



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Khider – BISKRA

Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'informatique

N° d'ordre : RTIC19/M2/2021

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de master académique en

Informatique

Parcours : Réseaux et Technologies de l'Information et de la Communication (RTIC)

Une solution à base IoT et le Blockchain pour les systèmes d'irrigation dans les fermes intelligentes

Par :

TAHRAOUI ZINEB

Soutenu le 26/06/2022 devant le jury composé de :

BENDAHMANE TOUFIK

MAA

Président

MERIZIG ABDELHAK

MCB

Rapporteur

SAHRAOUI SOMIA

MCA

Examineur

Année universitaire 2021-2022

Remerciements

*Tout d'abord, je remercie **Dieu** qui m'a aidé et m'a donné la force, la santé et la patience pour supporter toutes les difficultés pour mener à bien ce travail.*

Je tiens à remercier sincèrement ma profonde gratitude à mon encadreur « MERIZIG Abdelhak » pour l'effort qu'il a fourni avec moi lors de la préparation de la mémoire, et ses conseils, et toutes ses facilités pour moi . il a eu un grand rôle dans succès de mon travail.

Et je tiens à remercier tous les professeurs d'informatique qui m'ont aidé dans ma formation.

Et aussi J'adresse mes sincères remerciements aux membres du jury, pour avoir accepté de juger ce travail.

dedicace

Je dédie ce modeste travail a « Mes chers parents » sont mon soutien dans cette vie, et ils ont joué un rôle pour m'encourager et ma continuité.

A mes chers frères « Abdelghani, Badreddine ».

Mes chères sœurs (Baraka. Aicha. Ibtissam). et leurs maris et leurs enfants. Et Souad et Hanane.

Et à toute la famille « TAHRAOUI et MEREDJI ».

Et tous mes amis : « wissal, Bouthaina, Safaa, inesse... »

Et à tous ceux qui m'ont soutenu psychologiquement et qui ont joué un rôle dans l'accomplissement de mon parcours.

Résumé

L'Internet des objets (IoT) ou les dispositifs physiques interconnectés sont utilisés dans des domaines différents, notamment l'industrie, la santé et l'agriculture. L'eau est la principale source d'une vie saine. La distribution de l'eau aux champs agricoles est un enjeu critique en raison du nombre de sources par rapport aux besoins de l'exploitation. Le développement des technologies IoT, Cloud Computing et Blockchain permet au propriétaire de la ferme d'améliorer la production en termes de quantité et de qualité.

Dans notre projet, nous avons proposé l'utilisation de la technologie IoT en utilisant des capteurs. Comme ces capteurs ont besoin d'une méthode d'installation correcte. Nous avons utilisé la méthode d'optimisation et pour assurer la bonne configuration (ensemble de capteurs) qui consiste à utiliser l'algorithme NSGA-2.

De plus, les messages et signaux échangés entre différents capteurs contiennent des informations importantes. Pour éviter tout problème de sécurité entraînant une intrusion affectant chaque dispositifs (capteurs), nous avons utilisé la technologie blockchain. Ce qui permet la sécurité et la transparence dans les transactions.

mots clés :

IoT, Blockchain, système d'irrigation, gestion de l'eau, problème d'optimisation , NSGA-2.

Abstract

The Internet of Things (IoT) or interconnected physical devices are used in various fields including industry, healthcare and agriculture. Water is the main source of healthy life. The distribution of water to agricultural fields is a critical issue due to the number of sources compared to the needs of the farm. The development of IoT, cloud computing and Blockchain technologies allows the farm owner to improve production in terms of quantity and quality.

In our project, we proposed the use of IoT technology by using sensors. As these sensors need a correct way to install. We used the optimization method using the NSGA-2 algorithm.

Also, messages and signals exchanged between different sensors contain important information. To avoid any security issue that leads to intrusion that affects every device (sensors), we have used the blockchain technology. Which allows for safety and transparency in dealing.

key words :

Internet of Things, Blockchain, Irrigation System, Water management, optimization problem , NSGA-2.

المخلص

تُستخدم انترنت الأشياء (IoT) أو الأجهزة المادية المترابطة في مختلف المجالات بما في ذلك الصناعة والرعاية الصحية والزراعة. الماء هو المصدر الرئيسي لحياة صحية . يعتبر توزيع المياه على المزارع (الحقول الزراعية) قضية حاسمة بسبب عدد المصادر مقارنة باحتياجات المزرعة . يتيح تطوير تقنيات انترنت الأشياء والحوسبة السحابية و Blockchain لمالك المزرعة تحسين الإنتاج من حيث الكمية والنوعية.

إقترحنا في مشروعنا استخدام تكنولوجيا انترنت الاشياء و ذلك باستخدام المستشعرات . حيث أن هذه المستشعرات تحتاج إلى طريقة صحيحة لتثبيت . إستخدمنا لذلك طريقة التحسين باستعمال خوارزمية NSGA-2 .

وايضا تحتوي الرسائل والإشارات المتبادلة بين أجهزة الاستشعار المختلفة على معلومات مهمة. لتجنب أي مشكلة أمنية تؤدي إلى التطفل الذي يؤثر على كل جهاز (المستشعرات) إستخدمنا تكنولوجيا البوكشاين . التي تسمح بظمان الامان و الشفافية في التعامل .

الكلمات المفتاحية :

انترنت الأشياء ، Blockchain ، نظام الري ، إدارة المياه ، مشكلة التحسين، NSGA-2.

Table des figures

1.1	L'agriculture traditionnelle	6
1.2	Un exemple de serre dans la ville de Biskra	7
1.3	L'agriculture intelligente	7
1.4	Serres Intelligentes	10
1.5	Les conditions nécessaires pour une plante	12
2.1	L'Internet des objets (IOT)	17
2.2	Les Applications de l'IdO	19
2.3	L'agriculture intelligente	20
2.4	La différence entre la transaction centralisé et décentralisé	21
2.5	Les types de Blockchain	23
2.6	Contrat intelligent pour l'interaction du réseau blockchain IoT	26
3.1	Architecture proposée :Un système d'irrigation basé sur l'Internet des Objets et la Blockchain	34
3.2	Couche physique	35
3.3	Couche physique	36
3.4	Couche de nuage	37
3.5	Couche de connexion	37
3.6	Les opérations de processus	38
3.7	Organigramme de l'algorithme NSGA-II	39
3.8	Représentation génétique d'un chromosome	40
3.9	Un exemple d'opération de croisement	42

3.10 Flux de travail Blockchain	45
4.1 Les outils de développement	48
4.2 Exemple exécuter et déployer remix	50
4.3 Détermination de la population et du nombre de générations	51
4.4 Premier pareto et deuxième parito	51
4.5 Premier Pareto et deuxième Pareto(couts et temps)	51
4.6 Premier Pareto et deuxième Pareto(Fiabilité et temps)	52
4.7 Resultats nsga2	53
4.8 Les parents résultants	53
4.9 Déployer le contrat	54
4.10 Enregistrement d'appareils IoT	54
4.11 Vérifier les appareils	55
4.12 Stocker le hachage de fichier	55
4.13 Renvoie le dernier fichier stocké	55
4.14 Récupère la valeur stocké	56
4.15 Désenregistrer les appareils	56
4.16 Déployer le Contrat	56
4.17 La première virtuelle machine	57
4.18 Le numéro d'identification actuel	57
4.19 Afficher l'identifiant	58
4.20 Afficher les détails de l'identifiant	58
4.21 L'adresse et l'ID de l'appareil	59
4.22 Enregistré l'appareil	59
4.23 Testez l'appareil s'il est enregistré	59
4.24 Appelé le filehash	60
4.25 Contenu du capteur stockées	60
4.26 Informations utilisées dans notre contrat	60

Liste des tableaux

- 2.1 Comparaison de la Blockchain et de l'Internet des objets 27
- 2.2 Comparaison des travaux connexes 29

- 4.1 Résultats moyens des valeurs QoSM obtenues à partir de chaque approche 52

Table des matières

Remerciements	i
dedicace	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
Table des figures	viii
Liste des tableaux	ix
Introduction Générale	2
1 l'agriculture intelligente : L'état de l'art	5
1.1 Introduction	5
1.2 L'agriculture traditionnelle	5
1.3 Les serres agricoles	6
1.4 l'agriculture intelligente	7
1.4.1 Définition de l'agriculture intelligente	8
1.4.2 Domaines de l'agriculture intelligente	8
1.5 Serres Intelligentes	10
1.5.1 Les avantages des serres Intelligentes	10
1.5.2 Le climat dans les serres	11
1.5.3 Systèmes de contrôle	12
1.5.4 L'irrigation de précision	14
1.6 Évolutions des serres cultivées en Algérie	14
1.7 Conclusion	15

2	Internet des objets et Blockchain	16
2.1	Introduction	16
2.2	L'Internet des Objets	16
2.2.1	Définition	17
2.2.2	Caractéristiques d'un système d'Internet des objets	17
2.2.3	Les Applications de l'IdO	18
2.2.4	Les limites de la technologie Internet des objets	19
2.2.5	Internet des objets dans l'agriculture de précision :	20
2.3	Blockchain	21
2.3.1	Les limites du système de transaction classique	21
2.3.2	Définition de la Blockchain	21
2.3.3	Les types de Blockchain	22
2.3.4	Fonctionnalités de la Blockchain :	23
2.3.5	Types d'attaques sur l'agriculture de précision	23
2.3.6	Concepts importants dans la Blockchain	25
2.3.7	L'utilisation de la blockchain dans l'agriculture de précision	26
2.3.8	Comparaison de la Blockchain et de l'Internet des objets :	27
2.4	Travaux connexes :	27
2.5	Conclusion	30
3	Conception et contribution	32
3.1	Introduction	32
3.2	Architecture proposée	32
3.2.1	Description de l'architecture	35
3.2.2	Les opérations de processus	37
3.3	Conclusion	45
4	Étude expérimentale et résultats	47
4.1	Introduction	47
4.2	Outils et langages de développement	47
4.2.1	Outils matériel	47

4.2.2 Outils logiciel	48
4.3 Implémentation	50
4.3.1 Discussion	61
4.4 Conclusion	61
Conclusion générale et perspectives	63
Bibliographie	65

Introduction Générale

Contexte général

L'agriculture est l'activité humaine la plus ancienne et la plus importante et est encore pratiquée aujourd'hui. En raison de sa grande importance en termes de sécurité alimentaire, d'autant plus que l'agriculture est la principale source d'alimentation, qu'elle soit végétale ou animale. Ils sont très importants dans tous les domaines de la vie et leur importance ne peut être négligée. Par conséquent, ce domaine est devenu l'objet d'études, pour tenter de résoudre les problèmes qui peuvent y être exposés.

Comme les systèmes intelligents dans l'agriculture sont devenus la solution idéale pour résoudre les problèmes auxquels est confrontée l'agriculture traditionnelle, grâce à l'utilisation de divers capteurs et appareils intelligents basés sur l'Internet des objets (IdO), dont les mesures sont caractérisées par des données précises telles que la température du sol, l'humidité et la quantité d'eau nécessaire pour construire un écosystème sain et fort.

L'utilisation de capteurs et du réseau de capteurs permet une utilisation optimale des ressources. Mais son utilisation nécessite une structure d'installation, et son utilisation est conforme aux normes requises. Dans notre projet, nous avons proposé d'utiliser un algorithme permettant de trouver la solution optimale, comme nous avons utilisé l'algorithme NSGA-2.

Les données sont échangées entre les capteurs et les actionneurs sur des canaux ouverts tels que : Internet, ce qui ouvre la porte aux pirates malveillants pour déployer des attaques basées sur le réseau et les capteurs. De plus, les données partagées sont stockées de manière centralisée sur des serveurs, qui sont plus vulnérables aux attaques de sécurité. Un attaquant malveillant peut attaquer des serveurs, des capteurs et des déclencheurs pour accéder à des données non autorisées. Cela peut avoir des résultats désastreux car sa modification par l'adversaire entraîne des récoltes gaspillées.

Malgré les progrès rapides des technologies de l'information et de la communication que la technologie fournit aux agriculteurs, les attaques de sécurité et de confidentialité par des pirates malveillants qui conduisent à des mesures inexactes suscitent des inquiétudes. Ainsi, il y a un besoin d'un écosystème décentralisé dans le système agricole basé sur l'IdO pour permettre une utilisation optimale des ressources existantes. Récemment, plusieurs façons ont été proposées pour résoudre le problème de la sécurité des données, et la Blockchain a été utilisée, pour être utilisée comme une méthode assurant la sécurité dans plusieurs domaines et caractérisée par la sécurité et la transparence concernant l'échange de données.

Nous considérons cela comme la solution idéale pour gérer et confronter la rareté des ressources de base telles que l'eau, la nourriture, les cultures agricoles et autres nécessités. Et pour obtenir de meilleurs rendements.

Problématique et Objectifs

Dans l'agriculture traditionnelle. L'eau est distribuée par des méthodes traditionnelles difficiles, et récemment, elle est devenue insuffisante pour répondre aux besoins de la ferme pour de nombreuses raisons, notamment l'exploitation irrationnelle des ressources en eau et le gaspillage de l'eau. Il faut donc trouver un moyen de répartir l'eau en fonction du nombre de sources par rapport aux besoins. Et avec l'entrée de la technologie dans le domaine de l'agriculture, la technologie Internet des objets a été utilisée, ce qui permet l'utilisation de capteurs utilisés pour capturer des données importantes. Ce dernier a besoin d'une topologie pour être installé correctement. Par conséquent, les préoccupations concernant la protection des appareils (capteurs) et des données capturées ont augmenté, de sorte qu'une méthode doit être utilisée pour assurer la sécurité.

En introduisant la technologie dans le domaine de l'agriculture, il a aidé à résoudre bon nombre des difficultés auxquelles il était confronté. Ainsi, une meilleure gestion de l'eau dans les fermes intelligentes est assurée en intégrant les avantages de l'Internet des objets et de la Blockchain pour améliorer la productivité des cultures. L'Internet des objets est réalisé en utilisant de manière optimisée de nombreux capteurs nécessaires et installés, et le but de la blockchain est d'assurer la sécurité des données.

Ainsi, notre objectif est d'atteindre les objectifs suivants :

- Gérer l'eau correctement et préserver les ressources.
- Comment installer des capteurs dans les fermes.
- Résoudre les problèmes de sécurité qui peuvent être exposés aux appareils (capteurs) ou à l'échange de données capturées par les capteurs.

Structure du manuscrit

Le présent manuscrit est organisé comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous allons parler de l'agriculture en général, en mentionnant ses caractéristiques et ses exigences.

En particulier, nous allons parler en premier lieu sur la technologie utilisée dans le domaine de l'agriculture et de la transformation qui s'y est produite.

- Et dans le deuxième chapitre, nous allons parler de l'utilisation et de l'entrée de la technologie dans l'internet des objets et la blockchain dans le domaine de l'agriculture, et nous avons également parlé des caractéristiques et de l'importance de chaque technologie.

Et leur grand rôle dans la résolution de nombreux problèmes rencontrés par l'agriculture.

- Dans le troisième chapitre, nous proposerons une conception de notre système, c'est-à-dire la conception générale et détaillée des étapes de base que traverse le système.

Qui consiste à trouver une solution basée sur l'IoT et la technologie blockchain pour une irrigation précise.

- Et dans le quatrième chapitre, nous expliquerons comment implémenter notre système, montrerons les environnements matériels et logiciels pour développer notre système et les différentes expérimentations et résultats obtenus.

Chapitre 1

L'agriculture intelligente : L'état de l'art

1.1 Introduction

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la population mondiale devrait atteindre 9,6 milliards d'ici 2050 [18]. Il sera donc difficile pour le secteur agricole de répondre aux besoins des personnes qui vivent de nourriture.

Aujourd'hui, une autre difficulté à laquelle le secteur agricole doit faire face est liée aux conditions climatiques instables et Le réchauffement climatique impacte négativement les récoltes. Les chercheurs recherchent des technologies et des méthodes pour répondre aux besoins nutritionnels appropriés et contournent les menaces du changement climatique. L'agriculture intelligente a été l'assistant parfait car elle permet à de nombreux agriculteurs de gérer les données et d'étudier le sol. L'agriculture intelligente soutient et améliore la gestion agricole qui est essentielle pour résoudre les problèmes de changement climatique, d'agriculture et d'arrosage des cultures pour la santé, les récoltes et la croissance démographique.

Dans ce chapitre, nous parlons de l'agriculture en général et de son évolution vers une agriculture moderne et intelligente à l'aide des outils technologiques, et nous parlerons également de l'importance d'utiliser des serres.

1.2 L'agriculture traditionnelle

C'est un système qui permet à l'homme de développer son écosystème pour subvenir à ses besoins primaires en nutriments (autosuffisance), les engrais organiques (fumier) sont encore

majoritaires, mais d'autres sources sont également développées (guano, cendres, etc.).

Elle précise tous les savoir-faire et activités des organismes cultivés du sol, et d'une manière générale tous les travaux sur le milieu naturel, qui permettent la culture et la récolte d'organismes vivants au profit de l'homme.



FIGURE 1.1 – L'agriculture traditionnelle

1.3 Les serres agricoles

Une serre est une structure utilisée pour abriter des plantes ornementales, potagères ou fruitières dans des conditions plus favorables ou plus sûres qu'en plein air, et parfois à des fins expérimentales ou pédagogiques sur toutes les autres plantes. [6]

- Et aussi des serres « comme enceintes de culture ou de production de plantes en exploitant l'homme pour y travailler facilement », et la climatisation permet d'obtenir des conditions de croissance optimales.
- Cette structure protège les plantes grâce aux mécanismes de réduction de la photosynthèse, mais aussi grâce à l'effet de serre, grâce auquel elles contribuent à la bonne croissance de la plante.



FIGURE 1.2 – Un exemple de serre dans la ville de Biskra

1.4 l'agriculture intelligente

Les changements technologiques ont eu un impact sur l'agriculture au cours de la dernière décennie, devenant plus industrielle et technologique. Cela signifie utiliser l'Internet des objets (IoT), le Cloud Computing (CC), le Big Data et l'automatisation pour mieux gérer le processus agricole. Comme l'utilisation de ces technologies dans les fermes a connu une croissance exponentielle avec la production massive de données, les derniers outils doivent être développés et déployés pour extraire plus d'informations des données dans un délai raisonnable. [1]



FIGURE 1.3 – L'agriculture intelligente

1.4.1 Définition de l'agriculture intelligente

L'agriculture intelligente est l'application de technologies avancées telles que l'Internet des objets (IoT), le big data, le GPS, l'informatique en nuage, l'intelligence artificielle (IA), etc. Avec l'aide de l'IoT agricole intelligent, grâce à une variété de capteurs les nœuds dans les zones cibles telles que les terres agricoles, les serres, les parcs forestiers et les pâturages en temps réel sur l'élevage ou les informations sur l'élevage peuvent être collectées. Des informations telles que la température, l'humidité, la lumière et la concentration de gaz, l'humidité du sol, la conductivité électrique et l'imagerie pendant la production, le traitement, le transport et le processus de vente sont agrégées dans le système central de contrôle d'étude ou d'analyse basé sur le cloud à l'aide d'algorithmes d'intelligence artificielle.[12]

1.4.2 Domaines de l'agriculture intelligente

Il existe de nombreux domaines à étudier dans l'agriculture moderne :

Agriculture de précision

- Il s'agit d'un écosystème collectif qui combine des technologies aussi diverses que l'Internet des objets et des systèmes de communication tels que la télédétection, la géographie, les systèmes d'information, les systèmes de positionnement global et les réseaux de capteurs sans fil pour collecter des données sur les cultures.

Les données de récolte collectées sur les serveurs sont analysées à l'aide d'analyses basées sur les données pour prendre des décisions éclairées en temps réel [18]

- Cette idée est parfois appelée agriculture de précision, agriculture de prescription ou gestion spécifique au site. Son idée peut se résumer en connaissant les caractéristiques uniques du sol et des cultures de chaque partie du champ afin d'optimiser les intrants de production. Dans de petits trous dans le champ.

L'agriculture de précision se concentre sur les intrants (semences, engrais, produits chimiques, etc.). Utilisez-le en cas de besoin [3]

- L'agriculture de précision implique l'utilisation de différents capteurs qui fournissent régulièrement des informations riches, notamment :

- Capteurs de sol qui collectent des données sur la teneur en azote du sol.
- Des capteurs d'irrigation mesurent le niveau d'eau .
- Les capteurs d'inondation surveillent également les niveaux d'eau .
- Capteurs des données climatiques.
- Les informations fournies par ces capteurs contrôlent automatiquement le système d'irrigation et d'arrosage et avertissent automatiquement les utilisateurs lorsque les situations météorologiques ou d'autres événements se produisent. Les semis sont susceptibles d'être endommagés. [3]

Systeme d'irrigation

L'irrigation est l'un des plus grands problèmes d'alimentation, d'eau et d'énergie dans les fermes intelligentes. Son effet est essentiel pour la croissance alimentaire, tandis que le coût de l'eau et de l'énergie pour l'irrigation est le premier coût pour les fermes intelligentes. [4]

- maintient l'humidité dans le sol
- Joue un rôle croissance des plantes cultivées
- nécessaire à l'absorption des nutriments minéraux par les plantes dans le sol
- Fournit deux éléments essentiels, l'hydrogène et l'oxygène, en culture.

irrigation de précision

L'irrigation de précision (PI) comprend l'utilisation de capteurs IoT sur les terres agricoles connectées par l'infrastructure de réseau qui communiquent dans des canaux ouverts, c.-à-d. Internet. Ainsi, PI permet des mesures précises des ressources Produire des cultures plus élevées et améliorer la qualité globale des cultures agricoles.

- L'IP permet l'utilisation précise d'intrants agricoles et de gestion du bétail tels que les pesticides, les engrais et les semences, Réduire les coûts et améliorer les rendements des cultures.

Serres intelligentes

L'agriculture sous serre est une opportunité possible qui peut répondre à la destin crise alimentaire en contrôlant l'environnement juste à côté et en cultivant des cultures toute l'an-

née malgré les situations extérieures difficiles. Cependant, les fermes sous serre sont encore confrontées à de nombreux défis pour le fonctionnement et la gestion efficaces de l'IdO avancé. De plus, cette technologie Il s'agit notamment de capteurs intelligents, d'appareils, de topologies de réseau, d'examine de données volumineuses et d'une prise de décision intelligente comme les réponses pour relever les principaux défis auxquels est confrontée l'agriculture sous serre traditionnelle.[7]

1.5 Serres Intelligentes

Les serres intelligentes sont des serres contrôlées et automatisées par un système intelligent. Grâce aux avantages, l'environnement est surveillé et contrôlé.

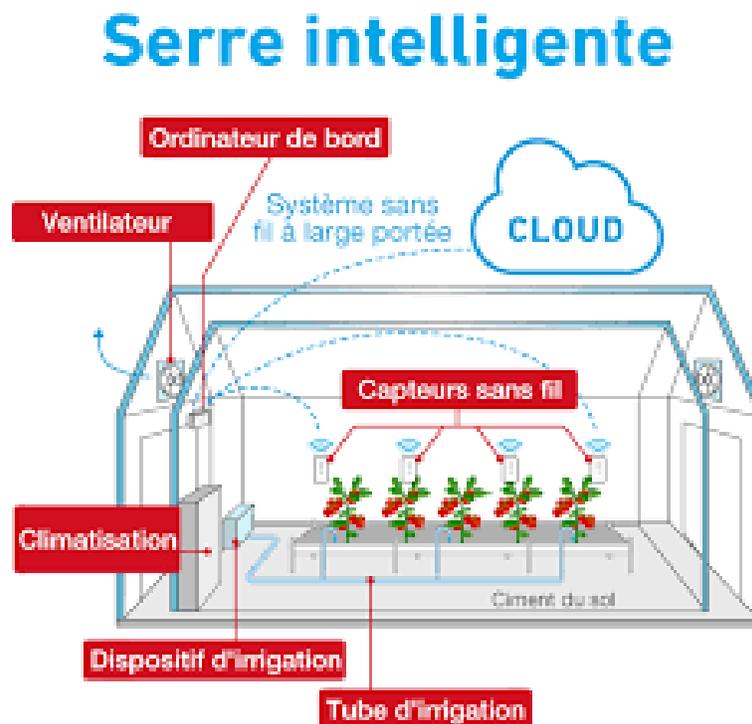


FIGURE 1.4 – Serres Intelligentes

1.5.1 Les avantages des serres Intelligentes

L'automatisation des serres garantit les avantages suivants :

- Il permet de suivre et de prévoir l'évolution des serres en temps réel selon des paramètres prédéfinis, dont bien sûr le climat.
- Fournir une température appropriée pour les plantes.
- Éviter l'exposition des plantes aux maladies.
- Surveillez les situations telles que les fluctuations d'humidité, les failles de sécurité, le chauffage, le ventilateur, l'équipement et les pannes de courant.
- Optimiser la consommation des ressources et des intrants tels que l'énergie et l'eau, en utilisant des systèmes d'irrigation automatisés ... etc. [8]

1.5.2 Le climat dans les serres

Les deux éléments les plus importants dans le climat des serres sont :

Température

- Le climat dans les serres dépend du climat extérieur, l'effet de serre permet une augmentation de la température à l'intérieur. Les rayons émis par le soleil atteignent les parois de la serre, une partie est absorbée et le reste est transmis à l'intérieur de la serre. Ces composés absorbent les rayons transmis présents dans la serre (principalement les plantes et le sol).
- La température extérieure a également un effet significatif sur le climat dans la serre
- Il est affecté par l'air extérieur lorsqu'il fait plus froid ou la température augmente lorsqu'il fait plus chaud, et il y a aussi un échange de chaleur entre l'air de la serre et le sol.
- La température n'est pas homogène à l'intérieur d'une serre. En effet, les températures les plus élevées sont confinées autour des zones qui bloquent le rayonnement solaire et limitent les déplacements d'air : surface, terre, plantes. Les températures de l'air sont généralement plus élevées du côté d'où vient le vent.

Hygrométrie

- L'humidité de l'air est un paramètre très essentiel pour la culture sous serre en fonction des situations climatiques extérieures (précipitations, anticyclones, etc.) Il est plus élevé

que l'air et contribue donc au réchauffement climatique.

- La condensation a aussi un effet car elle dépend de la température il arrive souvent dans les serres que l'eau se condense sur les murs ou les charpentes métalliques. Cela réduit la transmission lumineuse et nuit ainsi au bon développement de la plante.
- La mesure de l'humidité a un effet essentiel sur l'évaporation. L'évaporation est le changement de l'état de l'eau d'un état liquide à un état de vapeur lorsque la température est inférieure à la température d'ébullition. L'évaporation se produit à n'importe quelle température avec un échange de chaleur latente (évaporation) contre des températures raisonnables. la chaleur, peut être mesurée en fonction de la température et des causes.[9]

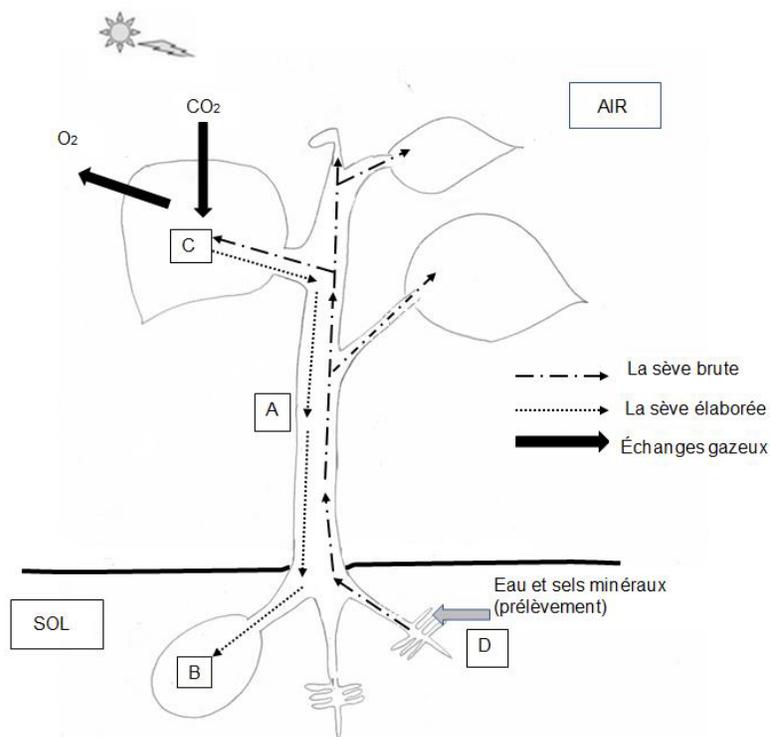


FIGURE 1.5 – Les conditions nécessaires pour une plante

1.5.3 Systèmes de contrôle

Il existe de nombreuses stratégies utilisées pour contrôler l'environnement des serres. Présente certaines des stratégies plus utilisées pour contrôler les facteurs environnementaux : [10]

Systemes d'irrigation

On considère l'irrigation comme le processus qui consiste à apporter artificiellement de l'eau aux plantes cultivées pour augmenter leur production, et permettre leur développement naturel en cas de pénurie d'eau résultant de l'absence de pluie. Tout système d'irrigation comprend le pompage, le traitement, la distribution et le stockage/récupération de l'eau.

Les stratégies d'irrigation comprennent les éléments suivants :

- manuellement (arrosoir, seau, etc.)
- par écoulement de surface, sous l'effet de la simple gravité, par canaux et fossés : l'irrigation gravitaire est aussi appelée irrigation de surface, rigoles ou irrigation « en ravine » .
- par aspersion, approche résultant de la duplication du pluie ; - par pulvérisation fine, il est considéré comme plus économique .
- Par micro-irrigation ou irrigation au goutte-à-goutte, elle présente ainsi l'inconvénient de charger le sol en sel à long terme, ce qui entraîne de change ses propriétés
- Par fuite, en utilisant des tubes poreux enterrés, et c'est une forme d'approcher de goutte à goutte.
- par immersion ou immersion (c'est l'approche appliquée dans les rizières, car c'est elle qui a fertilisé l'Egypte avec les crues du Nil).

Systeme d'ouverture des serres :

La température et l'humidité sont ajustées au moyen du système de ventilation de la serre. Grâce aux capteurs de température, nous pouvons contrôler le système de température interne dans la serre grâce aux données lues.

Surveillance de l'environnement :

Pour fournir les conditions appropriées à l'intérieur de la serre, l'environnement et le climat intérieur et extérieur doivent être surveillés à l'aide de différents capteurs à l'intérieur et à l'extérieur de la serre. Les données fournies par ces capteurs sont collectées en temps réel et en permanence en connectant ces capteurs à un capteur système (filaire ou sans fil).

1.5.4 L'irrigation de précision

- L'eau a un rôle très important dans notre vie de tous les jours. C'est une source de grande préoccupation compte tenu des ressources en eau limitées, et il fait partie des problèmes qui occupent le secteur agricole. En raison de méthodes d'irrigation inappropriées et de mauvaises prévisions météorologiques et pluviométriques, les agriculteurs subissent d'énormes pertes financières qui affectent le produit national.

Par conséquent, des techniques d'irrigation précises sont nécessaires pour que la quantité d'eau puisse être utilisée de façon optimale et réduire le gaspillage d'eau.

- L'agriculture de précision est une activité aux normes précises grâce à une évaluation minutieuse des besoins en eau nécessaires aux cultures. Il a la capacité de gérer et d'augmenter l'utilisation de l'eau et, par conséquent, la collecte et la conservation d'informations appropriées sur la culture et le champ améliorent les rendements des cultures. Les systèmes d'irrigation reposent sur diverses technologies basées sur les technologies de l'information et de la communication. L'agriculture de précision présente divers avantages :

1. Utilisation correcte de l'eau
2. Accroître l'efficacité et la production des cultures dans le secteur agricole
3. Maintient la santé et la gestion des terres agricoles
4. Réduit l'effet nocif sur la culture industrielle.

Les techniques d'irrigation traditionnelles comprennent l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion, l'irrigation profonde, l'irrigation par canal, l'irrigation par pivot central et l'irrigation latérale. Ces techniques se caractérisent par une faible efficacité d'irrigation. Par conséquent, la micro-irrigation est le processus d'approvisionnement en eau des cultures dans un milieu artificiel et précis

1.6 Évolutions des serres cultivées en Algérie

En Algérie, l'approvisionnement du marché de gros en fruits et légumes dépend presque exclusivement de la production locale. L'abondance et la régularité de ces produits constituent

un enjeu de sécurité alimentaire important pour l'état, qui doit assurer un approvisionnement suffisant des villes connaissant une forte croissance démographique. La plaine des Ziban autour de la ville de Biskra a un fort dynamisme agricole. Située aux portes du désert, cette plaine se caractérise par de vastes étendues de terres, un climat sec et de nombreux points d'eau. Notre étude porte sur les parcours de nombreux jeunes Algériens qui affluent dans cette plaine pour trouver du travail, notamment pour l'horticulture sous serre.

D'abord ouvriers ou agriculteurs, ils parviennent à épargner et peuvent rapidement devenir métayers puis propriétaires.

Grâce à l'exploitation des avantages de l'agriculture moderne, de nombreux agriculteurs pu augmenter leurs productions [11]

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé de l'agriculture intelligente et des serres intelligentes, qui sont à la base de notre sujet. Nous avons en détail les conditions climatiques nécessaires à la culture. , Comme nous en avons parlé dans ce chapitre, les serres intelligentes sont des serres basées sur la technologie de l'Internet des objets (IoT) qui permet la collecte et l'analyse des indicateurs climatiques vitaux des serres en temps réel et le maintien des conditions appropriées pour le développement des plantes dans ces serres.

Chapitre 2

Internet des objets et Blockchain

2.1 Introduction

Les technologies Blockchain et IoT nous aident à construire un système agricole intelligent fiable, autorégulé, ouvert et écologique[12]. La nécessité de développer des systèmes P2P intelligents capables de vérifier, sécuriser, surveiller et analyser les données agricoles conduit à réfléchir à la construction de systèmes IoT basés sur la blockchain dans agriculture de précision.

La blockchain joue un rôle central dans le remplacement des méthodes traditionnelles de stockage, de tri et de partage des données agricoles de manière plus fiable, immuable, transparente et décentralisée. Dans l'agriculture de précision, la combinaison de l'IoT et de la blockchain nous fera passer des fermes intelligentes à l'Internet des fermes intelligentes et ajoutera plus de contrôle sur les réseaux de la chaîne d'approvisionnement.

Le résultat de cette combinaison conduira à plus d'indépendance et d'intelligence pour gérer plus efficacement et mieux l'agriculture de précision.

2.2 L'Internet des Objets

L'Internet des objets est une révolution technologique qui a un impact sur l'avenir de l'informatique et des communications, et son développement dépend d'une innovation technique dynamique dans plusieurs domaines importants... [13]

2.2.1 Définition

L'Internet des objets (IoT) est un groupe d'objets physiques inter-connectés qui forment un réseau. Internet n'est pas seulement un réseau d'ordinateurs, mais s'est transformé en un fichier réseau d'appareils de toutes sortes et de toutes tailles : voitures intelligentes, téléphones, appareils électroménagers, jouets, appareils photo, instruments médicaux, industries système, animaux, personnes et bâtiments, tous connectés et toutes les informations liées à la communication et au partage sont basées sur des protocoles bien établis pour réaliser des réalignements intelligents. [13]

- L'objectif de l'IoT est de permettre aux choses d'être parfaitement connectées à tout moment, n'importe où avec n'importe quoi et n'importe qui utilisant n'importe quel itinéraire/réseau et n'importe quel service.[13]

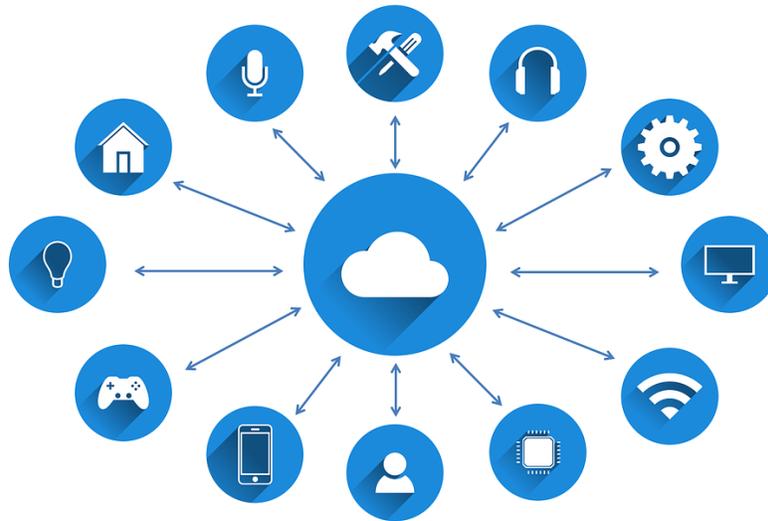


FIGURE 2.1 – L'Internet des objets (IoT)

2.2.2 Caractéristiques d'un système d'Internet des objets

Les caractéristiques fondamentales de l'IoT sont les suivantes [13] :

1. **Interconnectivité** Il peut s'agir de tout ce qui est interconnecté avec l'infrastructure mondiale de l'information et de la communication.

2. Services liés aux objets

L'Internet des objets est capable de fournir des services liés à des choses telles que la protection de la vie privée et la cohérence sémantique entre les objets physiques et les objets virtuels qui leur sont associés. Afin de fournir des choses liées aux services dans les limites des choses.

3. Hétérogénéité

Les appareils de l'IoT sont hétérogènes car ils sont basés sur des plates-formes matérielles et des réseaux différents.

4. Changements dynamiques

L'état des appareils connectés entre eux change dynamiquement, ainsi que leur nombre.

5. Énorme échelle

Le nombre d'appareils communiquant entre eux sera d'un ordre de grandeur supérieur au nombre d'appareils connectés à l'Internet actuel

6. Sécurité

Compte tenu de l'importance de l'Internet des objets, il ne faut pas non plus oublier la sécurité pour la sécurité des données échangées entre les appareils .

7. Connectivité

La connectivité permet l'accessibilité et la compatibilité du réseau. L'accessibilité consiste à accéder à un réseau tandis que la compatibilité fournit la capacité commune de consommer et de produire des données .

2.2.3 Les Applications de l'IdO

Les applications IoT touchent presque tous les aspects de la vie :

- Le domaine de la santé, notamment les systèmes de télésurveillance sanitaire, qui ont un rôle d'aide aux personnes.
- Le domaine de l'agriculture connectée, qui a contribué au bon usage de l'eau.
- Des véhicules connectés qui contribuent à améliorer la gestion du trafic dans les zones congestionnées et urbaines.

- Il contribue à améliorer la consommation et la distribution de l'énergie électrique dans les appareils électroménagers connectés.
- Etc. [14]



FIGURE 2.2 – Les Applications de l'IdO

2.2.4 Les limites de la technologie Internet des objets

Malgré ces avantages de l'IdO, la mise en œuvre de l'IdO pose encore certains problèmes, principalement limités par des problèmes de sécurité, de confidentialité, de réglementation, de législation et de normes[17]).

Parmi ces problèmes :

- Problèmes de sécurité et de vie privée : Étant donné que l'Internet des objets comprend tous les domaines de la vie quotidienne, et par conséquent, le pourcentage d'inquiétudes augmentera quant au degré de sécurité et de confidentialité des données générées, transmises et analysées via Internet par des capteurs, ainsi qu'aux droits des accéder à ces informations sensibles. En conséquence, vous pouvez être exposé à des attaques électroniques telles que celles connues sous le nom d'attaque DDoS, piratage et vol de données. ..etc.[17]
- Interopérabilité et standardisation : Ce problème se pose en raison d'une combinaison de plusieurs technologies qui composent l'écosystème IoT, telles que la technologie des capteurs, la communication sans fil, le système embarqué, le cloud computing et la vir-

tualisation, et les considérations de conception du matériel IoT.(16)

- Problèmes réglementaires, juridiques et droits : Ce problème concerne la manière dont les données générées par les appareils IoT ainsi que les personnes qui accèdent aux données sont utilisées, ce qui soulève des inquiétudes quant aux droits des utilisateurs et à l'utilisation abusive des informations [17]

2.2.5 Internet des objets dans l'agriculture de précision :

L'agriculture de précision est un écosystème collectif Qui combine des technologies aussi diverses que l'Internet des objets et des systèmes de communication tels que la télédétection (RS) et la géographie Système d'information (SIG), système de positionnement global (GPS) et réseau de capteurs sans fil (WSN) pour la collecte de données sur les cultures.

Avec la transition vers des villes intelligentes et durables, leurs systèmes agricoles modernes utilisent des capteurs basés sur l'Internet des objets (IoT) pour garantir une utilisation précise des ressources agricoles, car ils disposent de mesures d'irrigation précises telles que la quantité d'eau, la température et l'humidité des cultures nécessaires. pour construction Un écosystème de chaîne d'approvisionnement solide. Utilisation de capteurs et de modules réseau Permet une utilisation optimale des ressources d'irrigation, appelée précision Irrigation (IP).

Ainsi, PI bénéficie d'une solution efficace pour faire face à la rareté des ressources de base telles que la nourriture, l'eau, les unités de terre et les rendements des cultures. Donc, Les agriculteurs obtiennent de meilleurs rendements sur le marché grâce à une production plus élevée.

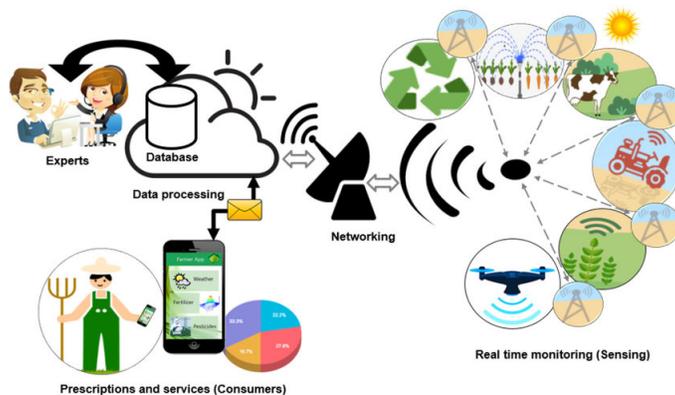


FIGURE 2.3 – L'agriculture intelligente

2.3 Blockchain

La technologie blockchain est souvent évoquée et utilisée dans les crypto-monnaies, mais le champ des applications possibles est beaucoup plus large. La blockchain est un livre distribué (livre) avec de nombreuses applications potentielles. Il peut être utilisé pour n'importe quel échange de données [16].

La blockchain est conçue pour réaliser la décentralisation et résoudre de nombreux problèmes rencontrés par la méthode traditionnelle (centralisée).

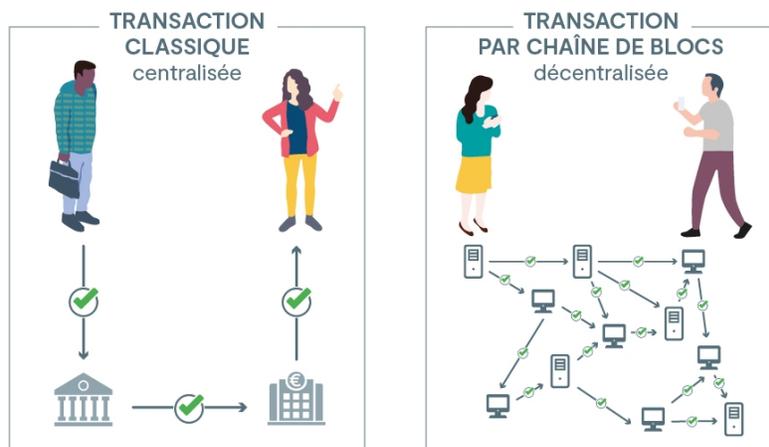


FIGURE 2.4 – La différence entre la transaction centralisé et décentralisé

2.3.1 Les limites du système de transaction classique

- Les espèces ne peuvent être utilisées que pour des transactions de faible montant.
- Cela prend beaucoup de temps pour traiter les transactions.
- Pour vérifier les transactions, nous avons besoin d'un tiers, ce qui complique le processus.
- S'il y a un problème avec le serveur central ou s'il est piraté, tout le système est affecté.

2.3.2 Définition de la Blockchain

Un BC est une série de blocs qui peuvent être utilisés pour stocker et partager des données. Chaque bloc est constitué de données et est lié à d'autres blocs à l'aide de pointeurs. Lorsque

de nouvelles données sont ajoutées à un BC, un lien est créé vers l'extrémité libre qui s'étend à un bloc ou à une unité BC, à mesure que davantage de données sont ajoutées au BC. elles s'allongent et la chaîne grossit si l'un des blocs de la chaîne est modifié, rompant les liens cryptographiques qui perturbent l'ensemble du BC. Il permet aussi à l'utilisateur de vérifier l'intégrité d'un fichier de données stocké.[18]

2.3.3 Les types de Blockchain

Les types de blockchain sont classés en fonction de l'application utilisée :

- Public Blockchain : Dans ce type de Blockchain, n'importe qui peut lire et envoyer des transactions. De nombreux BC publics sont utilisés à diverses fins. Dans les BC publics, les transactions sont inviolables, sécurisées, auditables et vérifiables. Exemples : Bitcoin, Ethereum, Dash, Lisk, Factom et Blockstream [18]
- Blockchain privée : Toutes les autorisations pour une organisation particulière sont concentrées dans ce type de BC. La majorité des BC spéciaux sont utilisés pour créer de nouvelles pièces. BC privée est une base de données distribuée et n'est pas de nature décentralisée. Parce que la communication sur des protocoles ouverts nécessite l'interopérabilité via un serveur central, le concept d'autorité centrale frustre la beauté de la décentralisation.[18]
- Blockchain communautaire/consortium : Les données du bloc ne peuvent être lues, consultées, créées ou mises à jour que par les membres de la fédération, selon la fonctionnalité de l'utilisateur, certains d'entre eux peuvent avoir un accès en écriture tandis que d'autres peuvent avoir un accès en lecture.[18]
- Blockchain hybride :
Il s'agit d'un nouveau type dans lequel l'une des trois Blockchains (publique, privée ou communautaire/consortium) peut être utilisée pour permettre des transactions. Blockchain hybride permet à une plate-forme Blockchain d'être configurée dans de nombreux modes

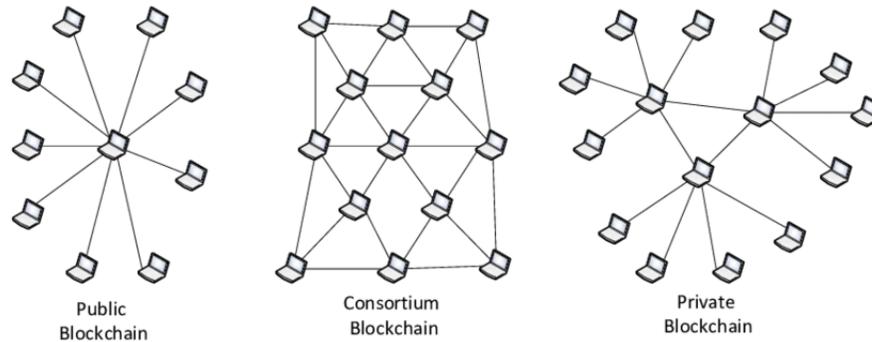


FIGURE 2.5 – Les types de Blockchain

2.3.4 Fonctionnalités de la Blockchain :

- **Distribution** : à chaque transaction entrante, un grand livre distribué est partagé et mis à jour entre les nœuds connectés à la Blockchain. Tout cela se fait en temps réel sans qu'un serveur central ne contrôle les données.
- **Sécurisé** : l'accès non autorisé à la Blockchain n'existe pas via les autorisations et le cryptage.
- **Transparent** : La Blockchain est transparente car chaque nœud ou participant de la Blockchain dispose d'une copie des données de la Blockchain afin que tout soit clair, sans avoir besoin d'intermédiaires pouvant accéder à toutes les données de transaction. Ils peuvent eux-mêmes vérifier les identités
- **Basé sur le consensus** : Tous les participants au réseau connecté doivent convenir que la transaction est valide et qu'il n'y a pas d'erreur. Ce résultat est obtenu grâce à l'utilisation d'algorithmes de consensus.
- **Flexible** : les contrats intelligents qui sont exécutés sur la base de certaines conditions peuvent être écrits dans la plateforme. Le réseau blockchain peut évoluer en fonction des processus métier.

2.3.5 Types d'attaques sur l'agriculture de précision

Il existe de nombreuses attaques néfastes sur le système agricole, qui ont un rôle dans le changement du bon cours de l'irrigation ou de l'agriculture en général [18] :

1. **Attaques frauduleuses :** Nous allons évoquer les différentes attaques de spoofing auxquelles peuvent être confrontés les systèmes de micro-irrigation
 - **L'homme au milieu de l'attaque :** peuvent utiliser ce type d'attaque pour usurper l'entrée d'un système et manipuler le système en fonction de leurs désirs et de leurs besoins.
 - **Attaque de plagiat sur la configuration du système :** Les attaques de ce type sont menées via le processus de configuration du système d'irrigation intelligent envoyé depuis le serveur cloud. En se faisant passer pour le serveur cloud d'origine du système d'irrigation intelligent.
 - **Mauvaise prévision météo :** Les attaques de ce type envoient de fausses informations sur la météo, ce qui a un impact important sur l'agriculture.

2. **Attaques de capteurs :** Dans les systèmes d'irrigation intelligents ou dans le domaine moderne de l'agriculture en général, différents capteurs sont utilisés
 - **Attaque de falsification physique :** Dans ce type d'attaque, un accès physique illégal au nœud est effectué pour révéler les clés de chiffrement utilisées pour le chiffrement et le déchiffrement.
 - **Attaque du trou noir :** Cette attaque crée un trou noir dans le réseau où les informations liées au routage sont falsifiées et donc une partie des informations ne peut pas être échangée entre les nœuds.
 - **Attaque de Sybille :** Un dispositif malveillant qui utilise illégalement différentes identités afin de participer à la diffusion de divers algorithmes.
 - **Attaque de brouillage :** Ce type d'attaque est dans les communications sans fil en envoyant des informations malveillantes qui perturbent le canal sans fil.
 - **Attaque de fatigue :** Cette attaque est basée sur la consommation de toute la puissance des nœuds dont ils ont besoin pour envoyer et recevoir des données.
 - **Attaque par duplication d'identité :** Dans ce type d'attaque, l'attaquant fait sa propre copie pour collecter des informations sur le trafic. Et il publie sa copie et la place à divers endroits du réseau.

3. **Attaques d'infrastructures critiques :**

Attaques DDoS : Dans cette cyberattaque, les services des utilisateurs de confiance du réseau sont temporairement désactivés. dans lequel Un nœud malveillant rend les ressources réseau indisponibles pour les vrais utilisateurs.

2.3.6 **Concepts importants dans la Blockchain**

1. **Blockchain Ethereum :** Ethereum est une implémentation de la blockchain. Il fournit une plate-forme pour exécuter des contrats intelligents. Ces contrats intelligents peuvent être utilisés pour faciliter les transactions monétaires et également pour stocker des données importantes dans un registre distribué.
 - Ethereum est une plateforme basée sur la blockchain surtout connue pour sa cryptomonnaie, ETH.
 - La technologie blockchain qui alimente Ethereum permet de créer et de maintenir des registres numériques sécurisés
 - Ethereum passe à un protocole opérationnel qui offre des incitations au traitement des transactions à ceux qui participent à l'ETH
 - Ethereum est à la base de nombreuses évolutions technologiques émergentes. [28]
2. **Machine virtuelle Ethereum :** La machine virtuelle Ethereum (EVM) est un environnement virtuel qui s'exécute sur tous les nœuds geth et exécute du code stocké dans des contrats intelligents. Une variété de langages de programmation tels que Solidity, Vyper, LLL, etc. sont disponibles pour écrire des contrats qui peuvent être compilés en code EVM .
3. **contrat intelligent :** Un contrat intelligent est une application décentralisée qui implémente une logique métier en réponse à des événements. La mise en œuvre de contrats intelligents peut entraîner l'échange de fonds, la fourniture de services, le déverrouillage de contenu protégé par DRM ou d'autres types de manipulation de données telles que le changement de nom sur la propriété foncière. Les contrats intelligents peuvent également être utilisés pour assurer la confidentialité et la sécurité, par exemple en facilitant la diffusion sélective de données protégées pour répondre à une demande spécifique.

4. **Concepts de contrat intelligent** : Un modèle de contrat intelligent est similaire à une classe écrite dans des langages tels que C++ ou Java. Solidity fournit des fonctionnalités supplémentaires pour améliorer la convivialité des contrats intelligents afin de résoudre différents cas d'utilisation. Pour déployer un contrat intelligent, nous avons besoin d'un framework, tel que Truffle, Ganache et Web3.
5. **applications distribuées** : Les applications distribuées (dapps) sont des applications capables d'interagir et d'échanger des données avec la blockchain. Ces applications se distinguent des autres applications par le fait que leur back-logic est écrite et s'exécute entièrement dans la blockchain .

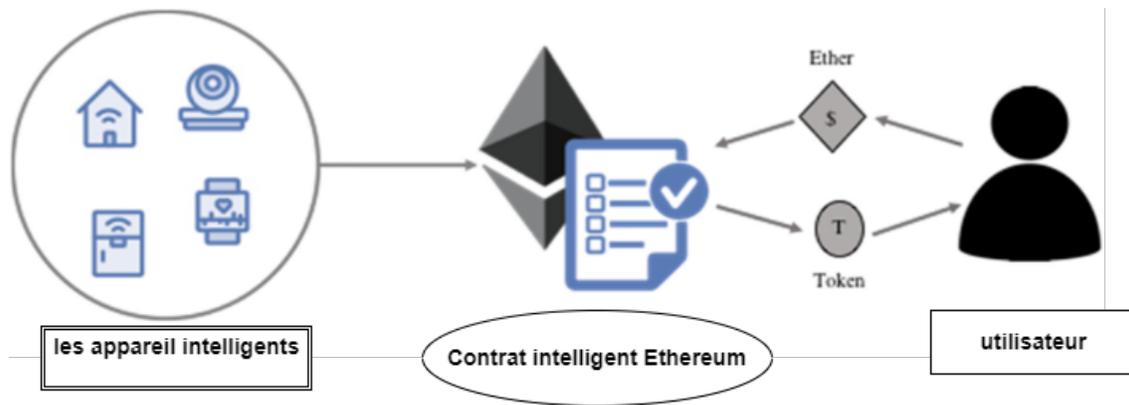


FIGURE 2.6 – Contrat intelligent pour l'interaction du réseau blockchain IoT

2.3.7 L'utilisation de la blockchain dans l'agriculture de précision

Étant donné que différentes technologies TIC sont utilisées dans l'agriculture de précision, les données liées à l'agriculture sont principalement partagées et collectées par des capteurs, des robots, des appareils électroniques intelligents, des téléphones portables, etc. Ces données ou informations sont échangées via des supports open source comme Internet, le cloud, etc., et sont donc vulnérables aux attaques malveillantes. Par conséquent, de nombreux chercheurs ont réfléchi à des moyens de protéger ces données importantes, et parmi ces méthodes figure l'utilisation de la blockchain, en raison de sa transparence et de sa sécurité.

2.3.8 Comparaison de la Blockchain et de l'Internet des objets :

Selon m.dego et al une comparaison a été faite entre l'Internet des Objets et la Blockchain : [17]

TABLE 2.1 – Comparaison de la Blockchain et de l'Internet des objets

Caractéristiques	Iot	Blockchain
Sécurité.	Faible	Élevé.
Coût de calcul	Faible	Élevé
Bande passante	Faible consommation	Consommation élevée
Décentralisation	Non	oui
Latence	Faible	Temps de minage de blocs élevé

2.4 Travaux connexes :

De nombreuses œuvres littéraires dans le domaine de l'agriculture intelligente et de la gestion de l'eau, qui traitaient de l'utilisation de l'Internet des objets et de la blockchain pour résoudre de nombreux problèmes rencontrés par l'agriculture traditionnelle, et parmi ces œuvres :

- **E. M. Dogo et al** [17] : L'Internet des objets (IoT) est en train de devenir la technologie et la solution de base pour répondre Les enjeux de conservation et de gestion de l'eau, par la numérisation et la construction en Intelligence dans le système de gestion de l'eau, pour faire face à l'insécurité de l'eau et Atteindre l'objectif de développement durable des Nations Unies pour 2030 Sur l'eau potable et l'assainissement, cependant Les avantages offerts par l'Internet des objets, il y a encore quelques problèmes avec la mise en œuvre de l'Internet des objets principalement limités par des problèmes de sécurité, de confidentialité, de réglementation, de législation et de normes, et la solution pour les chercheurs a été de combiner les avantages de la blockchain avec l'internet des objets.
- **BODKHE et al** [18] : Dans les villes modernes, les systèmes d'irrigation intelligents sont conçus pour fonctionner en ligne Capteurs basés sur l'Internet des objets (IoT) qui ont des mesures d'irrigation précises Exigences telles que la quantité d'eau, la température et l'humidité des cultures nécessaires à la construction Un écosystème de chaîne d'ap-

provisionnement solide. Utilisation de capteurs et de modules réseau Il permet une utilisation optimale des ressources d'irrigation, appelée irrigation de précision (PI). Mais, Dans PI, l'échange des lectures de récolte des capteurs aux actionneurs est traité Par des canaux ouverts, c'est-à-dire Internet. Ainsi, il ouvre les portes de Des intrus malveillants déploient des attaques basées sur le réseau et les capteurs sur les capteurs PI. Les avantages de la blockchain sont combinés avec PI pour traiter les problèmes liés à la sécurité et à la confiance. Par conséquent, il est proposé de déployer BC dans PI basé sur l'IoT qui améliore l'efficacité, la robustesse et la fiabilité. Ecosystème sûr.

- **Wei Li et al [20]** : Mettre en évidence le développement de systèmes de surveillance agricole améliorés qui résolvent les problèmes de l'agriculture traditionnelle en créant un système d'irrigation intelligent basé sur des capteurs qui capture les conditions physiologiques telles que la température, l'humidité, l'intensité lumineuse et la teneur en eau du sol. Ces données sont vitales pour les gestionnaires de terrain de la gestion des ressources et du développement de modèles prédictifs de croissance des cultures et de l'automatisation agricole. Contribue au succès des activités agricoles, en réduisant l'utilisation des ressources des coûts d'exploitation et des charges de travail et en augmentant la productivité des cultures Le développement d'applications basées sur les capteurs dans l'agriculture permet d'augmenter la productivité, l'efficacité et la rentabilité grâce à l'agriculture de précision.

Synthèse :

TABLE 2.2 – Comparaison des travaux connexes

	[17]E. M. Dogo et al	[18]BODKHE et al	[20] Wei Li et al
objectif	Conserver, utiliser et gérer les ressources en eau en diminution.	Intégrer les avantages de la blockchain avec PI (irrigation de précision) pour faire face aux problématiques liées à la sécurité et à la confiance	Pour une gestion agressive de l'eau pour les terres agricoles et une gestion moderne de l'irrigation basée sur des capteurs Il suit les paramètres environnementaux dans l'agriculture et fournit des avertissements et des informations à leur sujet.

Problème	Sécurité et confidentialité grâce à la topologie décentralisée des appareils IoT qui sont constamment vulnérables aux attaques physiques et électroniques contre les informations sensibles.	La plupart des systèmes PI (irrigation de précision) traditionnels basés sur l'IoT sont insuffisants pour gérer les attaques de sécurité et gérer la confiance entre les parties prenantes des distributeurs (attaques de sécurité pour PI)	Les besoins nutritionnels de la culture résultant des méthodes agricoles traditionnelles
Méthode utilise	sUtilisation partagée de la blockchain et les technologies de l'Internet des objets sur le système intelligent de gestion de l'eau (IWMS).	Déploiement BC dans PI(irrigation de précision) basé sur l'IoT	Système d'irrigation intelligent basé sur des capteurs
Limites	Il n'y a pas de moyen spécifique de conserver les ressources en eau. Cette étude n'a pas parlé de la façon d'installer les capteurs	Avec différentes études, différentes méthodes sont utilisées pour assurer une irrigation précise. Cette étude n'a pas parlé de la façon d'installer les capteurs	Absence de garantie de sécurité des données. Cette étude n'a pas parlé de la façon d'installer les capteurs.

2.5 Conclusion

Les objets connectés sont devenus plus indépendants grâce à l'intégration cognitive et sont capables de suspendre les décisions en contexte en se basant sur la collecte de données en

temps réel. Les utilisateurs d'objets connectés devront donc développer des contrats intelligents qui intégreront des règles métier prévoyant différents scénarios possibles d'interactions entre les participants au réseau. Quant au grand livre commun, il sera utilisé Enregistrer les actions réalisées par les objets (échanges, flux, interactions..) et ainsi les rendre visibles à tous les membres du réseau, et c'est ce que nous avons abordé dans ce chapitre sur la mécanique de chaque technologie.

Chapitre 3

Conception et contribution

3.1 Introduction

Ce chapitre présente la modélisation et la conception des idées proposées pour résoudre les problèmes auxquels est confrontée l'agriculture traditionnelle et les transférer à l'agriculture moderne. Cela passe par l'utilisation d'outils technologiques, qui ont un impact maximal sur la gestion de l'agriculture, car de nombreuses technologies ont été utilisées, notamment l'Internet des objets et la blockchain. Divers capteurs nécessaires pour maintenir les conditions agricoles et développer un système d'irrigation correct sont utilisés. Ces capteurs capturent les différentes données dont nous avons besoin pour faire fonctionner le système agricole. Compte tenu de l'importance de ces données, elles doivent être protégées de toute pénétration ou perturbation, c'est pourquoi la technologie blockchain a été utilisée, qui se caractérise par la transparence et la sécurité.

Dans ce chapitre, nous discuterons de la structure de notre proposition pour résoudre le problème. Nous expliquons ensuite le rôle de chaque couche en détail, y compris le processus qui se déroule pour atteindre cet objectif.

3.2 Architecture proposée

Dans ce projet, nous visons à créer un système agricole basé sur l'intégration des avantages de la technologie IoT et blockchain. Il s'agit de maintenir les conditions appropriées pour la culture et d'obtenir plus de rendements. Afin d'atteindre notre objectif, nous avons proposé une

architecture composée de quatre couches qui interagissent entre elles et échangent des données en temps réel, chaque couche étant responsable d'une tâche spécifique qui génère des données pour la couche suivante du domaine physique (Ferme). La première couche capture les données sous forme de valeurs numériques de champs agricoles, puis les transmet à la deuxième couche, qui est un support auxiliaire, soulageant la troisième couche, qui est la couche de stockage et d'exécution. . Il existe une quatrième couche responsable de la transmission de données peer-to-peer.

L'ensemble de l'architecture du système est illustré dans la figure suivante :

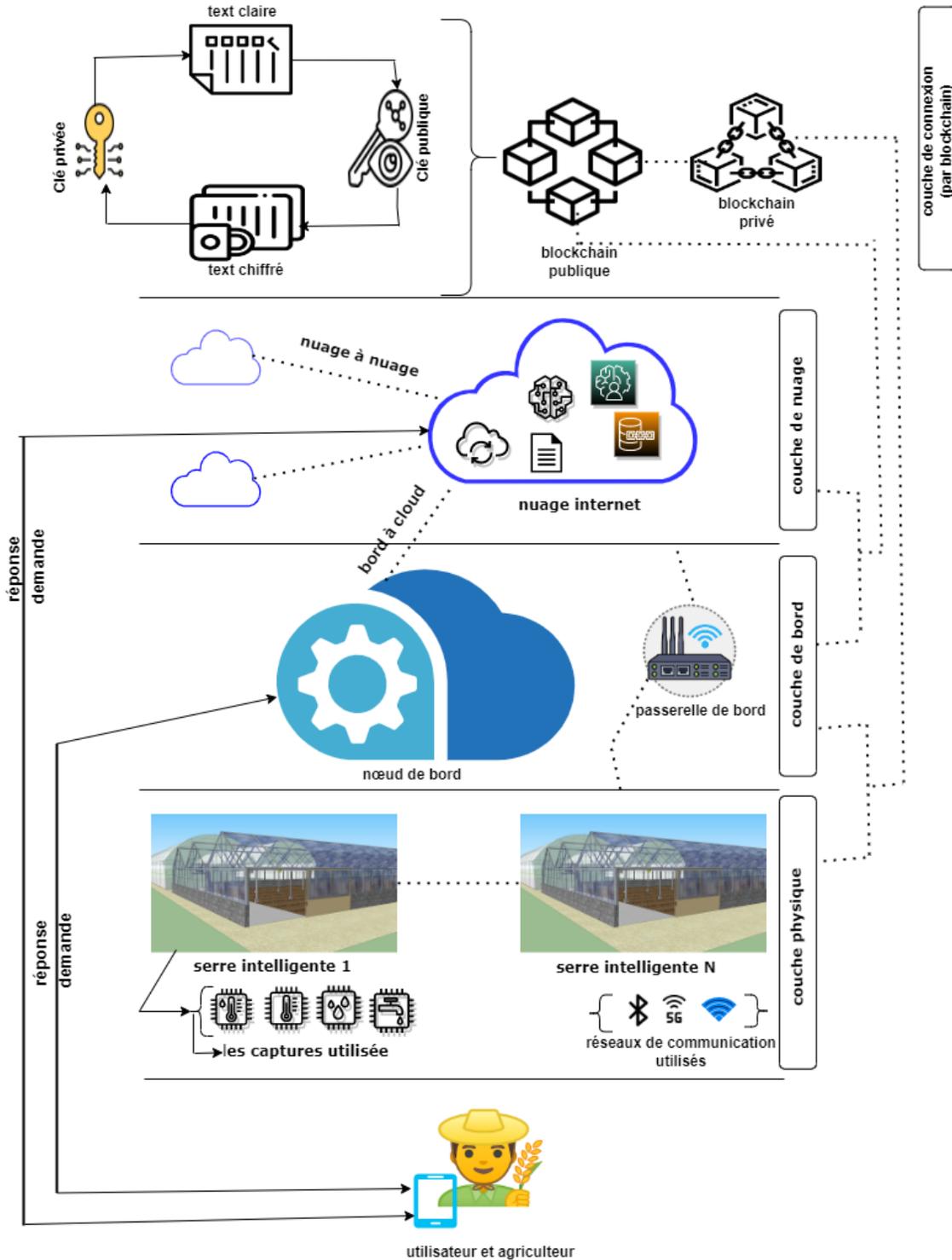


FIGURE 3.1 – Architecture proposée :Un système d’irrigation basé sur l’Internet des Objets et la Blockchain

3.2.1 Description de l'architecture

L'architecture précédente (voir la figure 3.1) se compose de plusieurs composants qui seront décrits dans la prochaine sous-section.

1. **coche physique** : La couche inférieure de l'architecture est constituée de dispositifs physiques généralement représentés par des capteurs avec différentes fonctions et des dispositifs de porte répartis dans des fermes agricoles ou dans des bâtiments de serres. Ces dispositifs sont chargés de détecter les données nécessaires et, sur la base de ces informations collectées, les conditions propices à la culture sont contrôlés, ce qui aide à faire fonctionner d'autres appareils pour atteindre différents cas d'utilisation de l'agriculture intelligente. Ces informations sont collectées en temps réel, conditions météorologiques, niveau d'humidité du sol, température... puis envoyées à des systèmes de décision intelligents ou alimentés par le cloud pour fournir des recommandations. Grâce à cette étape, les données collectées à partir d'un capteur d'humidité du sol sur le terrain, après avoir été traitées dans le bord ou le nuage, peuvent aider à déterminer la quantité d'eau nécessaire à la ferme et à améliorer le calendrier d'irrigation.

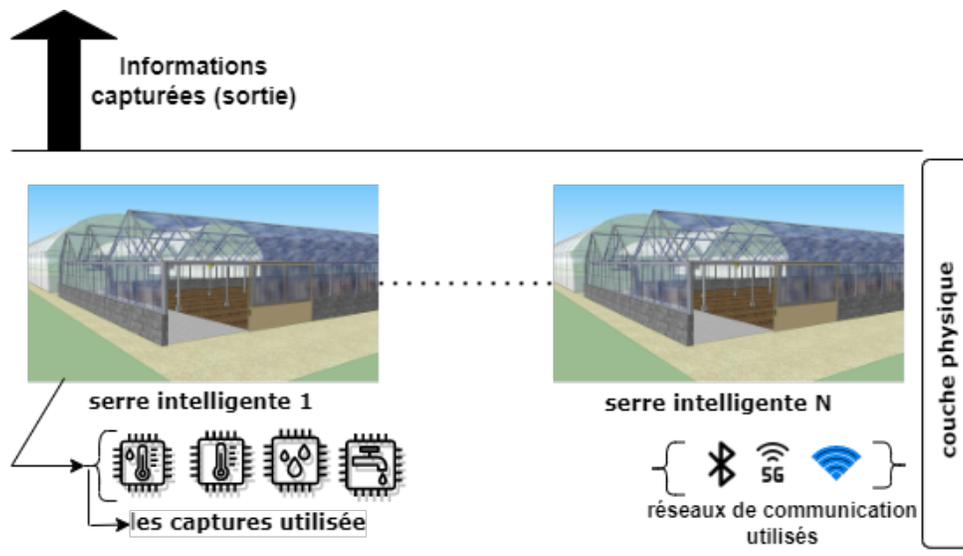


FIGURE 3.2 – Couche physique

2. **Couche de bord** : La couche de calcul de bord se compose de plusieurs nœuds. Chaque nœud représente une passerelle qui comprend des services pour gérer les appareils utilisés tels que : la capture de données, la surveillance de la sécurité, la détection, la prévision

et l'aide à la décision en temps réel. Les services de capture de données comprennent la collecte de données, le filtrage, le cryptage, etc. en temps réel. Les prévisions sont généralement basées sur des modèles d'apprentissage automatique formés sur le cloud central et les services sur la couche périphérique.

Elle est également utilisée pour prédire et classer certains événements liés aux plantes, tels que la prédiction de la productivité des cultures, la classification des plantes et l'apparition de certains problèmes liés aux capteurs. utilisé dans la couche physique. Il peut également prédire la quantité d'eau nécessaire à une parcelle de terre, afin d'atteindre le rendement maximal.

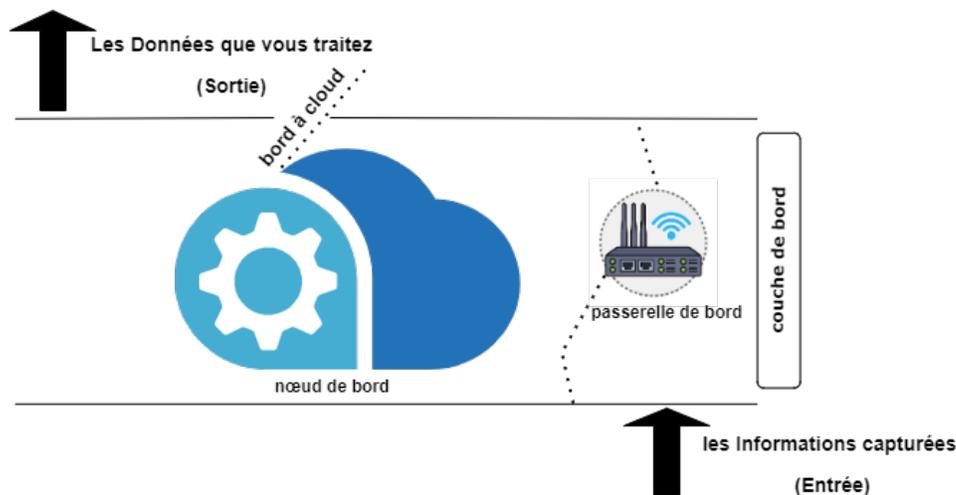


FIGURE 3.3 – Couche physique

3. **Couche de nuage :** Dans cette couche cloud, les données des appareils de la serre sont stockées afin que l'utilisateur puisse accéder directement aux données de la serre à partir du stockage cloud et fournir des services en fonction de la situation et peut également communiquer avec d'autres couches via Internet.

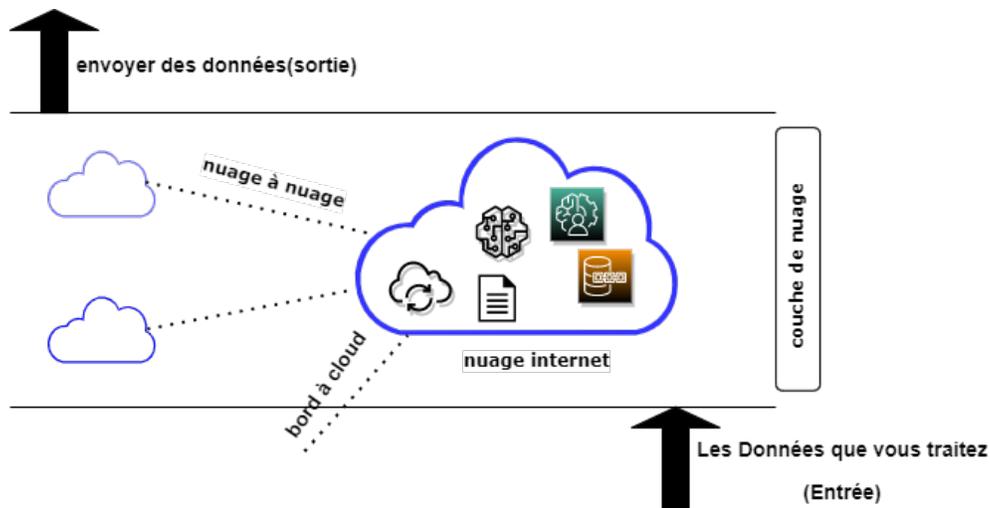


FIGURE 3.4 – Couche de nuage

4. **Couche de connexion(par blockchain)** : Dans cette couche, les données sont échangées selon la méthode peer-to-peer via la blockchain. Deux types de blockchain sont utilisés : la blockchain privée entre la première et la deuxième couche et la blockchain publique entre la deuxième et la troisième couche.

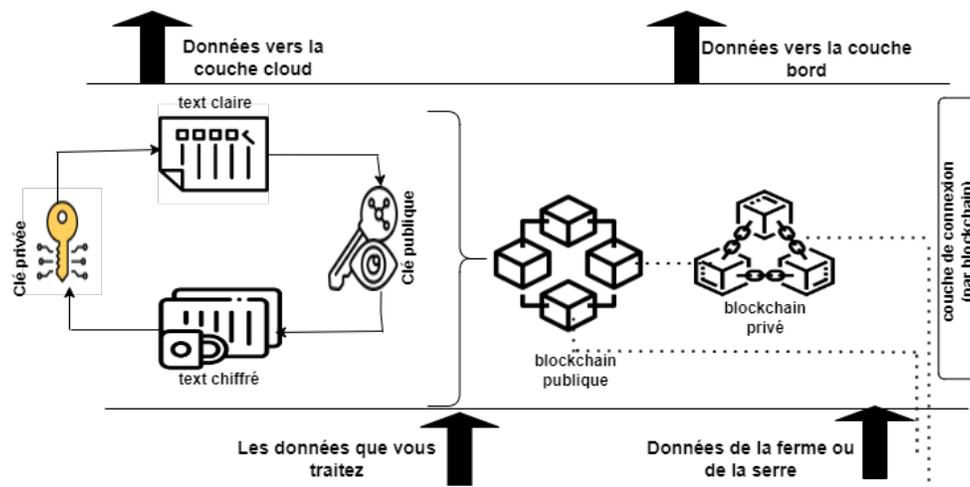


FIGURE 3.5 – Couche de connexion

3.2.2 Les opérations de processus

La figure suivante montre les processus de base qui se produisent dans ce système :

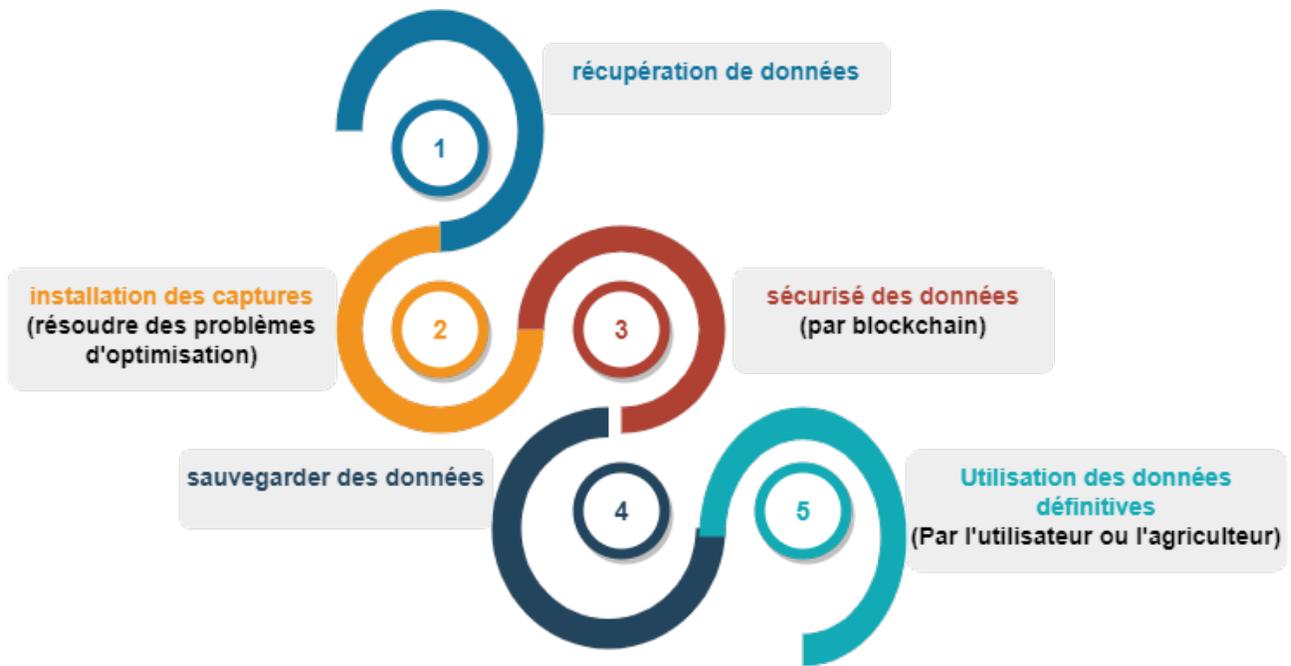


FIGURE 3.6 – Les opérations de processus

- 1. récupération de données :** Dans cette étape, les données nécessaires sont saisies par l'utilisateur, il peut s'agir du nombre d'appareils utilisés (capteurs à installer), du type de ces appareils, ainsi que des contraintes éventuellement rencontrées : puissance de la pompe à eau, luminosité du sol niveaux...etc.
- 2. Installation des captures :**

Dans cette étape, nous parlerons de la façon d'installer les capteurs sur la ferme intelligente, à travers l'une des façons de résoudre des problèmes d'optimisation multi-objectifs. Pour résoudre le problème d'optimisation multi-objectifs, de nombreux algorithmes génétiques peuvent être utilisés, y compris un algorithme : NSGA-2.

NSGA-2 (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) : NSGA-II est un modèle modifiée de l'algorithme NSGA. C'est une approche rapide, élitiste et sans paramètres qui manipule une population de solutions et utilise un mécanisme explicite de préservation de la diversité.

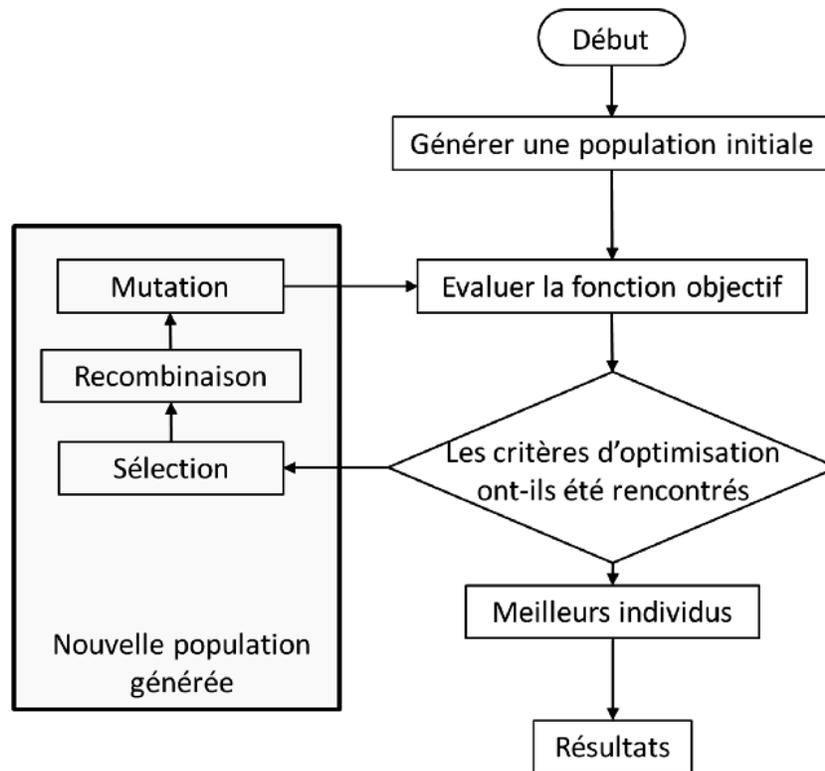


FIGURE 3.7 – Organigramme de l’algorithme NSGA-II

Les étapes de l’algorithme :

Nous devons utiliser la QoS de chaque capteur pour arriver à une solution optimale.

— **Pré-traitement :** Avant de démarrer l’algorithme, les données doivent être organisées afin d’éviter de commettre des erreurs, telles que : collecter de grandes quantités de petites valeurs numériques, ce qui conduit à un ensemble de données incomplet. Le but de cette étape est d’obtenir des résultats corrects et précis. les données doivent être normalisées dans la plage (0 , 1) soustraire minimum et division par maximum pour toutes les observations. La normalisation effectuée selon l’équation suivante :

$$a' = \frac{a - \min_a}{\max_a - \min_a} \quad (3.1)$$

a :Il représente la Qos de chaque capteur

et Min et Max sont respectivement les valeurs minimum et maximum qos actuelles

— **codification de la solution** : Dans les algorithmes génétiques, chaque individu dans une population est encodé par un chromosome. Chaque chromosome représente un point de l'espace de recherche. Ainsi, l'efficacité de l'algorithme génétique dépendra du choix du codage des chromosomes. Afin de solutionner notre problème.

Notre chromosome est composé de quatre capteurs, chaque capteur a sa propre qualité de service

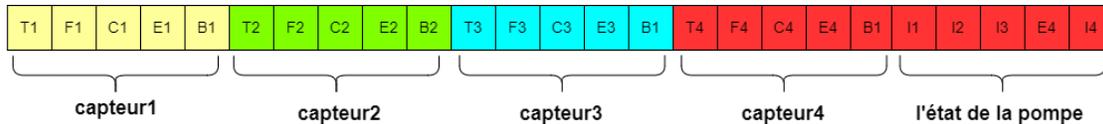


FIGURE 3.8 – Représentation génétique d'un chromosome

T,F,C,E,B Représente la qualité de service pour chaque capteur :

- (a) T=temp
- (b) F=fiabilité
- (c) C=cout
- (d) E=énergie
- (e) B=bande passante

— **Initialiser la population** : La première étape de la mise en œuvre de l'algorithme génétique est de créer un ensemble d'individus initiaux. L'ensemble initial P0 de solutions possibles S est généré. Chaque solution dans la communauté se compose de valeurs de QoS pour chaque type de capteur et de numéros d'indicateurs.

— **Évaluation des fonctions objectives** : En tenant compte de la condition physique et des distances debout, les individus sont classés. La condition physique est la capacité d'un individu à survivre et à se reproduire pour la prochaine génération. Nous classons les individus en fonction des fonctions objectives représentées dans l'équation suivante :

Et nous avons choisi la température, la fiabilité, le coût, la puissance et la bande pas-

sante pour maximiser la réputation

$$Fitness = \left(\sum_{i=1}^4 T_i + F_i + C_i + E_i + B_i \right) + \sum_{j=1}^n I_j \quad (3.2)$$

Comme nous l'avons mentionné précédemment, nous avons travaillé sur la qualité de service pour chaque capteur et ajouté le I, qui représente l'état de la vanne, que nous représenterons par 0 et 1.

— **Définir le front de Pareto** : C'est une série de solutions non dominantes dont le but n'est pas le sacrifice. Ces solutions optimales sont choisies lorsqu'il n'y a pas d'objectif qui peut être amélioré sans sacrifier au moins un autre objectif.

(a) **Tri non dominé** : Le tri non dominant est principalement utilisé pour classer les décisions dans une population selon le principe de dominance de Pareto et joue un rôle important dans les processus de sélection de nombreux algorithmes évolutionnaires multi-objectifs. où ">" représente une relation de contrôle, X et Y sont deux services, x_i et y_i représentent des valeurs de QoS [21] . Dans cet exemple, X domine sur Y si les deux conditions sont remplies :

$$x(x_1, x_2, \dots, x_n) > y(y_1, y_2, \dots, y_n)$$

$$(i) x_i \geq y_i, \forall i = 1, 2, \dots, n$$

$$(ii) \exists j \in \{1, 2, \dots, n\} : x_j > y_j \quad (3.3)$$

(b) **Distance d'encombrement** : Le degré de proximité d'un individu avec ses voisins est calculé par distance d'encombrement, calculée comme la somme des distances individuelles correspondant à chaque cible qui est supposée donner lieu à des valeurs de fonction objectif correspondantes et avoir une bonne variance. La distance d'encombrement est calculée comme suit [22] :

$$d_{IR} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{f_i x - R_i}{f_i^{max} - f_i^{min}} \right)^2} \quad (3.4)$$

Où d_{IR} , M , f_i -max , f_i -min représente respectivement :

- La distance euclidienne de normalisation de l'individu I à la référence R
- M est le nombre d'objectifs
- f_i -max et f_i -min sont les valeurs objectives maximum et minimum de population de i ème
- **Classement de la population** : Chaque membre de la population doit se voir attribuer une valeur de rang qui correspond au degré de sa non-dominance (Habituellement, une valeur de classement plus élevée correspond à un degré plus élevé de non-dominance.)
- **Opérateur de sélection** : Nous choisissons au hasard deux candidats et les comparons à un certain nombre d'autres candidats (nombre fourni par le développeur) en utilisant la relation de dominance Lorsque nous avons terminé ce processus pour les candidats sélectionnés, nous choisissons le gagnant Nous continuons ce processus jusqu'à ce que nous ayons la moitié de la taille de le premier groupe (c'est-à-dire $N/2$) pour les préparer à l'étape suivante (facteur d'intersection).
- **Opérateur de croisement** : Dans ce processus, nous appliquerons la méthode d'intersection, qui s'inspire d'un phénomène biologique et est utilisée dans les algorithmes génétiques classiques. Afin de reproduire de nouvelles solutions avec des individus existants, dans ce projet nous sélectionnons au hasard deux personnes et choisissons ensuite le point d'intersection. Ensuite on choisit Le type de services auxquels nous souhaitons appliquer la croix et les services qui sont proches des pointeurs. A la fin de cette étape nous obtenons N solutions. Comme indiqué dans la figure suivante :

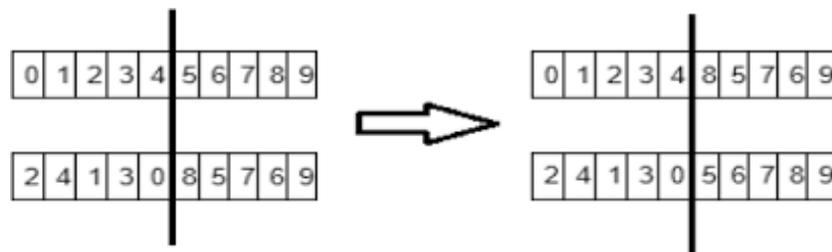


FIGURE 3.9 – Un exemple d'opération de croisement

- **Opération de mutation** : Dans l'opération de mutation, (nous appliquons ce procédé uniquement au niveau des indicateurs) nous échangeons aléatoirement un gène (in-

3. **Sécurisé des données(par blockchain) :** Cette étape est considérée comme la deuxième étape la plus importante de notre système. Il agira comme un pont sécurisé pour transmettre des informations.

première étape commence par la serre intelligente ou la ferme intelligente (équipée des différents capteurs et actionneurs nécessaires (ventilateur, chauffage, arroseur...etc)). En outre, il dispose également d'une Blockchain locale (c'est-à-dire un hub intelligent) connue sous le nom de blockchain sécurisée et privée qui est extraite et stockée par un ou plusieurs appareils capables d'utiliser les ressources. La blockchain locale est gérée par le propriétaire qui peut ajouter ou supprimer des appareils en lançant des transactions ou en supprimant leurs enregistrements. De plus, tous les appareils de la ferme intelligente peuvent communiquer entre eux en accordant une autorisation via une clé partagée symétrique basée sur un algorithme de chiffrement. [23] Dans Blockchain, les registres distribués sont un type de base de données décentralisée qui stocke les enregistrements un par un. Chaque enregistrement dans ses registres a une signature cryptographique et un horodatage uniques. BC privé garde une trace de la transaction et contient l'adresse de politique qui fonde les politiques sur le traitement des transactions entrantes et sortantes. Dans la blockchain, chaque transaction est restreinte comme un grand livre immuable. Pendant ce temps, chaque bloc contient un en-tête de bloc, qui contient le hachage du bloc précédent pour garder la blockchain immuable et un en-tête de politique utilisé pour autoriser les appareils et appliquer la politique générée par l'utilisateur. [23].

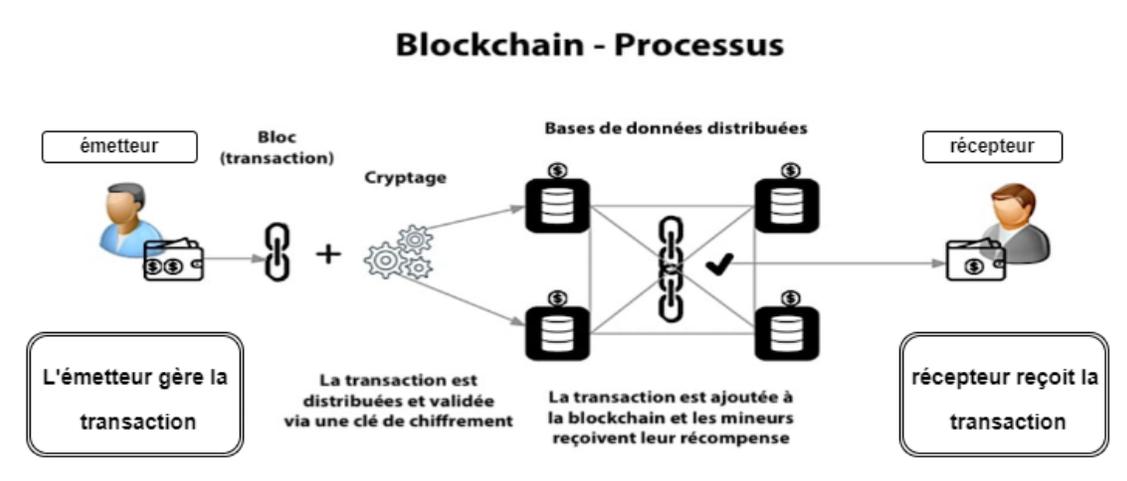


FIGURE 3.10 – Flux de travail Blockchain

4. **Sauvegarder des données :** Cette étape se déroule dans la couche cloud car elle est généralement par défaut dans les centres de données et les communications avec d'autres couches qui utilisent Internet. En général, ceux-ci suivent les plates-formes de couche cloud en tant que service (PaaS) Un modèle architectural où les utilisateurs peuvent se concentrer sur l'exécution d'applications et l'importation de leurs données.
5. **Utilisation des données définitives (Par l'utilisateur ou l'agriculteur) :** Les utilisateurs finaux désignent le propriétaire de la serre intelligente. Ainsi, les utilisateurs peuvent contrôler et gérer à distance à l'aide d'appareils tels qu'un mobile intelligent, un ordinateur.

3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous expliquerons les couches de notre ingénierie et la voie suivie dans notre système proposé, qui est d'intégrer les avantages de l'Internet des objets et de la blockchain dans l'agriculture, de lever plusieurs obstacles rencontrés par l'agriculture et d'augmenter la rendement. Où nous avons utilisé l'algorithme NSGA-2 pour installer les capteurs nécessaires dans la ferme ou la serre, en trouvant la meilleure solution. Nous avons également évoqué l'utilisation de la Blockchain pour sécuriser nos données lors de leur transfert et de leur stockage.

Chapitre 4

Étude expérimentale et résultats

4.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté un modèle complet qui explique toutes les couches nécessaires pour créer un système d'irrigation basé sur l'IoT et la technologie blockchain, et a également expliqué les étapes par lesquelles passe notre processeur. Afin de réaliser notre système, nous avons utilisé de nombreux outils de développement, qu'ils soient logiciels ou matériels. Ce chapitre est consacré à la présentation de l'environnement de travail, du langage de programmation et des outils que nous avons utilisés.

Proposer une solution pour réaliser notre système, en utilisant l'algorithme NSGA-2 pour installer des capteurs dans les champs agricoles.

Nous avons également proposé l'utilisation de la technologie blockchain en utilisant des contrats intelligents qui nous permettent d'échanger et de stocker des données, et à la fin nous discuterons des résultats que nous avons obtenus.

4.2 Outils et langages de développement

Pour créer notre système proposé, nous utiliserons :

4.2.1 Outils matériel

- Ordinateur personnel :
- **RAM** : 4.00 GB

- **CPU** : Intel (R) Core (TM) i3-4005U CPU @ 1.70GHz 1.70 GHz
- **Type de système** : Système d'exploitation 64 bits , processeur x64

4.2.2 Outils logiciel

Afin de réaliser notre système, nous devons utiliser une variété de langages de programmation : nous avons utilisé le langage Python pour implémenter l'algorithme NSGA-2, et nous avons utilisé le langage de solidité pour créer un contrat intelligent. Avec l'utilisation de différents environnements.



FIGURE 4.1 – Les outils de développement

Plate-forme

1. **Python** : Le langage de programmation Python a été créé par Guido Van Rossum en 1989. Il s'agit d'un langage de programmation d'interpréteur développé sous forme de projet open source. Python prend en charge la programmation orientée objet, la programmation procédurale et également fonctionnelle. C'est un langage multiplateforme, ce qui signifie que les programmes écrits en Python s'exécutent sous de nombreux systèmes d'exploitation, notamment les systèmes Microsoft Windows, Linux et Unix comme Mac OS X, avec une prise en charge presque complète des bibliothèques standard et tierces,

en copiant simplement le code source du programme.[24]

2. **Solidity** : est un langage de programmation orienté objet spécialement créé par l'équipe Ethereum Network pour créer et concevoir des contrats intelligents sur les plateformes Blockchain.
 - Il est utilisé pour créer des contrats intelligents qui implémentent une logique métier et génèrent une chaîne d'enregistrements de transaction dans le système blockchain.
 - Il agit comme un outil pour créer du code au niveau de la machine et le compiler sur la machine virtuelle Ethereum (EVM).
 - Il présente de nombreuses similitudes avec C et C++ et est assez simple à apprendre et à comprendre. Par exemple, un «main» en C équivaut à un «contrat» dans Solidity.
 - Comme d'autres langages de programmation, la programmation Solidity comporte également des variables, des fonctions, des classes, des opérations arithmétiques, la manipulation de chaînes et de nombreux autres concepts.[25]

IDE (environnement de développement intégré)

1. **PyCham** :PyCharm est l'IDE de Python le plus populaire et il est développé par une société appelée JetBrains. L'entreprise est célèbre pour son environnement de développement intégré et a également créé des IDE pour différents langages de programmation, tels que Java, C ++ et PHP. L'IDE PyCharm est compatible avec les versions de Python 2.x et 3.x. Bien que PyCharm soit spécialement conçu pour Python, vous pouvez également créer des fichiers HTML, CSS et JavaScript à l'aide de ce dernier. PyCharm prend en charge ces langages de programmation car Python est également utilisé pour la création d'applications Web. L'IDE Python populaire est livré avec une belle interface utilisateur, mais vous pouvez également personnaliser PyCharm en fonction de vos besoins et préférences spécifiques, en utilisant plus de 50 plug-ins avec PyCharm que vous pouvez installer en fonction des exigences de votre projet.[26]
2. **Rrmix** :Remix IDE est une application web et de bureau open-source. Il favorise un cycle de développement rapide et dispose d'un riche ensemble de plug-ins avec des interfaces utilisateur graphiques intuitives. Le remix est utilisé pour l'ensemble du parcours de dé-

veloppement de contrat et sert de terrain de jeu pour apprendre et enseigner Ethereum. [27]

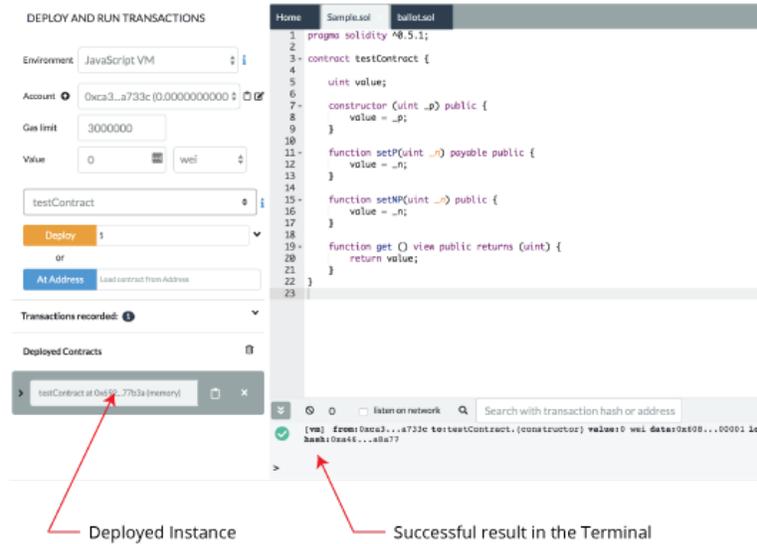


FIGURE 4.2 – Exemple exécuter et déployer remix

diagrams.net :

diagrams.net (anciennement draw.io) est un logiciel gratuit et open source de dessin de graphiques multiplateforme développé en HTML5 et JavaScript. Son interface peut être utilisée pour créer des diagrammes tels que des organigrammes, des structures filaires, des diagrammes UML, des organigrammes et des diagrammes de réseau.

4.3 Implémentation

Dans cette étape, nous présenterons et expliquerons les étapes les plus importantes que traverse notre système, nous parlerons de l'application de l'algorithme NSGA2 afin d'obtenir une solution idéale pour installer des capteurs. et aussi de l'utilisation de la blockchain pour réaliser sécurité de nos données.

1. NSGA-2 (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) :

Dans cette étape, les résultats obtenus à partir de cet algorithme seront affichés après avoir appliqué toutes les étapes de base de celui-ci.

(a) **Nous déterminerons le nombre de population et le nombre de générations :**

```
Entre le nombre de population
100
Entre le nombre de génération
10
```

FIGURE 4.3 – Détermination de la population et du nombre de générations

(b) **Les résultats obtenus :**

```
index first parito = 99   oue parito= [0.15789473684210525, 0.0, 0.0, 0.0, 0, 0, 24]
index second parito = 95  oue parito= [0.3157894736842105, 0.07692307692307693, 1.0, 0.0, 0, 0, 24]
```

FIGURE 4.4 – Premier pareto et deuxième parito

(c) **Représentation de Pareto** Les points rouges représentent les trois premiers Pareto et les points bleus représentent les trois autres Pareto. (Le but est d’obtenir des résultats non dominants)

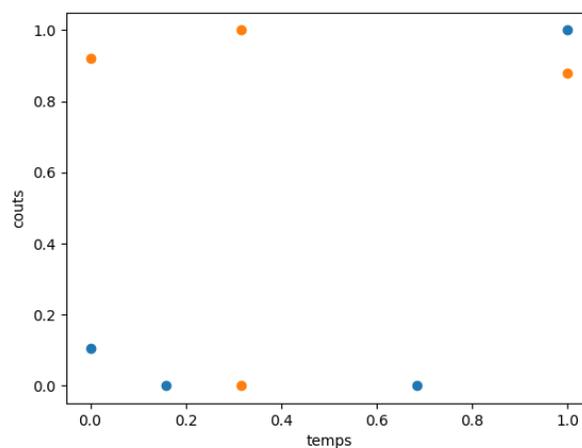


FIGURE 4.5 – Premier Pareto et deuxième Pareto(couts et temps)

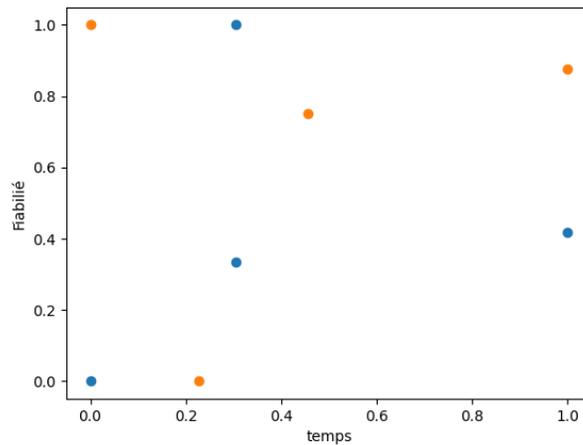


FIGURE 4.6 – Premier Pareto et deuxième Pareto(Fiabilité et temps)

- (d) **Comparer les résultats** : Les résultats ont été comparés à l'aide de méthodes randomisées et non dominantes, Et c'est après avoir calculé la moyenne des valeurs pour plusieurs tentatives :

TABLE 4.1 – Résultats moyens des valeurs QoS obtenues à partir de chaque approche

Méthode	NbGénération	temp	Fiabilité	Coût	bandePassante
Aléatoire	1	0,72	0,71	0,84	0,66
Dominance	10	0,64	0,64	0,67	0,68
	20	0,75	0,43	0,62	0,65
	50	0,64	0,78	0,70	0,68
	80	0,67	0,81	0,69	0,74
	100	0,72	0,67	0,68	0,73

- (e) **Distance moyenne avec une approche différente** : La figure suivante représente les valeurs obtenues dans les deux cas, aléatoire et non dominant, où l'on remarque des valeurs variables, et ces valeurs évoluent en fonction de l'évolution du nombre de générations.

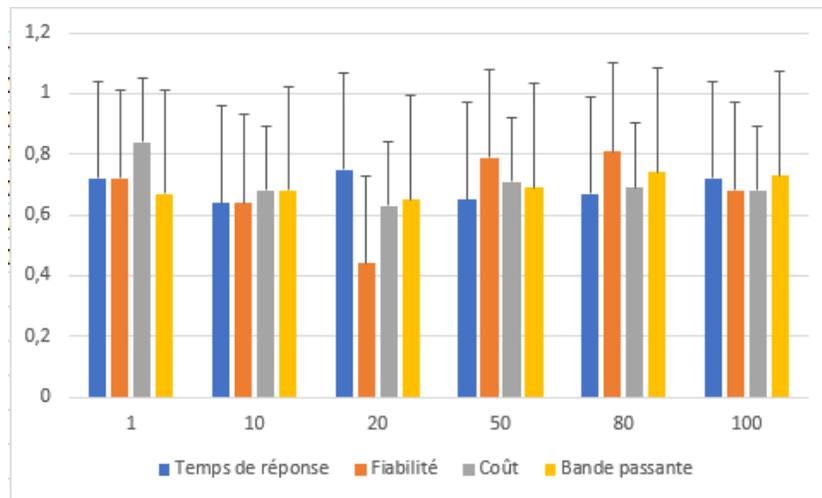


FIGURE 4.7 – Resultats nsga2

(f) **selectionner les meilleurs solutions :**

```

1er parent [[1.0, 0.9230769230769231, 0.0, 0.0, 1, 0, 24], [0.6923076923076923, 1.0, 0.56, 1.0, 1, 0, 24], [0.0, 0.0, 1.0, 0.5789473684210527, 1, 0, 24], [0.0, 0.0, 1.0, 0.5789473684210527, 1, 0, 24]]
2er parent [[1.0, 1.0, 0.0, 1.0, 1, 0, 24], [0.8947368421052632, 0.8, 0.5555555555555556, 0.15384615384615385, 1, 0, 24], [0.2631578947368421, 0.7, 1.0, 0.0, 1, 0, 24]]

```

FIGURE 4.8 – Les parents résultants

- sécurité des données** : Pour assurer la sécurité de nos données, nous utiliserons la technologie blockchain, et comme nous savons que cette technologie a une large portée pour entrer dans plusieurs domaines, et en conséquence, nous présenterons comment stocker des données IoT sur une combinaison de stockage en chaîne (Ethereum Blockchain) de manière cryptée et utilisez-le en temps réel. Cela crée des contrats intelligents pour enregistrer les appareils IoT et stocker des données.

Nous détaillerons les étapes utilisées dans les contrats intelligents pour déterminer le contrôle d'accès, le stockage et la récupération des données :

— Nous commencerons d'abord déployer le contrat et expliquer son contenu :



FIGURE 4.9 – Déployer le contrat

- (a) Enregistrement d'appareils l'Internet des objets, il est considéré comme la méthode d'enregistrement de tout appareil et n'est accessible que par le propriétaire du contrat

```

111
112 function registerDevice ( address addressToAdd ) ownerOnly public {
113   if ( devicePresent ( addressToAdd ) ) {
114     emit deviceEvent ( addressToAdd , "DEVICE ALREADY REGISTERED" ) ;
115   }
116   trustedAddresses [ addressToAdd ] = true ;
117   emit deviceEvent ( addressToAdd , "SUCESSFULLY REGISTERED" ) ;
118 }
119

```

FIGURE 4.10 – Enregistrement d'appareils IoT

- (b) Cette fonction vérifie si l'appareil est enregistré

```

105
106 function devicePresent ( address addressToAdd )
107 public view returns ( bool ) {
108 return trustedAddresses [ addressToAdd ] ;
109 }
110

```

FIGURE 4.11 – Vérifier les appareils

- (c) Cette méthode est utilisée pour démarrer une transaction pour ajouter un nouveau hachage de fichier reçu du système de stockage et l'enregistrer .

```

66
67 function setSensorData ( string _filehash ) public {
68 if ( devicePresent (msg.sender ) ) {
69
70     uint idToStore = getCurrentID() ;
71
72     SensorData storage sensorReadings= sensorStore [ idToStore ] ;
73     sensorReadings.filehash = _filehash ;
74     incrCurrentID ( ) ;
75     emit setFileHashEvent (msg.sender , "FILEHASH TXN CALLED" ) ;
76 } else {
77     emit setFileHashEvent (msg.sender , "DEVICE NOT REGISTERED" ) ;
78 }
79 }

```

FIGURE 4.12 – Stocker le hachage de fichier

- (d) Cette fonction renvoie le dernier fichier stocké dans la blockchain. Utilisation de la variable déclarée currentID

```

81
82 function getSensorDataLatest () public view returns ( string ) {
83 if ( devicePresent (msg.sender ) ) {
84     SensorData storage sensorReading = sensorStore [ getCurrentID () -1];
85     return sensorReading.filehash;
86 }
87 }
88 return "DEVICE NOT REGISTERED" ;
89 }
90

```

FIGURE 4.13 – Renvoie le dernier fichier stocké

- (e) récupère la valeur associée à l'ID transmis

```

95
96 function getSensorDataByID ( uint ID ) public view returns ( string ) {
97   if ( devicePresent ( msg.sender ) ) {
98     SensorData storage sensorReadings = sensorStore [ ID ] ;
99     return sensorReadings.filehash ;
100
101   }
102   return "DEVICE NOT REGISTERED" ;
103 }
104

```

FIGURE 4.14 – Récupère la valeur stocké

(f) Cette fonction annule l'enregistrement de l'appareil L'Internet des objets

```

120
121 function deregisterDevice ( address addressToRemove ) ownerOnly public {
122   if ( ! devicePresent ( addressToRemove ) ) {
123     emit deviceEvent ( addressToRemove , "DEVICE NOT REGISTERED" ) ;
124   }
125   trustedAddresses [ addressToRemove ] = false ;
126   emit deviceEvent ( addressToRemove , "SUCESSFULLY DEREGISTERED" ) ;
127 }
128
129
130 }

```

FIGURE 4.15 – Désenregistrer les appareils

— Exemple d'exécution d'un contrat intelligent :

(a) **déployer le Contrat :**

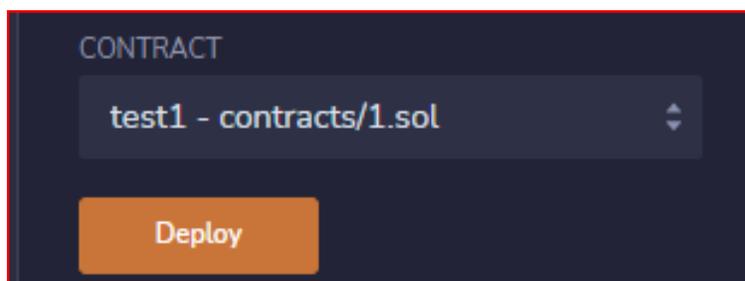


FIGURE 4.16 – Déployer le Contrat

(b) **les détails de transaction pour créer la première virtuelle machine :**

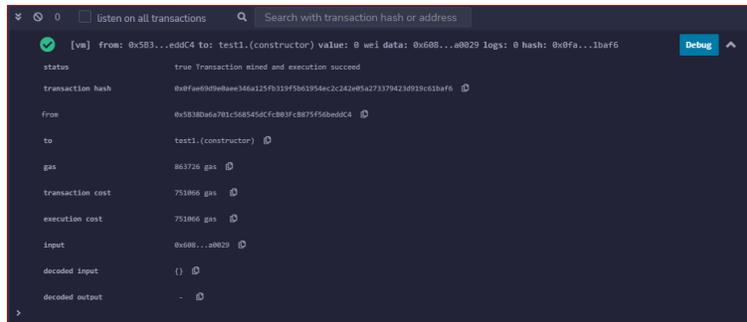


FIGURE 4.17 – La première virtuelle machine

(c) **Affiche le numéro d'identification actuel :**

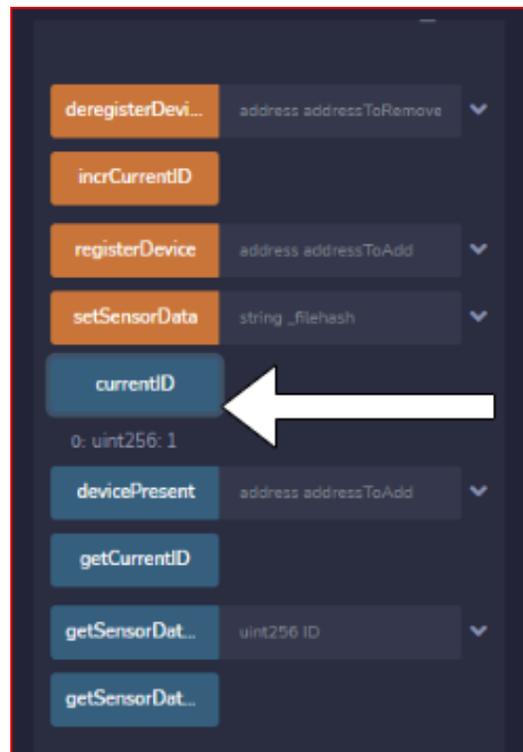


FIGURE 4.18 – Le numéro d'identification actuel

(d) **Dans cette étape, nous allons augmenter l'ID actuel :**

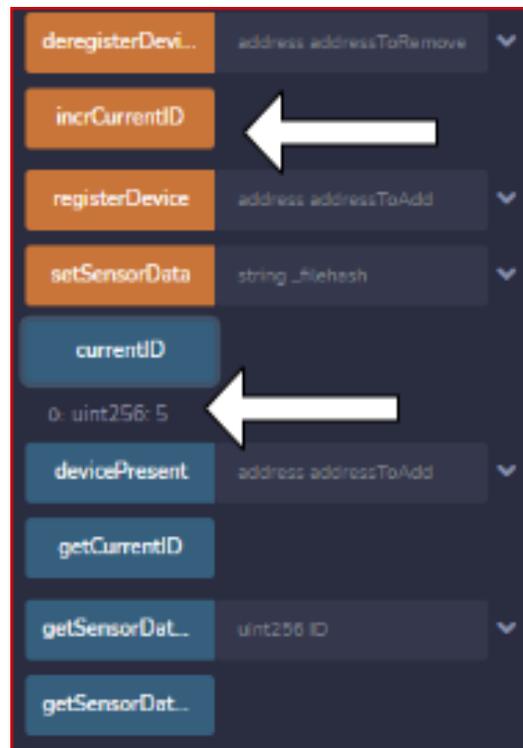


FIGURE 4.19 – Afficher l'identifiant

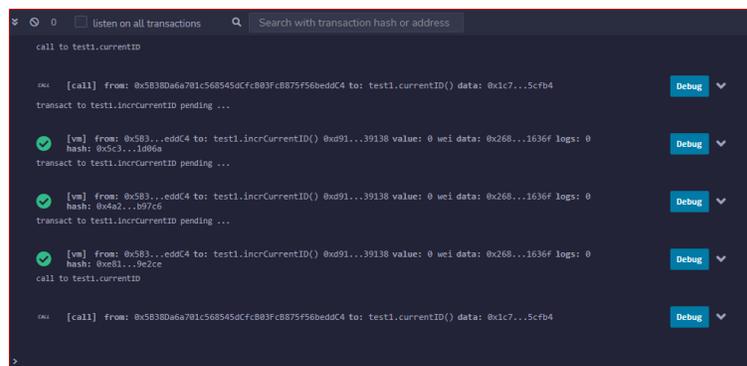
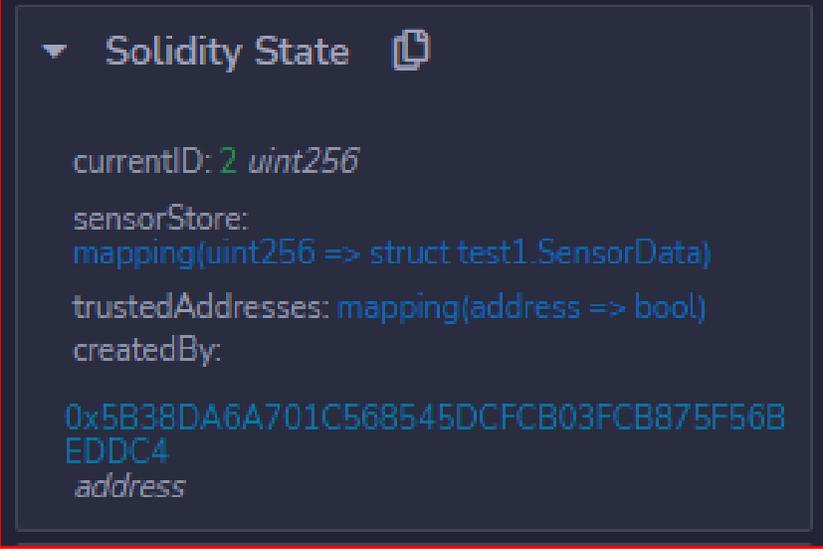


FIGURE 4.20 – Afficher les détails de l'identifiant

- (e) **Dans cette étape, nous allons récupérer les données représentées dans l'adresse et l'ID pour enregistrer l'appareil :**



```

Solidity State

currentID: 2 uint256

sensorStore:
mapping(uint256 => struct test1.SensorData)

trustedAddresses: mapping(address => bool)

createdBy:

0x5B38DA6A701C568545DCFCB03FCB875F56B
EDDC4
address

```

FIGURE 4.21 – L'adresse et l'ID de l'appareil

(f) **Afficher le message enregistré avec succès de l'appareil :**



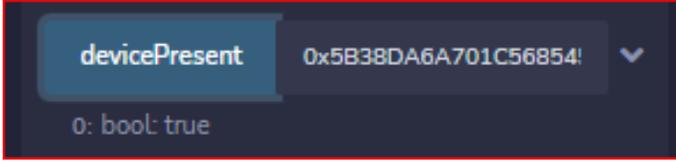
```

[
  {
    "from": "0xd9145CCE520386f254917e481e844e9943f39138",
    "topic": "0x8a54fd75efac9c6224b47a004b0f1613d206d1a60f8f0ceecd6724aeb8c8ae",
    "event": "deviceEvent",
    "args": {
      "0": "0x5B38Da6a701c568545dCfcB03FcB875f56beddC4",
      "1": "SUCCESSFULLY REGISTERED",
      "_from": "0x5B38Da6a701c568545dCfcB03FcB875f56beddC4",
      "_message": "SUCCESSFULLY REGISTERED"
    }
  }
]

```

FIGURE 4.22 – Enregistré l'appareil

(g) **Et nous pouvons nous assurer que l'appareil est enregistré avec cette fonction :**



```

devicePresent 0x5B38DA6A701C56854!
0: bool: true

```

FIGURE 4.23 – Testez l'appareil s'il est enregistré

(h) **Dans cette étape, le filehash sera appelé, qui contiendra le contenu ou les données du capteur :**

```
[
  {
    "from": "0xd9145CCE520386f254917e481e844e9943f39138",
    "topic": "0x8c45bd9ba459f9f5bcde0373f3123857858fb6a441873b2df26137e2bbd279da",
    "event": "setFileHashEvent",
    "args": {
      "0": "0x58380a6a701c568545dcfc803fc875f56beddc4",
      "1": "FILEHASH TXN CALLED",
      "_from": "0x58380a6a701c568545dcfc803fc875f56beddc4",
      "_message": "FILEHASH TXN CALLED"
    }
  }
]
```

FIGURE 4.24 – Appelé le filehash

- (i) Cette fonction permet de retourner le contenu du fichier ou les données du capteur stockées :

```
getSensorDat...
0: string: 20
```

FIGURE 4.25 – Contenu du capteur stockées

- (j) Nous pouvons également afficher les informations utilisées dans notre contrat et importantes dans la blockchain :

```
Global Variables
block.chainid: 0xd05
block.coinbase: 0x00000000000000000000000000000000
block.difficulty: 70762765929000
block.gaslimit: 6000000
block.number: 7
block.timestamp: 1654856579
msg.sender: 0x58380a6a701c568545dcfc803fc875f56beddc4
msg.sig: 0x1ca1d34e
msg.value: 0 Wei
tx.origin: 0x58380a6a701c568545dcfc803fc875f56beddc4
block.basefee: 1 Wei (0x01)
```

FIGURE 4.26 – Informations utilisées dans notre contrat

4.3.1 Discussion

Nos résultats obtenus s'articulent autour de deux parties. La première représente la solution optimale pour installer des capteurs grâce à l'algorithme NSGA-2, qui permet de préserver la diversité. Nous avons obtenu les résultats après avoir utilisé les deux méthodes aléatoires et non dominantes. Nous notons que les résultats non dominants sont considérés comme des solutions parmi lesquelles il est possible de choisir les solutions optimales et c'est là qu'il y a un objectif Il peut être amélioré sans sacrifier au moins un autre objectif. Dans nos résultats obtenus, nous constatons que le pourcentage de fiabilité est supérieur au pourcentage de coût, et c'est le but à atteindre car nous recherchons des solutions qui permettent d'obtenir de bons résultats à moindre coût.

La deuxième étape représente les résultats obtenus lors de la collecte de données de capteurs à partir d'appareils IoT et de l'utilisation de la blockchain pour stocker et récupérer les données collectées de manière sécurisée et décentralisée au sein d'un système fermé. Nous avons utilisé une application Ethereum qui fournit une plate-forme pour exécuter des contrats intelligents. Le but de l'utilisation de ces contrats est de faciliter les transactions (comme le montrent les résultats ci-dessus) et de stocker des données importantes dans le grand livre distribué, où les données des capteurs sont stockées en toute sécurité et importées pour être utilisées dans la gestion de l'environnement agricole et pour produire des applications qui permettent de contrôler et de traiter les données dont l'agriculteur a besoin pour fonctionner.

4.4 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté différents environnements matériels ou outils logiciels que nous avons utilisés pour mettre en œuvre notre projet. Ce qui est représenté dans la réalisation d'un système agricole basé sur l'Internet des objets et la blockchain, c'est-à-dire en utilisant des capteurs et des appareils intelligents pour contrôler l'environnement cultivé, et cela nécessite une utilisation prudente de ces appareils sans compromettre le pourcentage de rendements, c'est-à-dire avec une meilleure qualité et un moindre coût. Nous avons également parlé de l'utilisation du réseau Ethereum, qui

permet de stocker et de récupérer les données des capteurs de manière transparente et sécurisée.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion

Compte tenu de l'importance du domaine de l'agriculture, il est considéré comme l'une des principales priorités qui doivent être recherchées et des solutions à tout ce qui lui arrive. Récemment, la technologie a touché la plupart des domaines, y compris la santé, l'industrie et l'agriculture.

L'irrigation est considérée comme l'une des choses de base nécessaires aux plantes ou à l'agriculture en général. A cause du nombre de sources d'eau et la façon dont elle est distribuée est un problème auquel sont confrontés la plupart des agriculteurs ou des entreprises qui s'intéressent à ce domaine. Récemment, le développement de la technologie s'est accéléré avec l'expansion des domaines qui la touchent, notamment l'Internet des objets et la blockchain. Dans ce projet, nous avons proposer une solution pour un système d'irrigation moderne basé sur l'utilisation de la technologie de l'Internet des objets et du blockchain, c'est-à-dire en intégrant tous leurs avantages.

C'est pourquoi nous avons proposé dans notre système l'utilisation de capteurs afin de capturer des données importantes liées à l'environnement agricole. De plus, ces capteurs ont besoin d'une méthode et d'une étude minutieuse pour les installer, en utilisant l'une des méthodes de résolution des problèmes d'optimisation multi-objectifs, et de nombreux algorithmes génétiques peuvent être utilisés, y compris l'algorithme NSGA-2. C'est une approche rapide, élitiste, sans paramètre, qui manipule un ensemble de solutions et utilise un mécanisme explicite pour préserver la diversité. Le but est de trouver la solution idéale qui respecte toutes les conditions proposées et me permette d'utiliser ces capteurs avec une meilleure qualité et à moindre coût.

Nous avons également abordé le problème de sécurité auquel l'utilisation de la technologie dans le domaine de l'agriculture peut être exposée, et dans le troisième chapitre, nous avons

mentionné certaines attaques, et c'est ce qui a conduit à l'utilisation de la Blockchain dans ce domaine, pour sa transparence et sa sécurité.

Perspectives

Pour les travaux futurs, nous visons à accroître et à étendre l'utilisation de la technologie dans le domaine de l'agriculture, c'est-à-dire en utilisant les dernières technologies et le contrôle agricole à distance, et avec l'augmentation du développement de l'intelligence artificielle, nous espérons utiliser des robots pour faciliter certains des obstacles auxquels les agriculteurs peuvent être confrontés. Et de nombreuses technologies qui peuvent être la solution parfaite à tous les problèmes et difficultés dans le domaine de l'agriculture.

Bibliographie

- [1] Gikunda, P. K., & Jouandeau, N. (2019, July). State-of-the-art convolutional neural networks for smart farms : A review. In Intelligent computing-proceedings of the computing conference (pp. 763-775). Springer, Cham.

- [2] Lin, J., Shen, Z., Zhang, A., & Chai, Y. (2018, July). Blockchain and IoT based food traceability for smart agriculture. In Proceedings of the 3rd international conference on crowd science and engineering (pp. 1-6)

- [3] Precision Farming.Searcy, Stephen W.A new approach to crop management. Texas Agricultural Extension Service, The Texas A&M University System, USA.1997

- [4] Xie, T., Huang, Z., Chi, Z., & Zhu, T. (2017, April). Minimizing amortized cost of the on-demand irrigation system in smart farms. In Proceedings of the 3rd International Workshop on Cyber-Physical Systems for Smart Water Networks (pp. 43-46)

- [5] Bodkhe, U., Tanwar, S., Bhattacharya, P., & Kumar, N. (2020). Blockchain for precision irrigation : Opportunities and challenges. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, e4059.

- [6] Boukara, D. (2019). Utilisation des ontologies pour l'intégration d'internet des objets dans la gestion des processus métier.

- [7] Rayhana, R., Xiao, G., & Liu, Z. (2020). Internet of things empowered smart greenhouse farming. IEEE Journal of Radio Frequency Identification, 4(3), 195-211.

- [8] NOUAR, RABIE. Une approche d'apprentissage automatique pour la détection des maladies dans les fermes intelligentes
- [9] PINOIT, Clément.moire de Fin d'Etudes
- [10] Dafri, Z. (2019). Réalisation d'un système basé sur Internet des Objets pour le contrôle des serres intelligentes.
- [11] Hartani, T., Naouri, M., & Kuper, M. (2015). L'entrée des jeunes dans l'agriculture : cas du maraîchage sous serre dans les Ziban (Algérie).
- [12] Lin, J., Shen, Z., Zhang, A., & Chai, Y. (2018, July). Blockchain and IoT based food traceability for smart agriculture. In Proceedings of the 3rd international conference on crowd science and engineering (pp. 1-6).
- [13] Madakam, S., Lake, V., Lake, V., & Lake, V. (2015). Internet of Things (IoT) : A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), 164.
- [14] Saleh, I. (2017). Les enjeux et les défis de l'Internet des Objets (IdO). *Internet des objets*, 1(1), 5.
- [15] Dogo, E. M., Salami, A. F., Nwulu, N. I., & Aigbavboa, C. O. (2019). Blockchain and internet of things-based technologies for intelligent water management system. In *Artificial intelligence in IoT* (pp. 129-150). Springer, Cham.
- [16] Tijan, E., Aksentijević, S., Ivanić, K., & Jardas, M. (2019). Blockchain technology implementation in logistics. *Sustainability*, 11(4), 1185.
- [17] Dogo, E. M., Salami, A. F., Nwulu, N. I., & Aigbavboa, C. O. (2019). Blockchain and internet of things-based technologies for intelligent water management system. In *Artificial intelligence in IoT* (pp. 129-150). Springer, Cham.
- [18] Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N., & Alazab, M. (2020). Blockchain for industry 4.0 : A comprehensive review. *IEEE Access*, 8, 79764-79800.

- [19] Chanet, J. P. (2016). Réseaux de capteurs sans fil et approches contextuelles au service de l'agriculture (Doctoral dissertation, HDR Ecole doctorale Sciences pour l'ingénieur de Clermont-Ferrand).
- [20] Li, W., Awais, M., Ru, W., Shi, W., Ajmal, M., Uddin, S., & Liu, C. (2020). Review of sensor network-based irrigation systems using IoT and remote sensing. *Advances in Meteorology*, 2020.
- [21] Merizig, A., Kazar, O., Lopez-Sanchez, M. (2018). A dynamic and adaptable service composition architecture in the cloud based on a multi-agent system. *International Journal of Information Technology and Web Engineering (IJITWE)*, 13(1), 50-68.
- [22] Merizig, A., Kazar, O., Sanchez, M. L. (2019). A multi-agent system approach for service deployment in the cloud. *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, 23(1), 69-92.
- [23] Patil, A. S., Tama, B. A., Park, Y., & Rhee, K. H. (2017). A framework for blockchain based secure smart green house farming. In *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing* (pp. 1162-1167). Springer, Singapore.
- [24] Mészárosóvá, E. (2015). Is python an appropriate programming language for teaching programming in secondary schools. *International Journal of Information and Communication Technologies in Education*, 4(2), 5-14.
- [25] [utorials/blockchain.https://www.simplilearn.com/tutorials/blockchain-tutorial/what-is-solidity-programming](https://www.simplilearn.com/tutorials/blockchain-tutorial/what-is-solidity-programming)what is solidity programming. Accessed :15-4-2022.
- [26] [what-is-pycharm.https://www.techgeekbuzz.com/blog/what-is-pycharm/](https://www.techgeekbuzz.com/blog/what-is-pycharm/). Accessed :15-4-2022.
- [27] [readthedocs.https://remix-ide.readthedocs.io/en/latest/](https://remix-ide.readthedocs.io/en/latest/).Accessed :15-4-2022.
- [28] [investopedi.https://www.investopedia.com/terms/e/ethereum.asp](https://www.investopedia.com/terms/e/ethereum.asp).Accessed :15-4-2022.