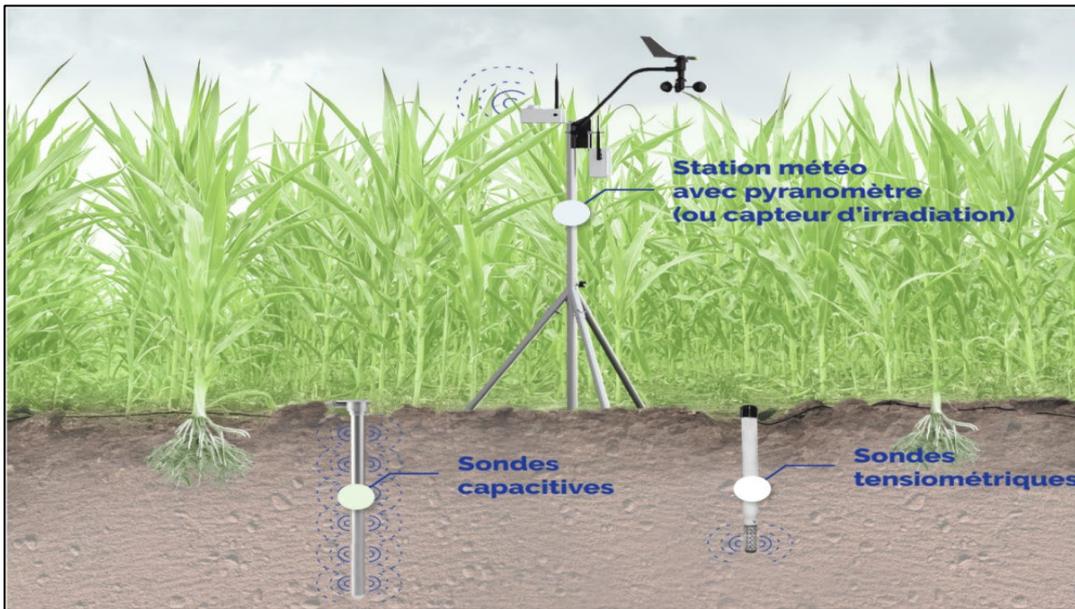


Figure05. Différent type des sonde et capteur météo (Costanzo., 2016).

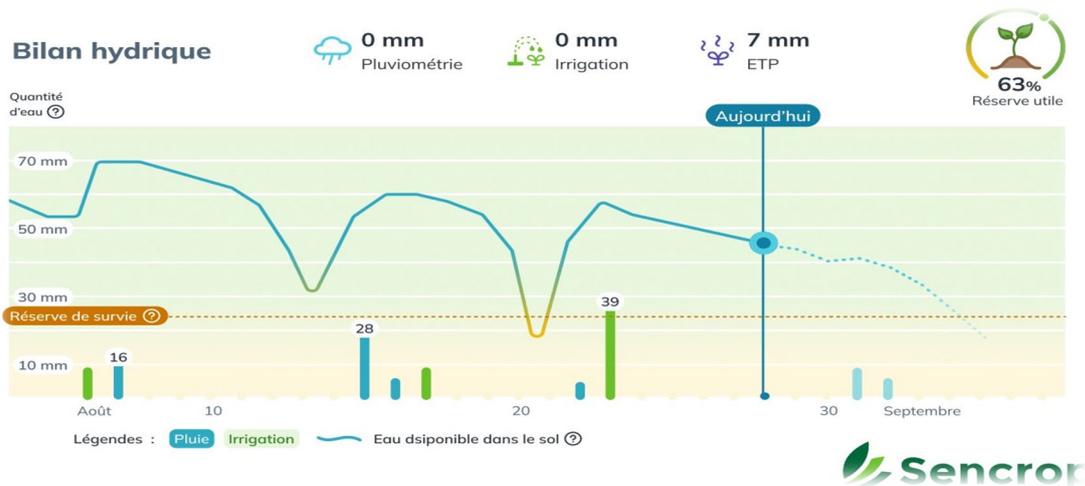


Figure06. Visualisation du bilan hydrique d'une parcelle agricole ((Grégory., 2017)

En résumé, l'utilisation de ces technologies de capteurs optiques et de télédétection permet aux agriculteurs d'obtenir des données précises sur leurs cultures, ce qui leur permet de prendre des décisions éclairées et d'améliorer la production agricole de manière significative.

II.2.d. Robot agricole

Les robots agricoles ont révolutionné l'industrie agricole en automatisant un large éventail de tâches, ce qui permet aux agriculteurs d'augmenter leur productivité tout en réduisant leurs coûts et leur dépendance à l'égard de la main-d'œuvre humaine (**Wilson., 2023**).

Voici une explication plus détaillée des principaux avantages de l'utilisation de robots agricoles (**Wilson., 2023**).

❖ **Réduction des coûts de main-d'œuvre** : Les robots agricoles permettent de réduire considérablement les coûts de main-d'œuvre, car ils peuvent accomplir des tâches agricoles rapidement et efficacement avec moins de personnel. Cela permet aux agriculteurs d'économiser sur les salaires et les dépenses liées à l'emploi de travailleurs saisonniers.

❖ **Rendements plus élevés** : Grâce à leur capacité à effectuer des tâches agricoles de manière précise et cohérente, les robots agricoles contribuent à augmenter les rendements des cultures. Ils peuvent planter, arroser, désherber (**figure 07**) et récolter de manière optimale, ce qui garantit une croissance saine des cultures et un meilleur rendement global.



Figure07. Robot de désherbage (Nathalie., 2019)

❖ **Occupation d'un espace réduit** : Contrairement aux équipements agricoles traditionnels, les robots agricoles sont souvent de taille réduite et peuvent opérer dans des espaces restreints. Cela est particulièrement avantageux pour les agriculteurs disposant de petites exploitations ou de parcelles de terrain irrégulières.

❖ **Réduction des erreurs** : Les robots agricoles sont équipés de capteurs avancés et de logiciels de pointe qui leur permettent d'effectuer des tâches avec une précision exceptionnelle. Ils peuvent éviter les

obstacles, détecter les mauvaises herbes et ajuster automatiquement leurs opérations en fonction des conditions environnementales, ce qui réduit les erreurs et améliore la qualité des cultures.

❖ **Utilisation plus efficace des pesticides** : Les robots agricoles peuvent appliquer des pesticides de manière précise et ciblée, ce qui réduit le gaspillage et minimise l'exposition des cultures aux produits chimiques nocifs. Cela contribue à une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement.

En résumé, l'utilisation de robots agricoles offre de nombreux avantages aux agriculteurs, notamment une réduction des coûts, des rendements plus élevés, une occupation d'espace réduite, une réduction des erreurs et une utilisation plus efficace des pesticides. Ces avantages contribuent à améliorer la productivité, la rentabilité et la durabilité des exploitations agricoles, ce qui en fait une solution précieuse pour répondre aux défis de l'agriculture moderne.

II.3. Rôle de l'intelligence artificiel dans analyse des données recueillies

L'IA offre aux agriculteurs des outils précieux pour optimiser leurs opérations à travers chaque étape du cycle de production agricole. Voici quelques façons dont l'IA est utilisée pour améliorer la prise de décision dans l'agriculture :

- ✓ **Optimisation des cultures** : En analysant des données telles que les conditions météorologiques, les types de sols et les cycles de croissance des plantes, l'IA peut recommander les meilleures cultures à planter dans une région donnée, ainsi que les pratiques de culture les plus efficaces.
- ✓ **Gestion des récoltes** : L'IA peut aider à prédire le moment optimal pour la récolte en analysant les données sur la maturité des cultures, les conditions météorologiques prévues et les demandes du marché. Cela permet aux agriculteurs de planifier leurs activités de récolte de manière plus efficace.
- ✓ **Gestion des ressources** : En surveillant les niveaux d'eau, les niveaux de nutriments dans le sol et d'autres facteurs environnementaux, l'IA peut aider les agriculteurs à gérer efficacement leurs ressources, en minimisant le gaspillage et en maximisant les rendements.
- ✓ **Lutte contre les ravageurs et les maladies** : En analysant des données telles que les modèles de propagation des maladies et les comportements des ravageurs, l'IA peut aider à détecter les menaces potentielles plus tôt et à recommander des stratégies de lutte ciblées, réduisant ainsi les pertes de récolte.
- ✓ **Optimisation des intrants agricoles** : En analysant les données sur l'utilisation passée d'intrants tels que les engrais et les pesticides, ainsi que les performances des cultures, l'IA peut recommander des quantités et des types d'intrants plus efficaces, réduisant ainsi les coûts et minimisant les impacts environnementaux.
- ✓ **Prévisions de rendement** : En combinant des données historiques sur les rendements agricoles avec des variables telles que les conditions météorologiques et les pratiques de gestion, l'IA peut fournir des prévisions de rendement précises, aidant les agriculteurs à planifier leurs activités de manière proactive.

✓ *Personnalisation des recommandations* : Les systèmes basés sur l'IA peuvent être adaptés aux besoins spécifiques de chaque exploitation agricole, en prenant en compte des facteurs tels que la localisation géographique, le type de culture et les préférences de gestion de l'agriculteur (Alcolea., 2024).

En fournissant des informations précises et personnalisées, l'IA permet aux agriculteurs de prendre des décisions plus éclairées et de maximiser leur productivité tout en minimisant leur impact sur l'environnement.

Chapitre III : Importance de l'irrigation dans l'agriculture

Chapitre III : Importance de l'irrigation dans l'agriculture

III.1. Importance de l'irrigation dans la croissance des cultures

L'irrigation est définie comme le processus consistant à apporter de l'eau artificiellement aux terres cultivées, cette pratique, qui remonte à l'Antiquité, est répandue dans le monde entier, avec une grande variété de technique et d'application selon les régions (**Gottman., 1939**).

L'irrigation vise à fournir aux zones agricoles l'eau nécessaire aux usages agricoles de manière précisément calculée en fonction du climat, de la topographie et de la nature du sol (acidité, granularité), fournir de l'eau au sol maintient la teneur en humidité nécessaire à la croissance des plantes et lave le sol des sels en excès, afin de maintenir une concentration acceptable de salinité dans la zone des racines des plantes (**Meloareu., 2005**).

L'irrigation dans les zones sèches et pendant les périodes de précipitations inférieure à la moyenne favorise la croissance des cultures agricoles, l'entretien des paysages et la revégétalisation des sols perturbés, l'irrigation a également d'autres utilisations dans la production agricole, notamment la protection contre le gel, la suppression de la croissance des mauvaises herbes dans les champs de céréales et la prévention du durcissement du sol

(**Williams., 2007**).

III.2. Les défis liés à l'irrigation inefficace

L'irrigation est un élément essentiel de la production agricole car elle peut grandement affecter la quantité et la qualité des récoltes.

D'un autre côté, si l'irrigation n'est pas assurée régulièrement (inefficace) ou ne reçoit pas suffisamment d'attention, cela peut avoir un impact négatif sur la productivité, de ce qui précède nous comprenons les défis auxquels l'irrigation est confrontée notamment :

❖ **Pollution de l'eau** : de point de vue scientifique, se réfère à la perturbation et à l'altération de la qualité de l'eau, la rendant souvent inutilisable pour des usages de base.

Ce phénomène découle largement de l'activité humaine croissante et de la recherche de développement économique, où les déchets industriels et autres se déversent souvent dans les eaux souterraines, cruciales en tant que source d'irrigation primordiale. Les conséquences de cette pollution peuvent être néfastes pour de nombreux types de plantes (**El Raimawi., 2004**).

Les types de polluants de l'eau peuvent être répertoriés comme suit :

Polluants des eaux surface : les polluants les plus connus et les plus dangereux sont peut-être les polluants présents dans les intestins des animaux et humains, tels que les bactéries, et les virus.

Polluants des eaux souterraines: Par les eaux usées provenant des fosses d'aisance ou de réseaux d'égouts endommagés, produits chimique organique toxiques utilisés par l'industrie et l'agriculture, tels que les plastique, les pesticides et les médicaments (**Gourabia., 1991**).

❖ **Anciennes technologies :** les techniques d'irrigation traditionnelles telles que l'irrigation par inondation et les systèmes d'arrosages inefficaces entraînent souvent un gaspillage d'eau important, car de grande quantité d'eau est utilisée de manière inefficace, ce qui entraîne l'engorgement et la salinisation des sols. Cette utilisation inappropriée conduit a une faible efficacité d'utilisation de l'eau, car le sol la perd en déséquilibre, ce qui affecte négativement la croissance et la productivité des plantes. De plus, ce type d'irrigation peut entraîner une érosion accrue infrastructures d'irrigation et des sols naturels.

Par conséquent, nous devons passer a des technologies d'irrigation modernes et durables telles que l'irrigation en goutte à goutte et l'irrigation par aspersion intelligent, qui fournissent de l'eau de manière plus efficace et plus précise, ce qui réduit les déchets et améliore l'utilisation des ressources en eau en général (**Fourkan., 2023**).

❖ **Mauvaise conception :** Lorsque la conception d'un système d'irrigation est inadéquate, il peut laisser des zones non irriguées ou fournir des quantités d'eau excessives a certaines zones, entraînant une distribution inégale de l'eau, une sursaturation a certains endroits et une sécheresse a d'autre.

Cela réduit l'efficacité de l'irrigation et entraîne un gaspillage d'eau et une détérioration de la qualité des sols et des cultures (**Harbi., 2020**).

❖ **Administration :** La gestion de l'eau d'irrigation comprend l'apprentissage des systèmes d'irrigation modernes, de la conception d'un système d'irrigation, des types de stratégies durables et de l'entretien des systèmes d'irrigation pour parvenir à une bonne gestion des ressources en eau (**Ghanimi., 2015**).

III.3.Lien entre l'irrigation de précision et la gestion de l'eau

L'irrigation de précision est une technique plus efficace, c'est le potentiel de révolutionner la gestion de l'eau dans l'agriculture, cette technique implique l'utilisation de technologies avancées telles que des capteurs, des prévisions météorologiques et des analyses de données en temps réel pour améliorer les pratiques d'irrigation.

Les technologies d'irrigation améliorent la gestion de l'eau grâce a :

❖ **La distribution de l'eau :** Les capteurs à distance et l'intelligence artificielle sont utilisés pour analyser la distribution de l'eau dans les champs et diriger les opérations d'irrigation avec plus de précision et d'efficacité, les endroits qui ont besoin de plus d'eau sont identifiés et l'eau est distribuée en conséquence, ce qui contribue à économiser l'eau et améliorer l'efficacité de son utilisation (**W.G. M bastainaanseen., 2003**).

❖ **La gestion des ressources en eau :** Grâce à l'intelligence artificielle, les données collectées par les capteurs doit être analysées pur améliorer la gestion des ressources aquarelle, Les opérations

d'irrigation sont orientées en fonction des besoins des plantes, des conditions du sol et des prévisions météorologiques, ce qui améliore l'efficacité de l'utilisation de l'eau et réduit les déchets (**Alazba et Shahin., 2020**).

❖ **La réduction des déchets et l'évaporation** : En utilisant des techniques telles que l'irrigation en goutte à goutte ou l'eau est dirigée directement vers les racines des plantes.

En quantités spécifiques et précises, ce qui réduit les déchets et l'évaporation.

L'irrigation goutte à goutte réduit considérablement la perte d'eau due à l'évaporation (**Allenet *al.*, 1998**).

Chapitre IV :
L'intelligence artificielle dans
l'irrigation de précision

Chapitre IV : L'intelligence artificielle dans l'irrigation de précision

L'intelligence artificielle (IA) dans l'irrigation de précision fait référence à l'utilisation des techniques informatiques avancées pour une analyse précise des données dans le but d'améliorer l'irrigation agricole en temps réel, en tenant compte de plusieurs variables et en prenant des décisions autonomes ou assistées par l'IA pour maximiser l'efficacité de l'utilisation de l'eau et améliorer les rendements des cultures.

IV.1. Explication de la manière dont l'IA analyse les données pour optimiser l'irrigation.

Les étapes suivies pour analyser les données par IA sont les suivantes :

➤ **Collecte les données** : collecte des données provenant de diverses sources telles que des capteurs sur le terrain par exemple les capteurs d'humidité du sol qui permettent aux agriculteurs de prendre des décisions éclairées concernant l'irrigation (Rey., 2010).

➤ **Prétraitement des données** : les données proviennent de plusieurs sources et processus, le prétraitement et nettoyage des données sont des tâches importantes qui doivent intervenir avant d'utiliser un jeu de données pour la formation de modèle car la qualité des données est essentielle pour obtenir des modèles prédictifs performants pour éviter les données erronées (Morgan., 2011). Les principales étapes pour préparer les données sont :

- Nettoyer les données et compléter les valeurs manquantes, détecter et supprimer les données bruitées et les aberrations ;
- Transformation des données et les normaliser pour réduire le volume ;
- Réduction des données, échantillonner les enregistrements et les attributs pour faciliter leurs manipulations ;
- Discrétisation des données pour simplifier leurs exploitations dans certains outils d'apprentissage automatique ;
- Nettoyer le texte et supprimer les caractères incorporés susceptibles d'entraîner un mauvais alignement des données ;
- Création de modèle (modélisation) qui est généralement définie comme la simplification de la réalité, qui fournit notamment une représentation du système sol-plante-climat et de ses processus biophysiques de base comme le développement et la croissance des plantes ou encore les cycles de l'eau.

Ces modèles peuvent être des modèles de régression, des réseaux de neurones et des arbres de décision (Kollas et al., 2015).

Une fois que les modèles sont validés, ils peuvent être utilisés pour recommander des stratégies d'irrigation optimales, ils peuvent prédire les besoins en eau des cultures pour les prochains jours ou semaines en fonction des prévisions météorologiques, et recommander des qualités d'eau à appliquer pour répondre à ces besoins (Coulibali et al., 2020).

IV.2. Exemples de systèmes utilisant l'IA pour la gestion de l'eau dans l'agriculture

Swiim (Sustainable Water and Irrigation Innovative Management) est un système appliqué à Denver (Colorado), qui propose une solution intégrée pour la gestion de l'eau en agriculture, en utilisant les technologies d'intelligence artificielle (Smith., 2011).

Cela permet aux détenteurs de droits agricoles de bénéficier des avantages économiques d'une gestion plus efficace de l'utilisation de l'eau (Verlee., 2011).

L'une des missions de l'entreprise est :

✓ **Surveiller les ressources en eau** : *Swiim* utilise des capteurs IoT pour surveiller en temps réel la disponibilité de l'eau dans les ressources telles que les canaux d'irrigation, les puits et les sources d'eau souterraine, ces capteurs collectent des données sur les niveaux d'eaux, les débits et d'autres paramètres pertinents ;

✓ **Analyser les données** : les données recueillies par les capteurs sont analysées à l'aide d'algorithmes d'IA pour déterminer les besoins en eau des cultures, les modèles d'IA prennent en compte des facteurs tels que le type de culture et le stade de croissance ;

✓ **Planifier l'irrigation** : sur la base des analyses des données, *Swiim* fournit des recommandations personnalisées pour l'irrigation, notamment en déterminant le moment optimal pour irriguer ;

✓ **Optimiser l'utilisation de l'eau** : en utilisant les recommandations de *Swiim*, les agriculteurs peuvent optimiser leur utilisation de l'eau en irriguant de manière plus efficace et en éliminant le gaspillage.

L'objectif de cette entreprise est de fournir une alternative à la méthode dominante de transfert de l'eau agricole vers d'autres usages, avec le même nom et la même gestion (Tom., 2011).

IV.3. Avantages de l'utilisation de l'IA dans l'irrigation

L'irrigation intelligente offre une multitude d'avantages, tant pour les agriculteurs que pour l'environnement, en utilisant des technologies telles que les capteurs de sol, les systèmes d'irrigation automatisés et l'analyse des données (Caprena et al., 2003), les agriculteurs peuvent optimiser l'utilisation de l'eau en appliquant de manière précise là où et quand elle est nécessaire (Norum et al., 2009).

Cela réduit le gaspillage d'eau et contribue à préserver les ressources hydriques, tout en garantissant que les plantes reçoivent exactement la bonne quantité d'eau pour leur croissance optimale, elle peut également aider à économiser du temps et des coûts de gestion pour les agriculteurs (Michael et al., 2008).

De plus, une utilisation efficace de l'eau grâce à l'irrigation intelligente peut se traduire par des rendements plus élevés et des profits accrus (Belkacem., 2014).

Chapitre V : Etude de cas

Chapitre V : Etude de cas

V.1. Présentation de cas réels où l'agriculture de précision a transformé l'irrigation.

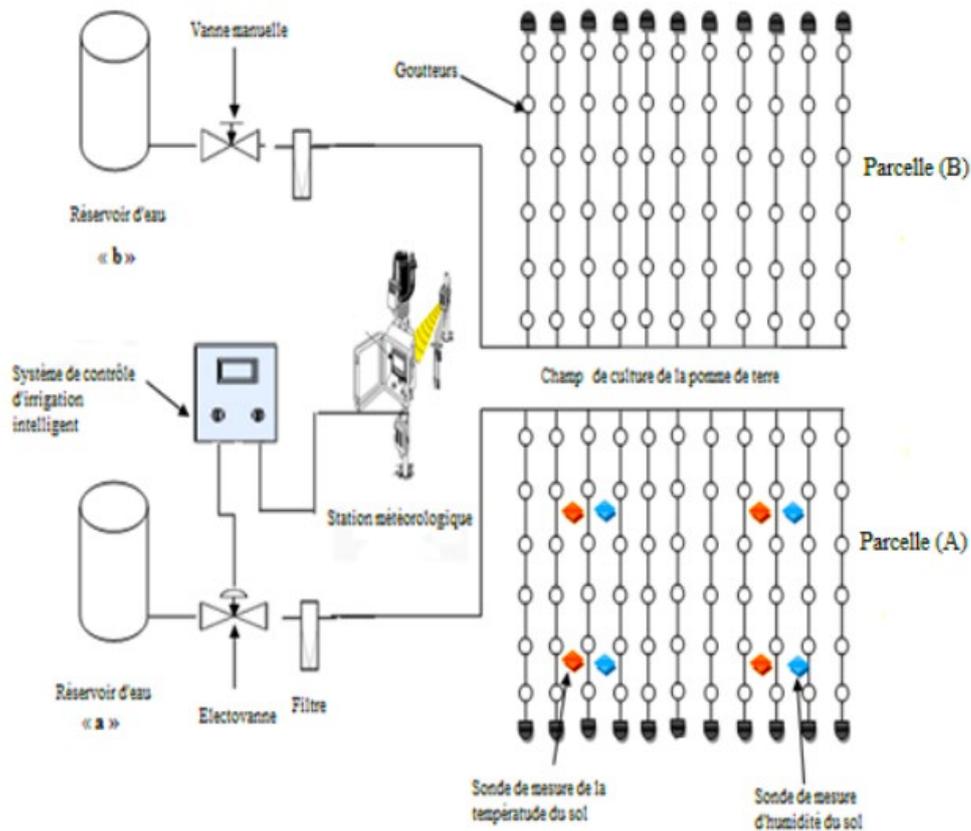
Ce cas comprenait le choix du domaine à exploiter dans la mise en œuvre réaliser les expériences nécessaires, nous avons donc choisi l'usine pilote la zone de Chlef.

Pour réaliser nos expérimentations, nous disposons d'un arsenal d'équipements composé de : une station météorologique.

Compteur d'eau deux réservoirs d'eau, pompes hydrauliques, tuyaux en plastique, des capteurs d'humidité sont installées.

Pour assurer un débit sans fuite, d'autre accessoires tels que des tuyaux en pvc sont nécessaire, adapteurs, raccords et arroseurs (compte-gouttes).

Le champ expérimental a été divisé en deux parties, selon le schéma irrigation présentée à la **figure08** pour pouvoir comparer les résultats obtenus méthode d'irrigation traditionnelle et irrigation intelligent.



La figure08 : Schéma de plantation du champ utilisant des systèmes d'irrigation goutte à goutte : parcelle (A) : Système d'irrigation intelligent, Parcelle (B) : traditionnel

V.1.a. Comparaison de la consommation d'eau

La figure (09) représente la comparaison entre les deux parcelles (A) et (B), nous constatons que le système d'irrigation intelligent (système utilise intelligence artificielle dans la gestion de l'eau) est très économe en matière d'eau pour la production de culture car il est doté de capteur qui détecte tout besoin de la plante en eau en temps réel (**Zineb, A.,2023**).

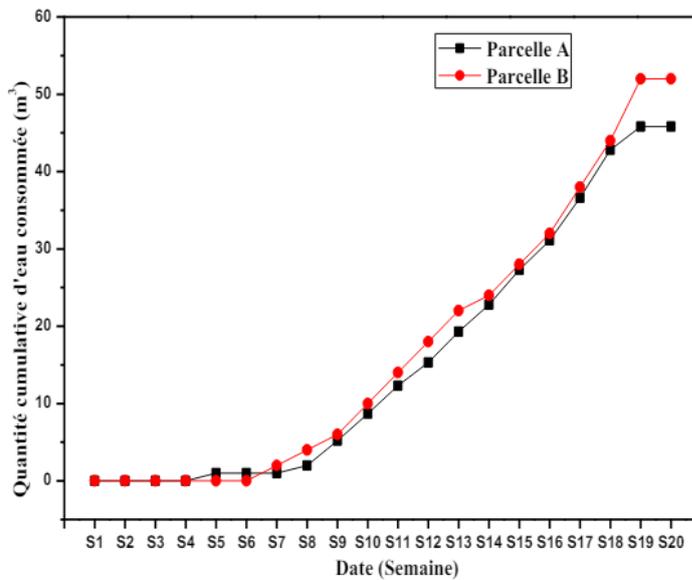


Figure 09 : comparaison de la consommation d'eau entre deux parcelle (A) et (B) durant la période de la croissance des plantes

V.1.b. Evolution végétation

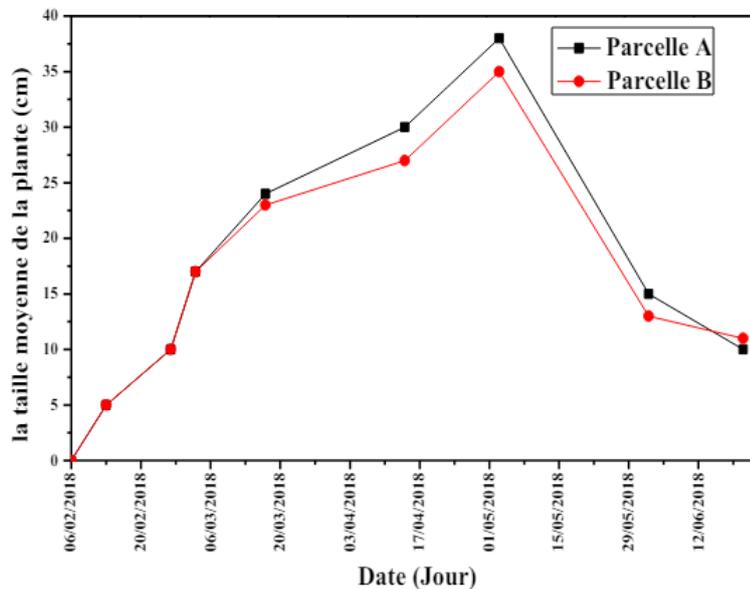


Figure10 : l'évolution de la végétation durant tout le cycle de plante

La figure10 exhibe bien la variation de la taille à intervalles réguliers d'une quinzaine de jours, ainsi la hauteur des plantes est mesurée ou on a constaté que la taille des tige est presque la même dans les deux parcelles durant la première phase de croissance dont la durée est approximativement égale à 45 jours, une légère différence de taille commence à se faire noter au-delà de cette phase : les meilleures tiges sont observées dans la parcelle (A) avec un écart de 03 cm a causé efficacité d'irrigation intelligent.

Au bout d'une période de 130 jours chlorophyllien de la végétation dans les deux parcelles et suite au flétrissement des feuilles, une vérification de la fermeté de la peau des tubercules a été opérée à compter du dixième jour depuis la coupure de l'irrigation après quoi, on a procédé à la récolte manuelle des tubercules produits (Zineb, A.,2023)..

V.1.c. Comparaison de la production

En matière de quantités de tubercules produits, exprimés en masse, dans les deux parcelles (irrigation traditionnelle et irrigation par système intelligent), nous avons pu comparer les rendements, en effet, les résultats consignés dans la **figure11** montrent que la productivité de la parcelle (A) est supérieure à celle de la parcelle (B), les rendements rapportés aux semis sont de 535% et de 428% respectivement.

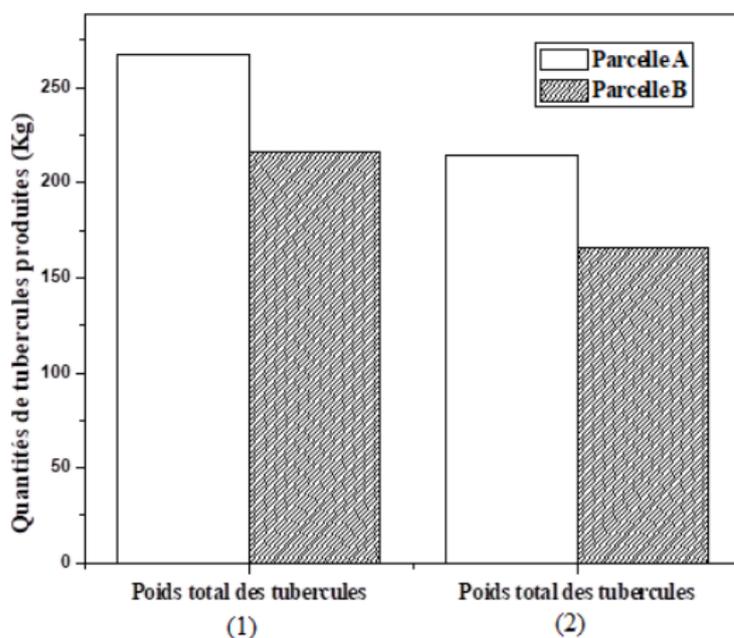


Figure11 : Analyse comparative de quantité de tubercules produits dans les deux parcelles

En résumé dans cette étude nous remarquons **l'irrigation intelligent** efficacité l'irrigation par utilisé les technologies comme capteur humidité et station météorologique, donc intelligence artificielle il est nécessaire pour optimiser l'irrigation (Zineb, A.,2023)..

V.2. Résultats

Les principes de l'agriculture de précision et les technique d'intelligence artificielle dans l'irrigation, des résultats tangibles et significatifs ont été obtenus en améliorants les performance agricoles et en augmentant la productivité globale, des étude et des application pratique ont montrés que ces technologies ont permis d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles telles que l'eau et

réduire les pertes de productivité dues aux intoxications chimique, de plus, ces technologies ont contribué à améliorer la qualité des récoltes et augmenter considérablement le rendement.

Avec une plus grande sensibilisation agricole à l'auto-développement, l'adoption du domaine de l'agriculture de précision et l'utilisation de l'intelligence artificielle dans l'irrigation, en particulier avec les progrès continus de la technologie et des données agricoles, il peut contribuer à une plus grande durabilité agricole et à l'amélioration des moyens de subsistance des agriculteurs, ainsi qu'à répondre aux besoins alimentaires croissants dans un monde confronté à des défis agricoles et environnementaux croissants.

Conclusion

Conclusion

La convergence de l'agriculture de précision, de l'intelligence artificielle et des technologies agricole avancées offre des opportunités sans précédent pour transformer le secteur agricole grâce à des systèmes d'irrigation intelligents et à une gestion de l'eau optimisée, les agriculteurs peuvent améliorer considérablement le rendement des cultures tout en réduisant la consommation d'eau, les applications de l'IA dans l'agriculture ouvrent la voie à une prise de décision plus éclairée et à une utilisation plus efficace

des ressources, donc innovation agricole alimentée par ces avancées technologiques promet de révolutionner la manière dont nous cultivons et gérons les terres agricoles, en contribuant à la durabilité et à la productivité à long terme.

L'intelligence artificielle représente l'épine dorsale de la révolution de l'irrigation agricole de précision, jouant un rôle essentiel dans la transformation du secteur, en permettant une analyse avancée des données météorologiques, des sols et des cultures, l'IA fournit des insights précieux pour une gestion de l'eau plus efficace et ciblée, grâce à des systèmes d'irrigation basés sur IA.

Les agriculteurs peuvent adapter leurs pratiques d'irrigation en temps réel, optimisant ainsi l'utilisation des ressources hydriques tout en maximisant le rendement des cultures, cette convergence de l'IA et de l'irrigation agricole de précision ouvre la voie à une agriculture plus durable, résiliente et productive, offrant des solutions innovantes pour nourrir une population mondiale croissante tout en préservant les ressources naturelles.

En conclusion, cet appel à l'adoption continue de technologies telles que l'intelligence artificielle dans l'irrigation agricole de précision est indispensable pour façonner un avenir agricole plus durable et productif.

En investissant dans ces innovations, nous pouvons non seulement améliorer l'efficacité et la rentabilité des exploitations agricoles, mais aussi réduire l'empreinte environnementale de l'agriculture grâce à une utilisation plus efficace des ressources telles que l'eau, en encourageant l'adoption généralisée de ces technologies, nous pouvons garantir la sécurité alimentaire mondiale tout en préservant les écosystèmes naturels pour les générations futures.

Perspectives d'Avenir

Perspectives d'Avenir

La technologie a déjà commencé à transformer l'agriculture mondiale, et son impact continuera de croître à l'avenir, voici quelques perspectives sur l'avenir de la technologie dans ce domaine et son impact potentiel sur l'agriculture mondiale

Le marché mondial de l'agriculture de précision est segmenté en fonction des composants en matériel, logiciels et services, le secteur des composants matériels occupe la plus grande part et devrait maintenir sa domination tout au long de la période prévue 2019-2025, il est principalement utilisée pour les systèmes de guidage, les drones dotés de systèmes logiciels, la surveillance de l'eau et des sols.

L'agriculture de précision semble inévitable à l'avenir grâce à l'utilisation des capteurs et des systèmes d'irrigation précis économe en eau, ainsi qu'à la fourniture en temps opportun des informations nécessaires aux agriculteurs grâce à l'informatique et à des applications intelligentes, utilisation de pesticide, de fertilisation et d'autres pratiques agricoles utilisées pour améliorer la récolte et augmenter sa quantité.

La majorité estime que l'avenir de l'agriculture moderne semble prometteur, à mesure que les progrès technologiques continuent de rendre les technologies plus abordables et plus efficaces, la demande croissante de produits alimentaires soutient une production agricole plus durable et plus efficace, en soulignant que cela passe par des investissements dans la recherche et le développement et par le soutien aux agriculteurs dans l'adoption de technologies de fabrication pour relever les défis croissants de la sécurité alimentaire.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- 1- Zeven, Zhukovsky, DeWet, & Esquinas - Alcazar, T. (1982). Plant genetic resources, en Plant Breeding. Principles and Prospects.

- 2- Mohamed, Attef. (2020). <https://almardia.qa>.
- 3- Tanha, T., Dhara, S., Nivedita, P., & Hiteshri, Y. (2020). Appliquer l'intelligence artificielle à l'agriculture pour améliorer l'irrigation et l'utilisation des pesticides.
- 4- André, Neveu. (2021). Membre de l'académie d'agriculture de France.
- 5- Miguel, Altieri. (2021). Traditional Farming(organic). Advantages and Disadvantages.
- 6- Atkinson, D. S. (2019). Précision agriculture.
- 7- Gemtos, T., Fountas, S., Tagarakis, A., & Liakos, V. (2013). *Procedia Technol.*
- 8- Pierre, Brabant. (1993). Pédologie et système d'information géographique.
- 9- Jeanne, Pierre. (2022). Les drones au service de l'agriculture durable.
- 10- Donald, Prévost. (2023). INO.
- 11- Bernard, Jean-Philippe. (2016). fr.wikipedia.org.
- 12- Wilson, Mwangi. (2023) Les principaux avantages de l'utilisation de robots agricoles.
- 13- Julio, Alcolea. (2024). Les principaux avantages de l'utilisation de l'IA de vision pour l'agriculture.
- 14- Gottman, Jean. (1968). Essai sur l'aménagement de l'espace habité. In: *Population*, 23^e année, 178-179.
- 15- Robert, Millward. (2007). *Histoire, économie & société*, 111 - 128
- 16- El Raimawi, Omar. (2004). Sources des eaux et la gestion des sources de pollution, 223-251.
- 17- Gourabia, Samah.(1991). *Principes des sciences d'environnement*.
- 18- Fourkan, Ahmed. (2023). Efficient irrigation solution.
- 19- Harbi, Mohamed. (2020). La gestion d'irrigation de culture.
- 20- Ibrahim, Ghanimi.(2015). La production et protection des plantes.
- 21- bastiaanssen, W.G.M. (2003). *Journal of Irrigation and drainage engineering*, 22-27
- 22- Shahin, O., Alazba, A.A. (2020). An Intelligent System for Precision Irrigation.
- 23- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *FAO Irrigation and Drainage* .22-34
- 24- Rey, D. (2010). Collecte des données d'un réseau de capteur sans fils école polytechnique de montreal.
- 25- Morgan, kaufmann. (2011). Concept et technique.
- 26- Kollas, C., et al. (2015). Improvement of yield predictions by continuous simulation of crop rotations – a multi-model ensemble approach crop rotation modelling – a European model intercomparison. Soumis à la revue *European Journal of Agronomy*.
- 27- Coulibali, Z., Cambouris, A., (2020). Machine learning predictive fertilization models for potato crops in eastern Canada.
- 28- Smith, Jerd. (2011). The story regenesis management group balancing water use for profit and conservation.

- 29- Verlee, Megan. (2011). Thirsty cities dry farms.
- 30- Cech, Tom. (2017). Regenesi a new approach for irrigated agriculture.
- 31- Carpena, R., LI, Y., Olczyk, T. (2003). Alternatives for low cost soil moisture monitoring devices for vegetable production in the south Miami-Dade County agricultural area [online]. The Department of Agriculture and Biological Engineering. University of Florida.
- 32- Norum, M.N., Adhikari, D. (2009). Smart irrigation system controllers.
- 33- Michael, D., Dukes, M.D. (2008). Water conservation potential of smart irrigation controllers. 5th National decennial irrigation conference proceedings.
- 34- Belkacem, I. (2014). L'irrigation intelligente.15th Annual Global développement conférence, Ghana.
- 35- Dr Zineb, Abd elrahmen. (2023). Intelligence artificielle dans l'irrigation. Université Hassiba ben Bouali. Chlef