

# Projet IoT - Agriculture Intelligente

MANE Cheikh Ahmed  
KHAIRALLAH Marwan

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Description des composants du système</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Architecture du système</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Drone</b>	<b>3</b>
4.1	Contraintes et choix . . . . .	3
4.1.1	Avantages . . . . .	3
4.1.2	Désavantages . . . . .	3
4.2	Caractéristiques du drone . . . . .	3
4.3	Raspberry Pi et Navio2 . . . . .	4
4.4	Autonomie et recharge . . . . .	4
4.5	Station de recharge automatique . . . . .	5
4.6	Planificateur de vol . . . . .	5
4.7	Caméra multispectrale/thermique . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Cloud</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Réseau Wi-Fi</b>	<b>7</b>
6.1	Infrastructure Wi-Fi en mesh . . . . .	7
6.2	Communication via relais . . . . .	8
6.3	Choix du Wi-Fi . . . . .	8
<b>7</b>	<b>Système d'irrigation intelligent</b>	<b>8</b>
7.1	Architecture et communication . . . . .	9
7.2	Principe de fonctionnement . . . . .	9
7.3	Avantages de ce système . . . . .	9
7.4	Exemple de cycle d'arrosage . . . . .	10
<b>8</b>	<b>Logiciel d'interface utilisateur</b>	<b>10</b>
<b>9</b>	<b>Évaluation des coûts</b>	<b>11</b>
<b>10</b>	<b>Évolutivité et valeur ajoutée du système</b>	<b>12</b>
<b>11</b>	<b>Évaluation des risques de sécurité du système</b>	<b>13</b>
<b>12</b>	<b>Conclusion</b>	<b>14</b>

# 1 Introduction

Le projet propose la mise en place d'un système d'irrigation intelligent basé sur les données collectées par un drone autonome. Ce système permet d'automatiser la surveillance des cultures et l'ajustement de l'irrigation en fonction des besoins réels du sol et des plantes, réduisant ainsi les pertes en eau et augmentant les rendements.

Un des aspects clés de ce projet est également le développement d'une interface utilisateur intuitive, permettant aux agriculteurs non scolarisés de comprendre facilement l'état de leur champ. Cette interface visuelle et simplifiée leur fournira les informations essentielles sur la santé de leurs cultures et les besoins en irrigation, facilitant ainsi leur prise de décision.

## 2 Description des composants du système

Technologies utilisées :

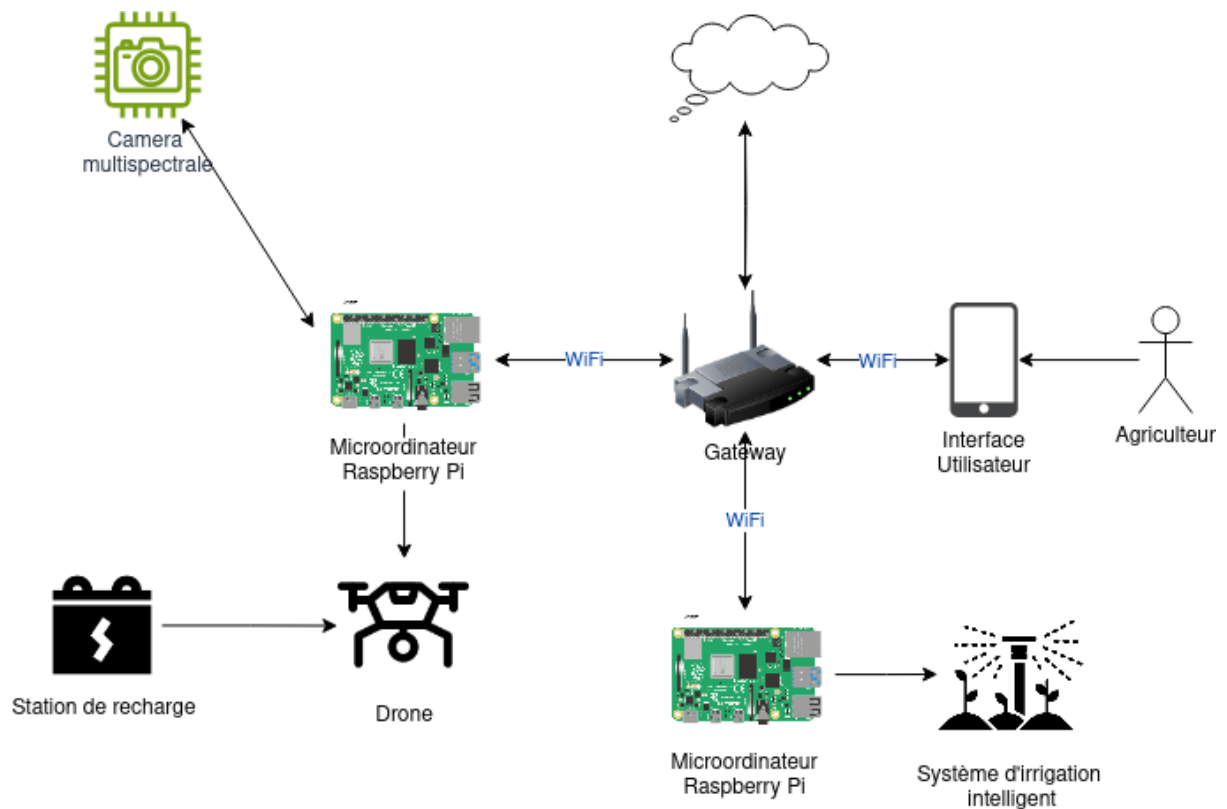
- **Drone autonome** : Pour la collecte de données.
- **Micro-ordinateur (Raspberry Pi)** : Pour la gestion des capteurs , la transmission des données, et la commande d'irrigation.
- **Caméra multispectrale** : Pour analyser la santé des cultures via les indices de végétation.
- **Station de recharge automatique** : Pour garantir une autonomie prolongée du drone.
- **Système d'irrigation connecté** : Pour ajuster automatiquement les apports en eau.
- **Interface utilisateur simplifiée** : Pour permettre aux agriculteurs non scolarisés de suivre l'état de leur champ de manière intuitive.
- **Cloud** : Pour le stockage centralisé des données

## 3 Architecture du système

Le système de surveillance agricole intelligent est constitué de plusieurs composants et appareils IoT connectés pour récupérer et analyser les données puis effectuer des actions spécifiques.

L'architecture permet une collecte de données efficace, une transmission sécurisée et des actions physiques effectives.

Voici l'architecture de notre système, le rôle de chaque composant sera présenté en détail.



## 4 Drone

### 4.1 Contraintes et choix

#### 4.1.1 Avantages

- Couverture d'une grande surface
- Collecte de données variées
- Flexibilité et mobilité
- Moins d'installation et d'entretien
- Adaptabilité à d'autres usages

#### 4.1.2 Désavantages

- Coût plus élevé à l'achat
- Autonomie limitée
- Dépendance aux conditions météorologiques

### 4.2 Caractéristiques du drone

L'utilisation d'un drone personnalisé offre une flexibilité et une adaptabilité supérieures par rapport aux drones commerciaux, en permettant l'intégration de capteurs spécifiques et de logiciels sur mesure selon les besoins de l'utilisateur. Contrairement aux drones

commerciaux, souvent limités aux configurations du fabricant, un drone personnalisé peut embarquer des caméras multispectrales, des capteurs d'humidité du sol, des modules LiDAR ou des systèmes d'intelligence artificielle pour une analyse avancée des cultures et une optimisation de l'irrigation. De plus, il permet un contrôle total des données sans dépendance à des serveurs tiers, garantissant ainsi plus de sécurité et de confidentialité. En termes de coût, bien qu'il demande un investissement initial en temps et en compétences techniques, un drone DIY est largement plus économique, avec des composants réparables et évolutifs selon l'évolution du projet.

Le drone utilisé pour ce projet est doté d'une structure robuste comprenant le châssis, les moteurs brushless, les ESC (Electronic Speed Controllers), les hélices, et une batterie de type LiPo (Lithium-Polymer). Le châssis assure la protection de l'ensemble des composants contre les vibrations et les chocs tout en offrant un support solide pour le Raspberry Pi, le Navio2, et les capteurs embarqués. Les moteurs et les hélices génèrent la poussée nécessaire pour permettre au drone de décoller, se maintenir en vol, et se déplacer selon les trajectoires définies. Les ESC régulent la vitesse des moteurs en recevant les instructions du contrôleur de vol, assurant ainsi une réponse précise et une stabilité optimale en vol.

### 4.3 Raspberry Pi et Navio2

Le Raspberry Pi, un micro-ordinateur, agit comme le centre de calcul du drone. Il héberge le logiciel ArduPilot qui est responsable du contrôle de vol du drone. Il gère également les données provenant des capteurs embarqués, tels que les caméras multispectrales. Grâce à sa capacité de traitement, le Raspberry Pi peut non seulement exécuter les instructions de vol mais également analyser les données capturées en temps réel, comme le calcul des indices de végétation, avant de les transmettre à une station au sol via le module de communication Wi-Fi.

Le Navio2 est une carte d'extension pour le Raspberry Pi, transformant ce dernier en un véritable contrôleur de vol. Il fournit les capteurs essentiels à la navigation, tels que le compas (magnétomètre) et le baromètre, qui mesurent respectivement l'orientation du drone et son altitude. De plus, le Navio2 gère les sorties PWM (Pulse Width Modulation), permettant de contrôler précisément la vitesse des moteurs, ce qui assure la stabilité en vol indispensable pour la collecte de données aériennes.

### 4.4 Autonomie et recharge

L'autonomie du drone dépend de la capacité de sa batterie et de la charge utile. La batterie LiPo 4S, connue pour son endurance, alimente tous les composants, y compris le Raspberry Pi et le Navio2, et sa capacité est choisie pour maximiser le temps de vol tout en répondant aux besoins énergétiques des moteurs et des capteurs. Une station de recharge automatique permet au drone de revenir après chaque mission pour recharger ses batteries avant de repartir, prolongeant ainsi la durée des missions de collecte de données.

## 4.5 Station de recharge automatique

La station de recharge est utilisée avec un drone basé sur ArduPilot pour automatiser le processus de recharge. La station permet au drone de revenir automatiquement à la base après sa mission, grâce aux configurations de retour du contrôleur de vol ArduPilot.

Heisha D.Nest propose une recharge par contact, où le drone atterrit sur des pads spécifiques pour se recharger directement. Pour assurer un atterrissage précis, le drone utilise le GPS et des balises visuelles ou optiques fournies par la station.

Pour garantir que le drone se pose correctement sur les pads de recharge, la fonction de Landing Precision d'ArduPilot peut être activée. Cela permet au drone d'utiliser un capteur ou une caméra pour détecter la zone de recharge et s'aligner correctement.

## 4.6 Planificateur de vol

La planification de vol est gérée par le logiciel ArduPilot et des outils comme Mission Planner ou QGroundControl. Ces logiciels permettent de définir des missions prédéfinies, en spécifiant des points de passage (waypoints) que le drone doit atteindre au cours de sa mission. Chaque waypoint inclut des coordonnées GPS, une altitude de vol, et des actions spécifiques telles que la prise de photos et l'analyse de la santé des cultures. Dans notre cas, nous allons développer notre propre logiciel de station sol.

Le drone survole des sections précises du champ pour détecter les variations dans la santé des plantes. Ces missions de surveillance permettent d'identifier les zones nécessitant des ajustements en termes d'irrigation.

Après avoir couvert les zones définies et collecté les données, le drone retourne automatiquement à sa station de recharge à des intervalles de temps définis par l'utilisateur. Cela garantit une continuité des missions tout en évitant les interruptions dues à la décharge de la batterie. L'utilisateur peut paramétrer la fréquence des retours en fonction de la taille de la zone à surveiller et des besoins spécifiques de chaque parcelle.

## 4.7 Caméra multispectrale/thermique

Critère	Caméra multispectrale	Caméra thermique
Prix	Élevé	Moyen
Type de données	NDVI, NDWI (santé des plantes)	Température sol et plantes
Précision pour l'irrigation	Très précise (stress hydrique)	Moyenne
Détection du stress hydrique	Oui (avant qu'il soit visible)	Oui (mais indirectement)
Facilité d'analyse	Nécessite un traitement logiciel	Facile à interpréter
Fonctionne la nuit ?	Non	Oui
Impact de la météo	Dépend de la lumière	Sensible au soleil
Couverture	Large (champ entier)	Large (champ entier)
Fréquence des mesures	Instantané lors du survol	Instantané lors du survol
Installation et maintenance	Drone + traitement des images	Drone + analyse thermique
Besoin d'un drone ?	Oui	Oui

Table 1: Comparaison entre une caméra multispectrale et une caméra thermique

Les caméras multispectrales capturent des images des cultures sous différents spectres de lumière, permettant de calculer des indicateurs de santé des plantes tels que le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Ces images aident à identifier les zones de stress hydrique et à surveiller la vigueur des cultures. Le Raspberry Pi traite ces images sur le terrain, réduisant ainsi la quantité de données à transmettre.

## 5 Cloud

Avantages	Inconvénients
Stockage centralisé des données (capteurs, drone, irrigation)	Dépendance à Internet : coupure réseau = accès limité
Traitement et analyse avancés via l'IA et le Machine Learning	Coût d'abonnement aux services Cloud (AWS, Azure, Google Cloud)
Automatisation intelligente du système d'irrigation	Sécurité et confidentialité : risque de cyberattaques
Accès distant sécurisé depuis une application web/mobile	Latence possible dans les commandes si le réseau est saturé
Évolutivité : ajout facile de nouveaux capteurs/drones	Complexité de mise en place nécessitant des compétences en Cloud
Sécurisation des données avec sauvegardes automatiques	
Réduction des coûts locaux : moins de serveurs physiques sur site	

Table 2: Avantages et inconvénients de l'intégration du Cloud dans l'infrastructure

## 6 Réseau Wi-Fi

Le réseau Wi-Fi constitue l'épine dorsale de la communication dans notre système de surveillance agricole. Il permet de connecter le drone, le système d'irrigation (qui dispose de son propre Raspberry Pi) et l'utilisateur via une application, assurant un suivi en temps réel des données collectées et l'automatisation de l'irrigation.

### 6.1 Infrastructure Wi-Fi en mesh

Pour étendre la couverture sur de vastes surfaces rurales et garantir une communication fiable, nous avons opté pour une architecture Wi-Fi **en mesh** :

- **Nœuds maillés** : Chaque point d'accès (AP) est configuré comme un nœud du réseau mesh. Les nœuds s'auto-organisent et relaient les paquets de manière dynamique, assurant ainsi la continuité du signal même si un lien tombe en panne.
- **Extension flexible** : Il suffit d'ajouter de nouveaux nœuds Wi-Fi pour étendre la portée, ce qui est particulièrement utile en milieu rural où les parcelles peuvent être éloignées les unes des autres.
- **Tolérance aux pannes** : Si l'un des nœuds mesh cesse de fonctionner, le réseau se reconfigure automatiquement pour maintenir la communication via les autres nœuds disponibles.



## 6.2 Communication via relais

Dans ce projet, le drone et le système d'irrigation ne sont pas toujours à portée directe l'un de l'autre. Grâce à l'architecture mesh, les données peuvent transiter par plusieurs nœuds (ou relais) :

- **Le drone** envoie ses informations (indices multispectraux, relevés de vol, etc.) vers l'AP le plus proche.
- **Le réseau mesh** relaie automatiquement les paquets jusqu'au Raspberry Pi du système d'irrigation.
- **Le Raspberry Pi du système d'irrigation** reçoit alors les instructions de réglage (quantité d'eau, ouverture des électrovannes, etc.) et peut transmettre des retours d'état au drone ou à l'application utilisateur.

## 6.3 Choix du Wi-Fi

En milieu rural, la couverture 4G/5G est souvent faible ou inexistante, et les technologies comme Zigbee ou LoRaWAN, bien que peu consommatrices, n'offrent pas la bande passante nécessaire à la transmission de données lourdes (images multispectrales, vidéos). Le Wi-Fi mesh, quant à lui, présente plusieurs atouts dans notre contexte :

- **Déploiement autonome** : Pas besoin d'infrastructures cellulaires tierces; l'exploitant peut installer ses propres nœuds Wi-Fi pour couvrir la zone souhaitée.
- **Capacité et débit élevés** : Les standards 802.11n/ac/ax permettent d'acheminer des volumes de données importants, indispensables à l'analyse des images prises par le drone.
- **Couverture étendue** : En ajoutant des nœuds de mesh, on peut couvrir plusieurs hectares sans perte significative de signal.
- **Coût global maîtrisé** : L'investissement dans quelques routeurs/points d'accès mesh peut s'avérer moins onéreux qu'un abonnement data 4G/5G de longue durée, surtout sur de larges surfaces agricoles.

En somme, le Wi-Fi en mesh s'impose comme une solution flexible, robuste et économique pour la connectivité nécessaire au fonctionnement coordonné du drone et du système d'irrigation.

## 7 Système d'irrigation intelligent

Le système d'irrigation intelligent constitue l'un des éléments centraux de ce projet, en permettant une gestion précise et automatisée de l'eau pour chaque parcelle agricole. Il dispose **d'un Raspberry Pi dédié** qui communique avec le drone via le réseau Wi-Fi mesh, et pilote directement les électrovannes chargées de distribuer l'eau.

## 7.1 Architecture et communication

- **Raspberry Pi d'irrigation** : Installé à proximité de la zone à arroser, il est relié aux différentes électrovannes (souvent via des relais ou des modules de commande) et se connecte au réseau Wi-Fi mesh.
- **Électrovannes** : Chaque parcelle ou sous-parcelle est équipée d'une électrovanne contrôlant l'apport en eau. Le Raspberry Pi envoie des signaux d'ouverture/fermeture, mais aussi la durée d'ouverture pour quantifier précisément la quantité d'eau distribuée.
- **Communication bidirectionnelle** : Les relevés du drone (besoin en eau estimé) sont transmis au Raspberry Pi, qui renvoie ensuite l'état du système (vannes ouvertes, temps restant, consommation, etc.) à l'interface utilisateur.

## 7.2 Principe de fonctionnement

1. **Analyse des besoins** : Le drone collecte des images multispectrales et des relevés de sol (ou communique avec des capteurs fixes), puis calcule la quantité d'eau requise pour chaque parcelle.
2. **Transmission au Raspberry Pi d'irrigation** : Les données transitent par le réseau Wi-Fi mesh et sont reçues par le Raspberry Pi, qui va alors piloter les électrovannes correspondantes.
3. **Conversion en durée d'ouverture** : La quantité d'eau nécessaire est convertie en **temps d'ouverture** pour chaque vanne, en tenant compte du débit d'eau disponible et de la pression.
4. **Commande des électrovannes** : Le Raspberry Pi envoie un signal électrique (via un relais) pour ouvrir l'électrovanne. Une fois la durée écoulée, la vanne se referme automatiquement.

## 7.3 Avantages de ce système

- **Automatisation fine** : Chaque parcelle reçoit la quantité d'eau adéquate, réduisant le gaspillage et optimisant la croissance des cultures.
- **Adaptabilité** : Si les besoins en eau évoluent (météo, type de culture, etc.), les durées d'ouverture peuvent être ajustées en temps réel.
- **Supervision à distance** : Grâce au Wi-Fi mesh, l'exploitant peut surveiller et modifier les paramètres d'irrigation depuis n'importe quel point couvert par le réseau.
- **Évolutivité** : On peut ajouter de nouvelles électrovannes ou étendre la zone irriguée en raccordant simplement d'autres modules et en étendant le réseau mesh.

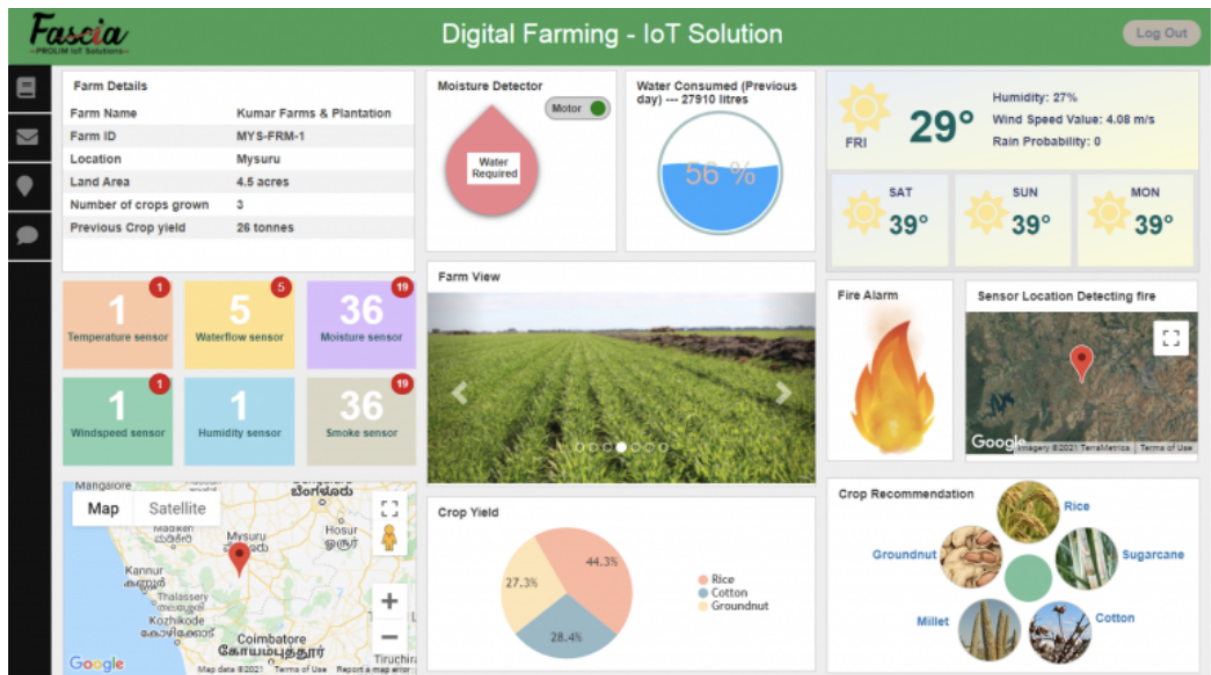
## 7.4 Exemple de cycle d'arrosage

- **Étape 1** : Le drone détecte une zone en stress hydrique et estime qu'il faut 100 L d'eau pour la parcelle 4.
- **Étape 2** : Le système calcule qu'avec un débit moyen de 10 L/min, il faut ouvrir l'électrovanne pendant 10 minutes.
- **Étape 3** : Le Raspberry Pi d'irrigation envoie l'ordre d'ouverture à la vanne #4 via son relais. La vanne reste ouverte le temps prévu, puis se referme automatiquement.
- **Étape 4** : Le système enregistre la consommation d'eau et peut la transmettre à l'interface utilisateur pour le suivi global.

Ainsi, l'usage d'électrovannes pilotées par un Raspberry Pi local, combiné aux informations de vol du drone, assure une irrigation parfaitement ciblée, limitant la consommation d'eau et optimisant le rendement agricole.<sup>32</sup>

## 8 Logiciel d'interface utilisateur

Pour offrir à l'agriculteur un suivi précis de l'état de sa surface agricole, la possibilité de paramétrer les vols et d'optimiser l'irrigation, une interface intuitive sera développée sur une tablette. Notre interface utilisateur sera développée en Python, ce qui facilitera grandement la communication avec le micro-ordinateur Raspberry Pi



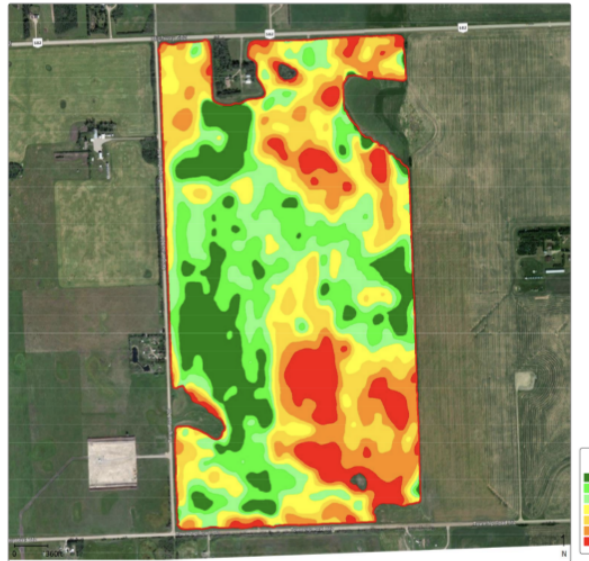


Figure 1: Cartographie du champ avec niveau de stress hydrique

L'interface, présentée sous le format d'un *tableau de bord*, aura les fonctionnalités suivantes :

- **Paramétrage du vol:** L'utilisateur peut définir les intervalles de vol du drone et ajuster les paramètres en fonction des conditions locales. Il peut également contrôler le drone manuellement.
- **Irrigation manuelle :** Possibilité pour l'agriculteur d'ajuster manuellement l'irrigation si nécessaire, même si le système est automatisé.
- **Cartographie champ :** Le tableau de bord affiche l'état du champ en indiquant les différents niveaux de besoin en eau à l'aide d'un code couleur. Les zones bien irriguées apparaissent en vert, tandis que les zones modérément sèches sont en jaune et celles en stress hydrique critique en rouge, permettant une intervention rapide et ciblée.
- **Eau Consommée :** Indique la quantité d'eau (en litres) consommée le jour.
- **Météo :** Cette section montre les conditions météorologiques actuelles de l'emplacement de la surface agricole, incluant l'humidité (%), la vitesse du vent et la probabilité de pluie pour la journée. Elle affiche également les prévisions météorologiques pour les trois jours suivants.

## 9 Évaluation des coûts

## Estimation des coûts

Composant	Quantité	Prix unitaire (€)	Total (€)
Châssis	1	50 - 100	75
Moteurs brushless	4	15 - 25	80
ESC (Contrôleurs de vitesse)	4	12 - 18	60
Hélices	2 paires	5 - 15	10
Batterie LiPo 4S 10000mAh (14.8V)	1	50 - 150	100
Raspberry Pi 4 (4GB)	2	60 - 80	140
Navio2 (Carte de vol)	1	200 - 250	225
Caméra multispectrale	1	1000 - 5000	3000
Station de recharge automatique	1	100 - 500	1200
Électrovannes (contrôle d'irrigation)	8	20 - 50	280
Relais 12V/24V	8	5 - 15	80
Câbles électriques (alimentation et signal)	5m	10 - 30 par mètre	75
<b>Total estimé</b>			<b>5325 €</b>

Table 3: Estimation des coûts

## 10 Évolutivité et valeur ajoutée du système

### Apprentissage automatique à partir des données collectées :

Le système peut évoluer pour intégrer des algorithmes d'apprentissage automatique (Machine Learning) afin d'améliorer les décisions d'irrigation et la gestion des cultures. Au fur et à mesure que le drone collecte des données sur la santé des plantes, la température, l'humidité, et les indices de végétation, ces informations peuvent être utilisées pour entraîner un modèle capable de prédire les besoins en eau des différentes sections du champ. Cela permettrait de :

- **Optimiser l'irrigation** en anticipant les périodes de stress hydrique et en ajustant automatiquement les apports en eau avant que les cultures ne montrent des signes de déshydratation.
- **Détecter les maladies des plantes** : En analysant les images multispectrales, le modèle pourrait apprendre à identifier les signes précoces de maladies ou de parasites, permettant une intervention rapide.

- **Personnaliser les stratégies de fertilisation** : En couplant les données de santé des plantes avec les prévisions météorologiques et les analyses de sol, le système pourrait recommander des apports optimaux de fertilisants pour chaque zone.

## 11 Évaluation des risques de sécurité du système

En intégrant ces technologies de pointe, il est crucial d'anticiper les menaces potentielles et de mettre en œuvre des mesures de sécurité appropriées.

### 1. Drone autonome

- **Faibles potentielles** :
  - Accès non autorisé au système de navigation.
  - Piratage des données collectées ou des vidéos.
- **Mesures de protection** :
  - Utiliser des protocoles de cryptage robustes pour la transmission des données.
  - Mettre en place des systèmes d'authentification multi-facteurs pour l'accès à la télécommande.
  - Installer des mises à jour régulières du firmware pour corriger les vulnérabilités.

### 2. Système d'irrigation connecté

- **Faibles potentielles** : Prise de contrôle du système d'irrigation pour provoquer des inondations ou des pénuries d'eau.
- **Mesures de protection** :
  - Mettre en œuvre des contrôles d'accès rigoureux et un système de journalisation pour suivre les modifications.
  - Intégrer des systèmes d'alerte en cas d'anomalies dans le fonctionnement du système.

### 3. Interface utilisateur

- **Faibles potentielles** :
  - Utilisation de mots de passe faibles ou absence d'authentification.
  - Phishing ou ingénierie sociale visant les utilisateurs.
- **Mesures de protection** :
  - Concevoir une interface avec des exigences de mot de passe robustes et un système d'authentification.
  - Former les utilisateurs sur les meilleures pratiques de sécurité, y compris la détection des tentatives de phishing.

## 12 Conclusion

À l'issue de ce projet, l'exploitant agricole bénéficiera de la réduction des coûts de gestion de l'eau, de l'amélioration des rendements agricoles grâce à la surveillance précise et en temps réel des cultures, et de l'automatisation complète du processus d'irrigation.

L'agriculture intelligente implique la mise en œuvre de technologies de pointe. Pour l'agriculteur moyen, la mise en place d'une architecture IoT et du réseau de capteurs nécessaires dans ses champs peut vite se révéler un frein s'il n'est pas convenablement accompagné. Ainsi, des formations à ces nouvelles technologies devraient être prévues.

Alors que le nombre d'appareils IoT utilisés activement dans l'agriculture augmente, le nombre de points d'entrée pour les programmes tiers malveillants augmente également. Il y a par conséquent un besoin urgent de politiques de sécurité pour l'IoT agricole.

En intégrant ces aspects, ce projet ne se limite pas seulement à la modernisation des pratiques agricoles, mais s'inscrit également dans une vision à long terme de résilience et de durabilité pour le secteur agricole.