

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE
Département : ELECTRONIQUE
Domaine : SCIENCES TECHNIQUES
Filière : Télécommunications
Spécialité : Système de télécommunications

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de
Master
Thème

Réseau de capteurs sans fils à faible coût pour la détection
des mauvaises herbes dans les champs céréaliers

Présenté par :

- Semichi Achouak
- Marniche Hadjer

Encadrant : DOGHMANE Noureddine

Grade : Prof

Université : UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA

Jury de Soutenance :

FEZARI Mohammed	Prof	Université	Président
DOGHMANE Noureddine	Prof	Université	Encadrant
YAHY Amira	M.C.B	Université	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

- ✓ Nos premiers remerciements vont à notre professeur **DOGHMANE Noureddine**, d'avoir accepté de diriger et d'orienter ce travail de recherche, nous le remercions aussi pour son accueil, il est agréable d'exprimer notre pleine gratitude pour votre simplicité et votre générosité preuve de votre qualité humaine et scientifique.
- ✓ Nous tenons à exprimer nos remerciements au professeur **FEZARI Mohammed** d'avoir accepté d'évaluer ce travail et de présider ce jury.
- ✓ Nous tenons à remercier le **Dr YAHY Amira**, d'avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner notre travail.
- ✓ Nos remerciements s'adressent à tous les enseignants du Département d'électronique pour leurs aides et encouragements au cours de nos études.

Nos remerciements vont à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste mémoire :

A ma Chère Mère NASSIMA, et sœurs, CHAHRA, MANAR, LINA, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mon cher frère FARES qui j'aurais aimé qu'il soit présent avec nous aujourd'hui

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

SEMICHI Achouak

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire :

A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection

A mon frère et ma sœur,

À tous les membres de la famille et à tous ceux qui m'ont soutenu et qui ont été une source d'espoir et de motivation A.

Marniche Hadjer

Listes des figures
Liste des abréviations
Liste des Tableaux
Résumé / Abstract / ملخص

Sommaire

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

Chapitre 1 : LA CULTURE CERELIERE EN ALGERIE

1 Introduction.....	3
2 Les produits céréaliers.....	3
2.1 Production en Algérie.....	3
2.2 Le blé	4
2.3 Culture du blé.....	4
3 Cycle du blé.....	5
4 Type de blé	6
5 Les problèmes de la production de Blé en Algérie.....	7
5.1 Les principaux obstacles.....	7
5.2 Les statistiques et les rendements des dernières années en Algérie	7
6 Conclusion	8

Chapitre 2 : LES PRINCIPALES HERBES PARASITES EN ALGERIE

1 Introduction.....	9
2 Les principales herbes parasites en Algérie	9
2.1 Définition	9
2.2 Présentation des herbes parasites les plus rencontrées en Algérie	9
2.2.1 Les monocotylédones.....	10
2.2.2 Les Dicotylédones.....	12
3 La lutte contre les mauvaises herbes	13
3.1 Les produits chimiques dans l'agriculture	14
3.2 Les pesticides	15
3.3 Effets des pesticides sur la santé.....	15
4 Conclusion	16

Chapitre 3 : LA SOLUTION MATERIELLE PROPOSEE

1 Introduction.....	17
2 Descriptif du système à réaliser.....	17
3 L'agriculture de précision ou l'agriculture intelligente.....	18
4 Les WSN/RCSF (réseau de capteurs sans fil / wireless sensor network)... ..	19

4.1 Définition d'un capteur intelligent.....	20
4.2 Architecture d'un capteur intelligent	20
5 Matériels proposés pour la réalisation pratique	22
5.1 Module Arduino Due.....	22
5.2 Module camera OV7670.....	24
5.3 Module de communication Bluetooth HC-05.....	25
6 Réalisation Final	26
7 Conclusion	27

Chapitre 4 : LA SOLUTION LOGICIELLE
--

1. Introduction.....	28
2. Caractéristiques de la caméra OV7670.....	28
3. Pilotage de la caméra OV 7670 par un microcontrôleur... ..	30
4. Formats vidéo utilisés par l'OV7670	31
5. Réalisation Software	32
5.1 Rappel sur la partie matérielle	32
5.2 Programmation de la caméra OV7670 à l'aide d'un Arduino	33
5.3 Organigrammes	35
6. Résultats et discussion.....	40
7. Identification de la verdure d'une plante	51
7.1 Modèle de couleur HSV	52
7.2 L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI).....	53
7.3 Principe de la technique de détection adoptée.....	53
7.4 Résultats et discussion.....	55
8. Conclusion	57

Conclusion générale.....	58
---------------------------------	-----------

Références	60
-------------------------	-----------

List des abbreviations:

ADCs	Analog Digital Converter.
BLE	Bluetooth Low Energy.
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconducto.
CIF	Common Intermediate Format
DAC	Digital-to-Analog Converter
DSP	Digital signal processor
FAO	Food and Agriculture Organisation.
FIFO	First In First Out
FPS	Fréquence Par Seconde
JTAG	Joint Test, Action group
HREF	Hypertext Reference
HSV	Hue, Saturation and Value
IDE	Integrated Development Environment.
I2C	Inter Integrated Circuit.
GND	Ground.
GRB	Green-Red-Blue
LPWAN	Low Power Wide Area Network.
LSB	Least-Significant Bit
MLI	Modulation en Largeur d'Impulsion
MSB	Most Significant Bit
MCU	Management Control Unit
NDVI	Normalized Difference Vegetative Index
OMS	l'Organisation Mondiale de la Santé.
PC	Personnal Computer
PCLK	pixel clock
PWM	Pulse Width Modulation
PWDN	Print Working Directory Node
QVGA	Quarter Video Graphics Array
RAM	Random Access Memory
RAW	Research and Analysis Wing
RCSF	Réseaux Capteur Sans Fils.

RDX	Receiver Data.
RF	Radio-fréquence
RGB	red-green-blue
ROM	Read Only Mermory
RVB	Rouge, Vert , Bleu
RX	Receiver
SARM	Siebel Application Response Management
SCCB	Serial Camera Control Bus.
SPI	Serial Periplxeral Interface.
TOR	Tout Ou Rien.
TTL	Transistor Transistor Logic
TX	Transmission
TXD	Transmitted Data.
TWI	Texting While Intoxicated.
UART	Universal Asynchronous Reception and Transmission
UHF	Ultra Haute Fréquence.
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultraviolet radiation
VCC	Common Collector Voltage
VGA	Video Graphics Array
VSYNC	Version Synchronisation
WCK	World Construction Kit
WRST	Write reset
WSN	Wireless Sensor Network.
XCLK	External Clock
YCbCr	Green (Y), Blue (Cb), Red (Cr)
YUV	Luminance (Y), blue–luminance (U), red–luminance (V) Read

Listes des figures :

Figure 1	Le cycle de développement du blé
Figure 2	Description morphologique du blé
Figure 3	Le blé dur
Figure 4	Le blé tendre
Figure 5	Identification de la folle avoine
Figure 6	Stade de vie de brome
Figure 7	Stade de vie du moutarde
Figure 8	Schéma descriptif de la réalisation matérielle
Figure 9	Diagramme indicatif (portée - débit) de quelques technologies sans fil
Figure 10	Architecture matérielle d'un capteur sans fil
Figure 11	Architecture d'un réseau de capteurs sans fil
Figure 12	Arduino Due
Figure 13	Camera OV7670
Figure 14	Module HC-05
Figure 15	Réalisation matérielle finale
Figure 16	Caméra OV7670
Figure 17	Schéma interne de la caméra OV7670
Figure 18	Schéma synoptique du nœud capteur sans fil avec caméra
Figure 19	Les bus et connexions entre Arduino et Camera OV7670 (Nœud capteur)
Figure 20	Organigramme de l'initialisation d la caméra OV7670 (Arduino)
Figure 21	Organigramme de la communication I2C (Arduino)
Figure 22	Organigramme de capture d'images (Arduino)
Figure 23	Algorithme de réception et génération des images au niveau du PC
Figure 24	Moutarde des champs (photographie 1)
Figure 25	Folle-Avoine (photographie 1)
Figure 26	Folle-Avoine (photographie 2)
Figure 27	Folle-Avoine (photographie 3)
Figure 28	Moutarde des champs (photographie 2)
Figure 29	Moutarde des champs (photographie 3)
Figure 30	Moutarde des champs (photographie 4)
Figure 31	Moutarde des champs (photographie 5)
Figure 32	Moutarde des champs (photographie 6)
Figure 33	Folle-Avoine (photographie 4)
Figure 34	Schéma de principe du montage pour la mesure de la consommation énergétique
Figure 35	Photographie du montage pour la mesure de la consommation énergétique
Figure 36	Forme d'onde du courant consommé en Mode 1
Figure 37	Courants max et min consommé en Mode 1
Figure 38	Forme d'onde du courant consommé en Mode 2

Figure 39	Courants max et min consommé en Mode 2
Figure 40	Forme d'onde du courant consommé en Mode 3
Figure 41	Courants max et min consommé en Mode 3
Figure 42	Forme d'onde du courant consommé en Mode 4
Figure 43	Courants max et min consommé en Mode 4
Figure 44	(a) modèle de couleur de cube RVB et (b) modèle de couleur à cône hexagonal HSV. 'Source d'Elsevier '
Figure 45	Organigramme de la technique de détection de la plante par HSV
Figure 46	Image originale la Moutarde des champs
Figure 47	Histogrammes des trois bandes H, S et V
Figure 48	Images et histogrammes des trois bandes H, S et V
Figure 49	Image résultat avec Un seuil pour la saturation de 0.36
Figure 50	Image résultat avec Un seuil pour la saturation de 0.10
Figure 51	Image résultat avec Un seuil pour la saturation de 0.80

Liste des Tableaux :

Tableau 1	Pin mapping OV7670.
Tableau 2	Les broches de la caméra OV7670.
Tableau 3	Description des broches de la caméra OV7670.
Tableau 4	Format YCbCr422 de la caméra OV7670.

RÉSUMÉ :

L'agriculture intelligente a connu une véritable avancée au cours des dernières décennies surtout avec le développement des nouvelles technologies des capteurs intelligents sans fils. Le principe de base de cette technologie dans le domaine de l'agriculture c'est la télésurveillance des parcelles agricoles d'une manière intelligente, précise et en respectant la nature.

L'Avantage principal de la surveillance intelligente des cultures est l'optimisation de l'utilisation des produits chimiques dans la lutte contre les mauvaises herbes et les parasites des cultures et toujours garder un produit d'une bonne qualité. Un autre avantage et non le moindre est l'augmentation du rendement. Un rendement élevé et une meilleure qualité sont les principaux objectifs l'agriculture intelligente.

ABSTRACT :

In recent decades, smart agriculture witnessed real progress due to the important development in modern wireless smart sensing technologies. The main principle of this technology is the remote monitoring of agricultural land in a smart, accurate, and environmentally friendly method. However, the main advantage of crop monitoring is improving the use of chemicals to control weeds and pests and to maintain a product of good quality. Nevertheless, it also helps at increasing the productivity and yields of agricultural land. Lastly, the main goals of smart agriculture are: high productivity; and a good quality product.

ملخص :

حققت الزراعة الذكية في العقود الأخيرة تقدما حقيقيا، بفضل التطور الكبير في تقنيات الاستشعار الذكية اللاسلكية

الحدية. المبدأ الأساسي لهذه التكنولوجيا هو المراقبة عن بعد للأراضي الزراعية بطريقة ذكية ، دقيقة و

صديقة للبيئة

المميزة الأساسية للمراعية الذكية للمحاصيل هي تحسين استخدام المواد الكيميائية في مكافحة الأعشاب الضارة و آفات المحاصيل و الحفاظ على مهنوح ذو جودة عالية و جيدة، ميزة أخرى وهي الزيادة في الإنتاجية و المردودية للأراضي

الزراعية. الإنتاج مرتفع و الجودة العالية هما هدفان أساسيان
للزراعة الذكية

Introduction générale

Avec l'augmentation de la densité de population ces dernières années, il y a eu un déséquilibre entre la croissance de la population et la production alimentaire. Ce déséquilibre est considéré comme une menace pour la sécurité alimentaire. Ce cadre, c'est l'être humain pour trouver des solutions nouvelles et sophistiquées. Parmi ces nouvelles solutions figurent les engrais chimiques et organiques, les semences traitées et les machines agricoles modernes. Grâce à ces machines modernes, nous avons réduit la main-d'œuvre en même temps que nous avons augmenté la quantité de production, car ces matériaux et machines ont entraîné la promotion de l'agriculture et l'amélioration de la quantité de production.

Une étude a montré que la population de la Terre pourrait atteindre 9,6 milliards d'ici 2050. Mais l'augmentation de la production dépend de certaines conditions, y compris le climat qui change au fil des ans. Si nous prenons le développement industriel qui joue un grand rôle dans la pollution qui est une cause du changement climatique, les prochaines années verront une hausse significative de la température et moins de précipitations qui conduit à un manque de niveau d'eau (sécheresse).

Et la propagation de nouvelles maladies et de nouveaux ravageurs qui enracinent les cultures agricoles, et c'est pourquoi l'agriculture doit être promue et développée et l'introduction de la technologie et de l'intelligence artificielle. Il s'agit de la promotion d'un lien entre l'agriculture et les technologies modernes (informatique et communications) qui feront fluctuer les soldes de production agricole. La promotion de l'agriculture permettra d'accroître considérablement la production et de remédier à la pénurie mondiale de ressources alimentaires. Avec l'introduction de la technologie dans l'agriculture pour devenir appelé l'agriculture intelligente ou l'agriculture de précision, l'agriculture intelligente est le moyen le plus important de réaliser tous les schémas d'augmentation de la production et l'un des avantages de l'agriculture intelligente est qu'il effectue un contrôle permanent des coûts. Sa fonctionnalité est basée sur l'utilisation de divers types de technologie, y compris le système de machine, la saisie des données, la transmission, le traitement et la prise de décision, le système de positionnement, les drones, la communication sans fil, etc., et le but de l'utilisation de l'agriculture intelligente Précision est la surveillance, la collecte et la saisie de différentes données provenant d'endroits qui peuvent être proches ou éloignés dans le même champ agricole, au moyen d'un système RCSF qui repose sur la communication sans fil. (Surveillance de la température, photo capture, mesure de l'humidité, vitesse du vent, contrôle de l'irrigation, etc. Ceci est en temps réel.

WSN est également de surveiller chaque zone, d'identifier le traitement approprié pour elle, et de donner à chaque morceau du champ ce dont il a besoin, que ce soit engrais, eau La collecte et l'envoi de cette information en temps réel jouent un rôle important. Ce rôle est de permettre aux agriculteurs d'intervenir rapidement en cas d'urgence et de protéger les cultures agricoles. Il s'agit d'un facteur important pour la réalisation des plans d'augmentation de la production. C'est une bonne solution pour réduire l'utilisation aveugle d'engrais qui cause des maladies graves à l'homme. Compte tenu de l'énorme quantité d'informations recueillies quotidiennement, il est très difficile de l'étudier du côté humain.

Dans le travail, nous avons étudié la culture du blé, qui est l'une des céréales les plus consommées en Algérie. Nous avons pris un champ de WSN, qui est de surveiller la récolte de blé et de le protéger contre les mauvaises herbes en prenant des images à l'aide d'un capteur sans fil. L'objectif principal est de maintenir l'énergie du capteur aussi longtemps que possible et à faible coût.

Et dans ce projet, nous avons utilisé une caméra de type OV 7670 et la connexion sans fil, nous avons pris le HC-50 et la caméra est connectée à l'Arduino Due après avoir pris la photo, elle est envoyée à un ordinateur.

Pour présenter ce travail, nous envisageons de l'organiser en quatre chapitres selon le schéma méthodologique suivant :

- Dans le premier chapitre, nous avons traité de la culture des céréales en Algérie, en particulier du blé, de son mode de culture, son cycle de vie, des problèmes qu'il rencontre et réduit son rendement.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons les principales herbes parasites en Algérie, leurs types, les méthodes de lutte et les engrais et leurs effets sur la santé.
- Le troisième chapitre nous parle du système utilisé en (précision)agriculture intelligente, Les WSN/RCSF et le matériel proposé.
- Les étapes suivies pour la réalisation du projet sont expliquées à travers le quatrième chapitre. Les partie matérielle et logicielle.

Chapitre 1 : LA CULTURE CERELIERE EN ALGERIE

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons l'importance des céréales et de leur consommation en Algérie, en particulier le blé, qui représente la consommation la plus élevée au Maghreb en général et en Algérie en particulier. Ainsi, nous allons rappeler :

- La culture du blé et de ce dont il a besoin pour croître correctement, son cycle de vie et sa qualité.
- Les problèmes rencontrés en Algérie dans la production de céréales et les obstacles à l'augmentation des rendements du blé, et sa proportion ces dernières années.

Une solution possible, qui intéresse de plus en plus de spécialistes et de responsables ces dernières décennies à savoir l'agriculture intelligente ou de précision. Nous allons donc énumérer ses avantages et nous allons montrer son importance dans l'amélioration du rendement de ces produits céréaliers dans notre pays et à travers le monde.

2. Les produits céréaliers

2.1 Production en Algérie :

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. La filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole en Algérie.

‘‘En Algérie, « la production céréalière totale en 2021 est estimée à 3,5 millions de tonnes, ce qui est inférieur à la moyenne quinquennale et environ 38 % de moins que l'année précédente », rapporte la FAO ou ‘‘Food and Agriculture *Organisation*’’ (*Organisation pour l'alimentation et l'agriculture*)’’. [1]

‘‘L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) prévoit un recul de 38% de la récolte céréalière en Algérie en 2021 par rapport à l'année précédente. En parallèle, l'organisation onusienne prévoit aussi une augmentation des importations algériennes de céréales, essentiellement de blé, qui devraient connaître une hausse de 25% par rapport à l'année passée et de 7% au-dessus de la moyenne durant la saison de commercialisation 2021/2022’’. [2]

2.2 Le blé :

La culture du blé est un important cultivar stratégique dans le monde arabe en raison de la grande consommation de boulangeries et de pâte. En conséquence, tous les États arabes, comme l'Algérie, la Tunisie et le Maroc, ont accordé une attention particulière à la culture et à la production de blé de toutes sortes, en tenant compte de tout ce qui augmente la production et la productivité de la culture du blé. L'une des techniques agricoles les plus importantes sur lesquelles s'appuyer est le compostage agricole, qui joue un rôle actif en assurant à la fois les besoins en céréales minérales et qui se sont révélés efficaces dans la production de céréales.

Développer des cultures de blé d'acier et obtenir un rendement économiquement gratifiant. Il est souhaitable de la cultiver sur des terres lourdes et profondes avec un sol fertile capable de stocker des quantités importantes d'eau, en particulier dans les régions septentrionales humides et subhumides des États du Nord et dans certaines régions au climat particulier. Nous tenons à mentionner la plaine de Marnav de l'État de Blida et aussi les zones semi-sèches et les collines supérieures.

2.3 Culture du blé :

Le blé est une plante herbacée dont le développement est influencé par les facteurs de l'environnement (dioxyde de carbone, eau, éclairage, température, élément minéraux du sol, nature du sol...).

- **L'eau** : Les besoins en eau du blé varient en fonction des précipitations, de la température et de la croissance, et généralement, les besoins en eau sont élevés au stade de la préparation à la floraison et se poursuivent jusqu'au stade de la formation des grains. Un hectare planté de blé nécessite 4500-4200 mètres cubes pendant la saison de croissance, en fonction de chaque stade de croissance et des besoins en eau.
- **La température** : affecte la vitesse des réactions chimiques. A basse température, La vie végétale ralentit et il n'y a pas de synthèse de matière organique. Lorsque la température augmente, la réaction chimique de photosynthèse est excitée, Celle-ci atteint une valeur optimale, au-delà de laquelle le catalyseur La réaction chimique dénature progressivement et l'intensité photosynthétique diminue.
- **L'éclairage** : Participe aux réactions photochimiques de la photosynthèse. Ces réactions permettent d'obtenir l'énergie nécessaire à la synthèse de la matière organique végétale. C'est pourquoi un manque de lumière peut grandement ralentir l'intensité de la photosynthèse.

- **Le Sol** : De nombreux éléments minéraux entrent dans la composition moléculaire Organisme nécessaire à la vie, à la croissance et au développement des plantes. Ces éléments Les minéraux sont absorbés par les plantes dans le sol sous forme d'ions, et Le blé craint les sols tourbeux contenant de fortes teneurs en sodium, magnésium et fer. Le pH optimal pour le développement se situe entre 6 et 8.

3. Cycle du blé

Généralement, en mi- automne, les semences de blé sont mises en terre et les premières tiges sortent pendant l'hiver. Ces tiges s'allongent à partir du début du printemps, puis les épis sortent de leurs gaines. Après la floraison et la fécondation, les grains grossissent. Les blés arrivent alors à maturité à partir de la fin du mois de Mai jusqu'à la fin Juillet selon les régions. A ces moments commencent alors les moissons,

- Stade de germination de 1 à 20 jours après la plantation.
- Stade de ramification la phase de ramification dure de 21 à 45 jours, et pendant d'arrosage a lieu.
- Stade du pic de 45 à 65 jours.
- Stade d'élongation est de 65 jours à 85 jours, et dans cette période le deuxième processus d'irrigation a lieu.
- Stade de l'expulsion et la formation de céréale de 85 jours à 100 jours.
- Stade de formation de maturité et de plénitude du grain jusqu'à 160 jours.

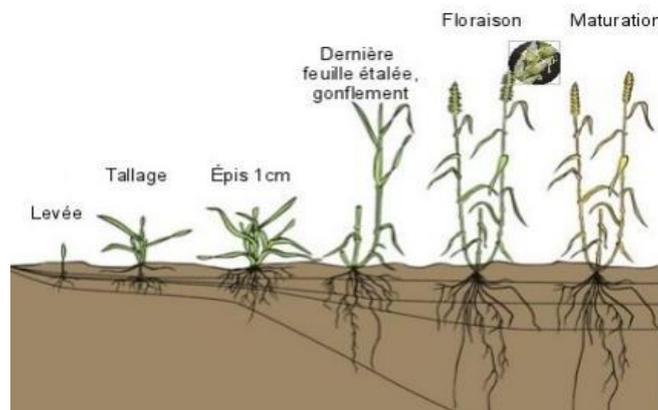


Figure 1 : Le cycle de développement du blé

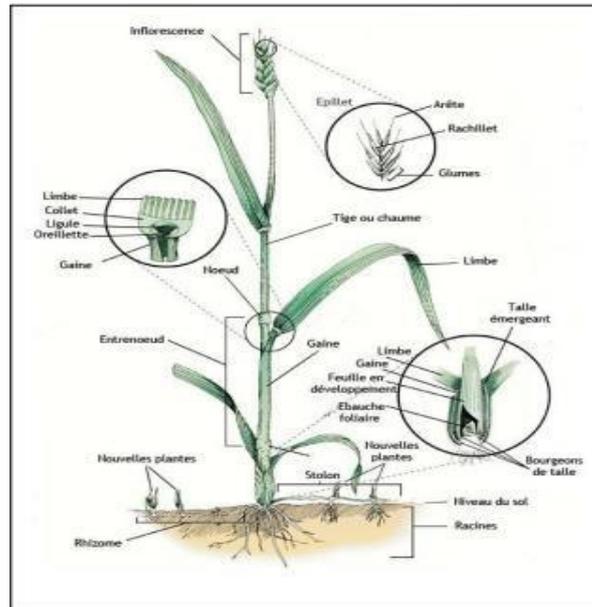


Figure 2 : Description morphologique du blé

4. Type de blé :

Il existe deux types de blé qui sont les plus importants :

- **Le blé dur** : *Triticum turgidum* blé dur cultivé principalement dans les zones chaudes et sèches. Ce blé est riche en gluten et est utilisé dans la production de semoule.



Figure 3 : Le blé dur

- **Le blé tendre** : *Triticum aestivum*, est cultivé principalement en Europe et en Amérique du Nord, et est principalement utilisé pour faire de la farine à pain.



Figure 4 : Le blé tendre

5. Les problèmes de la production de Blé en Algérie :

Les problèmes liés au faible rendement dans la production céréalière en Algérie sont liés principalement à la diminution des terres fertiles, en particulier dans le nord et les hauts plateaux, ainsi qu'au changement climatique qui a entraîné une pénurie d'eau. La production agricole en Algérie en général, et la production de blé en particulier, dépend également de l'augmentation du prix des engrais chimiques, des semences importées.

5.1 Les principaux obstacles :

- 1) **Problème de sol :** Destruction des terres arables. L'urbanisation affecte les terres arables, en particulier dans les villes côtières les plus fertiles d'Algérie. L'augmentation de la pollution de l'environnement peut entraîner des catastrophes si les institutions ne procèdent pas à des évaluations spécialisées de surveillance et de traitement jusqu'à ce que ces terres soient protégées.
- 2) **L'eau :** L'Algérie manque de ressources en eau. La plupart des zones agricoles, en particulier la culture du blé, dépendent de la quantité de précipitations, avec une proportion annuelle dans les zones côtières allant de 800 à 1200 mm, tandis que seulement 150 mm dans l'extrême sud, affectant les sources de surface et d'eaux souterraines et les stocks de barrages.
- 3) **Exigences de production :** La production agricole algérienne manque d'engrais et de semences de qualité, en particulier de machines agricoles modernes, ce qui affecte directement la production.
- 4) **Mauvaises herbes :** Mauvaises herbes qui encombrant les plantes, en particulier les céréales, en absorbant la lumière, l'eau et les nutriments essentiels tels que le phosphore et le potassium..., facteurs contribuant à leur dissémination, manque de contrôle, circulation non agricole, moins de compostage, vent... etc.
- 5) **Engrais :** Bon en termes d'amélioration de la production, mais la surconsommation a un impact négatif sur la qualité et la santé.

1.2 Les statistiques et les rendements des dernières années en Algérie :

La production céréalière a baissé à 40% en Algérie ces dernières années. La principale raison est le déséquilibre climatique et le manque de pluie. En 2018, la production de blé a atteint 3,17 millions de tonnes. En 2019, environ 8,6 millions d'hectares ont été réservés à la culture céréalière. La récolte 2020-2021 a atteint 3,9 millions de tonnes. Cette crise est due à la

sécheresse en Algérie. Le déficit des barrages est de 25 %. Au fil des ans, il va s'aggraver. Cela est dû négativement à l'économie. [3]

6. Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons présenté succinctement la production céréalière en Algérie, les problèmes rencontrés et les challenges à relever. En effet, le blé est l'aliment principal en Algérie et dans bien d'autres pays à travers le monde. Cependant, plusieurs facteurs, notamment la rareté des terres arables et manque d'eau, contribuent dans la réduction du rendement dans sa production. Les statistiques des dernières années prouvent sans aucune équivoque que ces problèmes sont loin d'être maîtrisés ou corrigés.

Chapitre 2 : LES PRINCIPALES HERBES PARASITES EN ALGERIE

1. Introduction

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la réduction du rendement dans la production céréalière en Algérie est liée essentiellement à certains principaux facteurs comme le manque de terres arables ou encore les changements climatiques ...etc. Cependant, un autre facteur important lié à cette diminution dans la production céréalière en Algérie est lié à la prolifération de certaines herbes parasites dans les champs de blé et autres céréales. Pour combattre ce fléau, souvent, les paysans font appel aux solutions chimiques en particulier les pesticides et autres produits utilisés pour éradiquer ces herbes des champs céréaliers. Néanmoins, l'utilisation massive de ces produits chimiques peut avoir un impact sur la santé publique des consommateurs. Ce qui nous pousse à optimiser au maximum l'utilisation de tels produits.

2. Les principales herbes parasites en Algérie

2.1 Définitions :

Il existe plusieurs définitions différentes des mauvaises herbes dans le monde agricole, selon différents chercheurs et agriculteurs. Pour l'ingénieur agricole, une mauvaise herbe est toute plante différente introduite d'une façon spontanée et/ou volontaire dans les parcelles agricoles. Les mauvaises herbes sont des plantes qui concurrencent la culture et peuvent réduire son rendement. Selon Godinho (1984) et Soufi (1988), "une mauvaise herbe est toute plante qui pousse là où sa présence est indésirable". Le terme de « mauvaise herbe » signifie donc nuisance dans les milieux cultivés en particulier, et ainsi toute espèce non volontairement semée est une « adventice » qui devient « mauvaise herbe ». "Dès lors, elle va entraîner un certain préjudice se traduisant souvent par une baisse du rendement de la culture visée" (Barralis, 1984). [4] Selon Caussanel (1989), "les mauvaises herbes dans les systèmes agricoles sont des plantes qui font concurrence aux cultures agricoles en termes de superficie, d'eau, de lumière et d'éléments nutritifs". Ces mauvaises herbes affectent grandement et directement la qualité et le rendement du produit agricole. [5]

2.2 Présentation des herbes parasites les plus rencontrées en Algérie :

La culture du blé en Algérie connaît de nombreux problèmes, dont la propagation et la prolifération des mauvaises herbes dans les grandes cultures. D'après (OUFROUKH et

HAMADI, 1993), on estime à 20 % de réduction de rendements en cultures céréalières dues aux mauvaises herbes. Parmi ces herbes parasites, les monocotylédones, dont les plus importantes en Algérie nous pouvons citer la folle avoine (*Avena sterilis*), le brome (*Bromus rigidum*), le Phalaris (*Phalaris brachystachys* et *Phalaris paradoxa*) et le ray grass (*Lolium multiflorum*) (BELAID, 1990).

La folle avoine s'enracine, taille et forme des tiges mieux que le blé. Elle peut recouvrir les épis de blé jusqu'à l'étouffer, et ceci à tous les stades de développement de la céréale. Cet adventice est limité par la courbe d'altitude 700 m.

Le brome présente un cycle court. Il est limité par la zone d'altitude supérieure à 700 avec une pluviosité inférieure à 400 mm (OUFROUKH et HAMADI, 1993). Parmi les dicotylédones les plus fréquentes en Algérie, la moutarde des champs (*Sinapis arvensis*), le coquelicot (*Papaver rhoeas*), le souci des champs (*Calendula arvensis*) et le medicago (*Medicago hispida*) (BELAID, 1990). Pour ce qui est de la lutte contre ces adventices, parmi les méthodes culturales, OUFROUKH et HAMADI (1993) citent le travail du sol et l'assolement. Parmi les traitements chimiques : Suffix double action et IIIoxan B montrent une grande efficacité contre les adventices graminées et dicotylédones (ANONYME, 2002). [6]

2.2.1 Les monocotylédones :

‘‘La plantule ne comporte qu'une seule feuille (ou pas de feuilles du tout) et (ou) si les feuilles adultes présentent 2 faces identiques et des nervures parallèles et (ou) si la tige garde la même épaisseur tout au long de la vie de la plante et (ou) si les éléments qui composent la fleur (sépales, pétales, étamines) sont par 3 (ou par multiples de 3), vous êtes face à une plante monocotylédone’’. [7]

a. La folle avoine (*Avena sterilis*)

La folle avoine est une mauvaise herbe tenace en agriculture biologique. C'est une plante annuelle de 60 à 150 cm de haut, de forme très proche de l'avoine cultivée (*avena sativa*). Dans les champs de blé ou d'orge, l'identification de la folle avoine au stade plantule est souvent problématique. La différence entre la folle avoine et ces deux cultures est la direction dans laquelle les feuilles s'enroulent, alors que les nouvelles feuilles s'enroulent sur elles-mêmes (Figure 5).

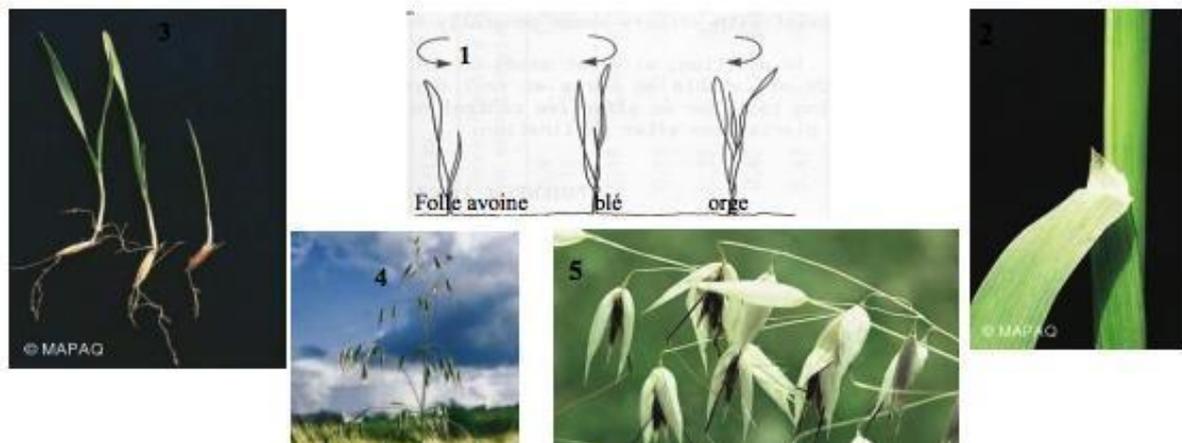


Figure 5 : Identification de la folle avoine

b. Le brome (Bromus rigidum) :

Cette mauvaise herbe frappante, Broms (Brom), constitue une véritable menace pour les céréales et sa croissance a tourmenté les agriculteurs et les gestionnaires du secteur. C'est un genre de plantes monocotylédones qui sont des plantes herbacées, annuelles ou vivaces répandues dans les régions tempérées. Bien qu'il s'agisse d'une herbe à grains de la famille des graminées,

On les trouve principalement dans les hautes terres, c'est-à-dire dans les hautes terres au-dessus de 1000 m. 400 mm ou moins. Ils résistent à une température minimale d'environ 0°C. Ils répondent essentiellement aux facteurs "sol sec". Ils résistent à la sécheresse et au manque d'assimilation du phosphore dans le sol (cas des plateaux). Cependant, ils réagissent bien à l'azote. Le brome est la graminée la plus redoutable, son développement et sa propagation dans les champs des céréales.



Brome en dormance.



Brome au stade adulte



Brome au stade plantule

Figure 6 : Stade de vie du brome

2.2.2 Les Dicotylédones :

Les semis ont deux petites feuilles, (ou) si les feuilles d'une plante adulte ont deux faces différentes et des nervures ramifiées, et/ou si l'épaisseur de la tige augmente avec l'âge, et/ou les fleurs Avec les éléments qui la composent (sépales, pétales , étamines) 4 ou 5 (ou multiples de 4 ou 5), vous êtes face à un dicotylédone. [7]

a. La moutarde des champs (*Sinapis arvensis*) : [8]

Selon JAUZEIN (1987), *Sinapis arvensis* est une plante Brassicaceae connue sous divers noms (moutarde des champs, moutarde sauvage, moutarde commune, moutarde hybride, racine latine, angle, bruche rayée).

C'est une plante poilue et épineuse d'une hauteur de 30 à 80 cm. Les feuilles inférieures ressemblent à la Lyre (les feuilles terminales sont beaucoup plus grandes que les autres feuilles), les feuilles supérieures sont ovales ou ovales, avec des bords dentés enroulés et des pétioles (sessiles). Les racèmes sont dressés et portent de 20 à 40 fleurs jaune soufre. Chaque fleur comporte 4 sépales étalés de 4-6 mm et 4 pétales de 7-12 mm de long. La floraison a lieu de mai à septembre. Les fleurs sont pollinisées par diverses abeilles et mouches.

Sur le plan écologique *Sinapis arvensis* préfère des températures relativement basses (0-15°C), beaucoup de lumière (facteur stimulant sa levée) (JAUZEIN , 1987)., des sols basiques à PH 8 (rare sur les sols acides) (WALTER , 1960 in JAUZEIN ; 1987), argileux (52-55%) , calcaires (CaCo3 > 40%) et humides (FOGG ,1950 et BUCHLI,1936, cité par JAUZEIN ,1987) et riches en azote .



Figure7 :Stade de vie du moutarde

3. La lutte contre les mauvaises herbes [9]

Les mauvaises herbes ou les adventices sont aussi appelées « les plantes qui poussent dans les mauvais endroits ». Bien adaptées à leur environnement, Les adventices sont souvent connus comme les problèmes majeurs dans les systèmes céréaliers conventionnels ou biologiques. En effet, Ils rivalisent avec les céréales non seulement pour la lumière, l'eau et les nutriments, mais aussi pour l'espace, Cette concurrence entraîne des pertes de rendement importantes.. Selon certaines études, les pertes du rendement sont dues aux mauvaises herbes qui varient entre 15% et 68% en fonction des régions, des conditions climatiques et de la nature de la flore adventice. (Hasnaoui, 1994; Rsaissi & Bouhache, 1994). En plus de la dégradation des rendements, elles affectent la qualité des récoltes par l'augmentation des pourcentages et des impuretés dues aux semences toxiques. Ce qui peut augmenter le taux d'humidités dans les silos de stockages favorisant les odeurs et les goûts désagréables. En outre, la flore adventice peut servir d'abri pour limaces et les ravageurs.

Le contrôle des mauvaises herbes est un problème important qui préoccupe souvent les agriculteurs. En général, l'élaboration d'un programme de gestion intégrée qui tient compte des pratiques culturales et de la gestion chimique dessine le meilleur compromis de toutes les stratégies de gestion proposées. En fait, l'utilisation d'une seule méthode de lutte peut augmenter la résistance aux mauvaises herbes. Les principales méthodes de lutte contre les mauvaises herbes à grains sont les suivantes :

1) La rotation :

La rotation évite l'émergence d'une flore très nuisible. La présence de diverses rotations culturales issues de cultures épuratrices et fixatrices d'azote, comme les légumineuses, perturbe le cycle de croissance de la plante et l'empêche de s'adapter à un système de culture particulier. Par exemple, certaines études montrent que la rotation maïs-soja-blé peut réduire de 80 % la propagation du géant *Setaria faberi*. (Douville, 2000). De plus, la rotation permet l'utilisation de différents herbicides et évite l'utilisation de la même matière active chaque année.

2) Les semis directs :

Le semis direct est une technique de lutte contre les mauvaises herbes largement utilisée. Ce système de production consiste à semer des cultures sur un sol non cultivé. Il n'y a pas de préparation du sol avant le semis. Par conséquent, les graines doivent être placées directement sur le chaume de la culture précédente, dans de petits trous de profondeur et de largeur appropriées. Le désherbage doit être effectué environ 1 semaine avant le semis. De plus, il est fortement recommandé d'utiliser un herbicide de contact sans résidus.

3) Cultures de couverture :

Exemples d'utilisation de CIPAN (plantes semées après ou pendant la croissance de la culture principale) : le seigle, le sarrasin et/ou certaines cultures fourragères permettent un désherbage efficace. Ces cultures entravent physiquement la croissance des mauvaises herbes et ralentissent considérablement leur propagation. Certaines études ont montré que les rendements du blé pour les grains avec une couverture hivernale et aucune autre mesure de contrôle sont comparables aux rendements du blé sans l'application de cultures ou d'herbicides (Moyer et al., 2000).

4) La lutte chimique contre les mauvaises herbes :

L'utilisation du désherbage chimique dans notre système de croissance reste répandue dans le contexte des problèmes environnementaux croissants et des préoccupations croissantes en matière de qualité des aliments. Les alternatives à la protection intégrée des végétaux se disputent toujours leur place. Cependant, il est très important de rationaliser l'utilisation des herbicides non seulement en distinguant et en classant les espèces de mauvaises herbes en plantes monocotylédones et dicotylédones, mais aussi en aménageant de manière appropriée les traitements en fonction du cycle de culture. Certaines études recommandent un traitement herbicide précoce dans les systèmes de culture. Ce type d'intervention peut se produire du stade trois feuilles au stade tardif du tallage de la culture.

3.1 Les produits chimiques dans l'agriculture : [10]

L'agriculture utilise de grandes quantités de produits chimiques artificiels comme engrais, pesticides et herbicides, et régulateurs de croissance des plantes. Des insecticides et des herbicides sont appliqués dans l'environnement pour contrôler les insectes, les mauvaises herbes, les maladies des plantes et d'autres facteurs nuisibles qui affectent les cultures et le bétail, et pour contrôler les insectes qui transmettent la maladie aux humains. Par conséquent, ils jouent un rôle de premier plan dans l'agriculture et les soins de santé. En raison de ses avantages en termes d'économie et d'amélioration de la santé et du bien-être humains, cette technologie de contrôle chimique a été rapidement adoptée dans le monde entier. Cependant, l'utilisation de pesticides dans les pays développés est souvent réglementée et surveillée car ils peuvent causer des problèmes s'ils ne sont pas utilisés avec prudence.

Malheureusement, de nombreux pays en développement manquent d'expérience et de connaissances techniques pour résoudre ces problèmes. La quantité de pesticide qui n'atteint pas l'organisme cible cause des problèmes car elle peut affecter les humains et l'environnement. Par conséquent, la réglementation sur les pesticides exige la présentation d'informations sur le

devenir potentiel des pesticides dans l'environnement et la toxicité des pesticides pour diverses espèces non ciblées. Les résidus de pesticides dans les cultures et les aliments sont particulièrement problématiques. Leur existence est importante non seulement d'un point de vue humain, mais aussi d'un point de vue commercial international. Le terme "résidu" fait référence non seulement aux produits de départ, mais également aux composés qui peuvent résulter du métabolisme, de la modification chimique ou d'autres processus. Dans les pays développés, la question des résidus est très largement réglementée et des limites sont fixées pour la quantité maximale autorisée de résidus dans les aliments. Ailleurs, les directives élaborées par la FAO et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) s'appliquent généralement. La quantité de pesticide qui atteint l'organisme cible peut représenter une très petite partie de la quantité appliquée. Les ingrédients actifs du pesticide sont mélangés pour faciliter l'application et s'assurer que la cible reçoit une dose efficace. De très faibles doses efficaces sont généralement suffisantes, mais bon nombre des doses appliquées s'usent avant d'atteindre la cible. La plupart finissent dans le sol ou dans des organismes non ciblés, ce qui représente un risque de perte « économique » et de pollution environnementale.

3.2 Les pesticides

Les pesticides ont été appliqués de manière préventive afin de repousser ou d'atténuer les effets des organismes nuisibles. Bien que la plupart d'entre eux aient été interdits dans de nombreux pays en raison d'effets mutagènes et cancérigènes, les pesticides et leurs métabolites sont toujours présents dans l'environnement, en particulier dans les sols et les sédiments, en raison de leur persistance et leurs propriétés lipophiles. [11] La quantité de pesticides en contact direct avec les microorganismes ciblés est extrêmement faible par rapport à la quantité appliquée. Des effets secondaires indésirables peuvent alors se produire sur certaines espèces, sur les communautés ou sur l'écosystème. [12]

Dans une étude portant sur l'évaluation du degré de pollution de 23 échantillons des eaux superficielles et souterraines, on soulignait que 50 % des eaux analysées contenaient de l'atrazine et indiquait la présence d'autres pesticides (lindane, alachlore, dinoterbe...) à des fréquences moins importantes. [13]

3.3 Effets des pesticides sur la santé : [14]

La contamination de l'homme par les pesticides peut se faire par différentes voies. Il peut les absorber via les aliments et l'eau ou par contact avec la peau ou encore par inhalation. Certains

produits qui présentent une toxicité aiguë importante peuvent être éliminés facilement par l'organisme.

A l'inverse, d'autres substances de toxicité moindre sont susceptibles de s'accumuler dans l'organisme et d'induire des effets à plus long terme qui sont difficilement quantifiables.

Par ailleurs ces produits sont transformés parallèlement en différents métabolites susceptibles d'engendrer d'autres répercussions sur l'organisme humain. [10]

En 2007, Meriel Watts, Scientifique installée en Nouvelle Zélande, a publié un livre sur les pesticides et le cancer du sein.

Les pesticides peuvent avoir une action multiple dans l'étiologie du cancer du sein. Ce sont :

- ✓ Des cancérigènes pour les glandes mammaires (induisent des mutations)
- ✓ Des promoteurs de tumeurs (induisent la prolifération cellulaire)
- ✓ Des sensibilisateurs des glandes mammaires (rendent les glandes plus sensibles aux effets des cancérigènes)
- ✓ Des immuno-modulateurs
- ✓ Des perturbateurs de la communication intercellulaire
- ✓ Des perturbateurs endocriniens.

4. Conclusion

Dans ce second chapitre de notre mémoire de fin d'études, consacré aux herbes parasites les plus rencontrées dans la culture céréalière en Algérie, nous avons essayé de rappeler succinctement les principales herbes parasites que l'on peut rencontrer en Algérie. Nous avons également donné un aperçu sur leur morphologie durant tout leur cycle de vie. Ceci doit nous permettre ensuite de proposer une approche en traitement d'images capable de détecter et de reconnaître automatiquement ces adventices éventuellement présentes dans des champs céréalières.

1. Introduction

Dans ce troisième chapitre, nous nous sommes focalisées sur la partie matérielle de notre réalisation. Nous avons donc effectué un tour d'horizon sur les solutions possibles à faible coût. Notre intérêt s'est porté sur l'utilisation de cartes Arduino compte tenu des avantages qu'elles offrent comme par exemple : l'environnement de programmation basé sur C++, sa flexibilité, sa disponibilité et surtout son coût relativement modique ...etc. Ainsi, une première solution pour réaliser le système préconisé est alors proposée et réalisée. L'idée de base est d'utiliser un Arduino Due muni d'une caméra miniature pour capter des images à une cadence prédéfinie sur la parcelle de terrain agricole qu'elle est censée surveiller. Ceci, afin de pouvoir détecter et reconnaître certaines herbes parasites les plus répandues, présentes éventuellement. Ensuite, l'Arduino Due, effectuera un prétraitement d'images et à l'aide d'une connexion Bluetooth envoie périodiquement ces données, à savoir les résultats du prétraitement d'images et certaines des images selon le choix vers un Smartphone. A l'aide d'une application appropriée le Smartphone reçoit ces données, les affiche, les surveille. Ceci, doit nous permettre dans un travail futur d'envoyer ces données vers un Serveur Web local pour que ces données soient visibles sur le net. Maintenant, dans un contexte plus réaliste, au lieu d'un seul prototype de nœud capteur, nous devons mettre en œuvre de nombreux nœuds capteurs de même type afin de couvrir tout le terrain agricole que nous devons surveiller. Chaque nœud capteur sera muni du même type de caméra et bien évidemment du même module de communication. Le dernier nœud capteur, ou "sink" sera quant à lui connecté à un serveur ou au smartphone du responsable afin de récolter toutes les données émises par l'ensemble des nœuds capteurs du réseau.

2. Descriptif du système à réaliser

Notre projet de fin d'études est basé sur la réalisation pratique d'un système embarqué à faible coût, à l'instar d'un Arduino ou tout autre microcontrôleur répondant aux exigences de cette réalisation surtout de point de vue faible consommation énergétique et taille réduite. Comme moyen de transmission nous préconisons le protocole '*Bluetooth low energy*' ou BLE. Le système embarqué muni d'une caméra miniature capte instantanément et en continu des images d'une même parcelle de terrain agricole, effectue un prétraitement et transmet les résultats (images + le résultat du prétraitement) avec une cadence fixe et choisie d'une manière adéquate vers un Smartphone. Ce dernier, via une application réalisée sous Android, va recevoir ces

valeurs pour les afficher sous forme de données, de courbes et/ d'images. En effet, la télésurveillance des parcelles agricole permet d'améliorer la qualité des produits agricoles et d'augmenter leurs rendements. Le Développement des réseaux de capteurs sans fil (WSN ou RCSF), ces derniers temps, a stimulé une nouvelle vision de la recherche appliquée dans le domaine de la télésurveillance agricole. En effet, il existe plusieurs types d'application des WSN dans ce domaine, comme par exemple dans la détection, la surveillance et le contrôle :

- Des conditions climatiques dans des zones ciblées telles que les serres agricoles,
- Des caractéristiques de sol,
- Dans la topographie,
- De la présence des mauvaises herbes,
- ...ect.

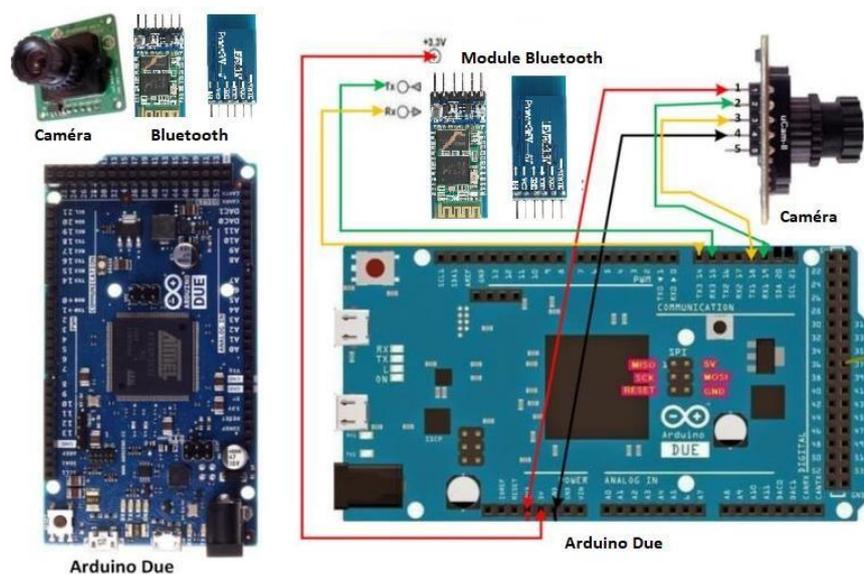


Figure 8 : Schéma descriptif de la réalisation matérielle

3. L'agriculture de précision ou l'agriculture intelligente

L'utilisation de WSN dans le domaine de l'agriculture, traduit donc l'agriculture de précision. Cette idée est venue pour répondre à l'explosion démographique future et nourrir une population mondiale sans cesse croissante de façon durable, rentable et respectueuse de l'environnement. L'agriculture de précision est une idée qui est- aux États-Unis dans les années 1980 pour la première fois, à cette période, l'agriculture américaine se développait rapidement. L'utilisation d'engrais, de produits phytosanitaires et d'eau est en forte augmentation et il est important d'améliorer leur utilisation afin de protéger les personnes et l'environnement.

Il s'agit de l'utilisation d'équipements électroniques et informatiques dédiés afin de recueillir des informations vitales sur les parcelles de terres agricoles cultivées. Ces informations seront alors l'utilisées pour l'amélioration de la qualité et la quantité de rendement des produits agricoles. « L'agriculture de précision est une stratégie de gestion qui utilise les technologies de l'information pour apporter des données sources multiples pour influencer sur les décisions associées à la production Agricole » (National Research Council, 1997).

L'agriculture de précision ou l'agriculture intelligente, est donc une gestion très précise du domaine de l'agriculture permettant :

- Une économie substantielle d'engrais. [15]
- D'obtenir un meilleur rendement et une teneur en protéines du grain plus élevée. [15]
- Une réduction du risque de sur-fertilisation, ce qui permet de réduire considérablement les risques pour l'environnement. [15]
- La possibilité de contrôler les conditions climatiques et les caractéristiques du sol et du terrain et de détecter la présence de mauvaises herbes.
- La possibilité de surveiller la consommation des pesticides dans les parcelles agricoles.

Parmi les nombreux avantages de l'agriculture de précision nous pouvons citer :

- Optimiser les efforts et les ressources.
- Réduire la consommation et le gaspillage.
- Augmenter la productivité des sols.
- Une gestion plus rapide et plus efficace des tâches effectuées ce qui se traduit par des gains plus intéressants et des coût plus réduits.
- Rendre le travail des paysans et des agricultures moins contraignant.
- Augmenter les performances.
- Réduction des déchets d'engrais et d'herbicides.
- Moins d'émissions de CO₂.
- Moins de compactage des sols par une utilisation plus rationnelle des ressources. [16]

4. Les WSN/RCSF (Réseau de capteurs sans fil /wireless sensor network)

Toute connexion entre deux capteurs intelligents sans fil ou plus, forme un réseau de capteurs sans fil. Généralement un réseau. Parmi les objectifs des réseaux de capteurs sans fil dans le domaine de l'agriculture nous pouvons mentionner la détection des changements de température, de mouvement, d'humidité, de pollution, de pH, de vitesse du vent voire même d'images des plantes utiles et/ou parasites... etc. Aujourd'hui les WSN sont utilisés notamment

dans le domaine de l'agriculture pour surveiller les changements immédiats, permettant au système de collecter et de transmettre des paramètres agricoles en temps réel sur de vastes étendues. Les moyens de communication souvent utilisés sont le wifi, le Bluetooth, le Zigbee, le LPWAN... etc. Chaque type de support de communication utilisé par le WSN possède des avantages et des limitations en termes de débits, de portée, de consommation énergétiqueetc.

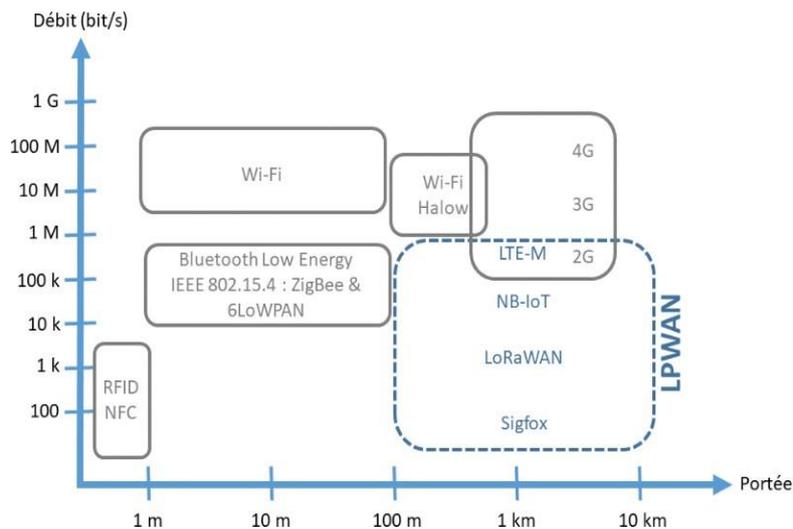


Figure 9 : Diagramme indicatif (portée - débit) de quelques technologies sans fil [21]

4.1 Définition d'un capteur intelligent :

Un capteur intelligent (smart sensor), composé en plus de l'unité de captage habituelle (voire plusieurs modules de captage), d'une unité de traitement numérique est souvent de type capteur sans fil, est un équipement qui prend des données de l'environnement physique et utilise des ressources informatiques embarquées pour exécuter une fonction prédéfinie lorsqu'une certaine entrée est détectée, puis traite les données avant de les envoyer. Des capteurs intelligents permettent une collecte de données environnementales plus précise et automatisée avec moins de perturbations dans les données enregistrées.

4.2 Architecture d'un capteur intelligent :

L'architecture matérielle du capteur se compose de quatre unités essentielles :

1) L'unité d'acquisition :

Ce module se compose de deux sous-unités, capteurs et ADCs (Analog Digital Converter), qui sont des convertisseurs analogique-numérique. Les capteurs collectent les données externes afin de former le signal analogique, puis les ADCs convertissent ces signaux analogiques en signaux numériques.

2) Batterie :

La batterie est le cœur de l'appareil, où chaque pièce en dépend, et elle n'est ni rechargeable ni modifiable, et souvent sa durée de vie est d'un an, et elle est considérée comme le seul obstacle dans l'ingénierie de tout capteur système de réseau. En effet, l'autonomie du nœud capteur est tributaire de la durée de vie de cette batterie.

3) L'unité de traitement :

Cette unité est connectée de deux côtés, l'un avec l'unité de communication et l'autre avec l'unité d'acquisition. Et son rôle est de surveiller le bon fonctionnement des autres unités et aussi d'effectuer les traitements numériques préliminaires sur les données acquises. Cette unité permet aussi la mise en place d'opérations de communication entre les nœuds d'un même réseau. Elle permet également d'analyser les données collectées dans le nœud et ceci afin de faciliter le travail sur le puits ou "sink" (le nœud capteur final directement connecté au serveur).

4) L'unité de communication :

C'est l'unité qui permet la communication entre tous les nœuds de champ de manière sans fil car elle est équipée de l'émetteur / récepteur.

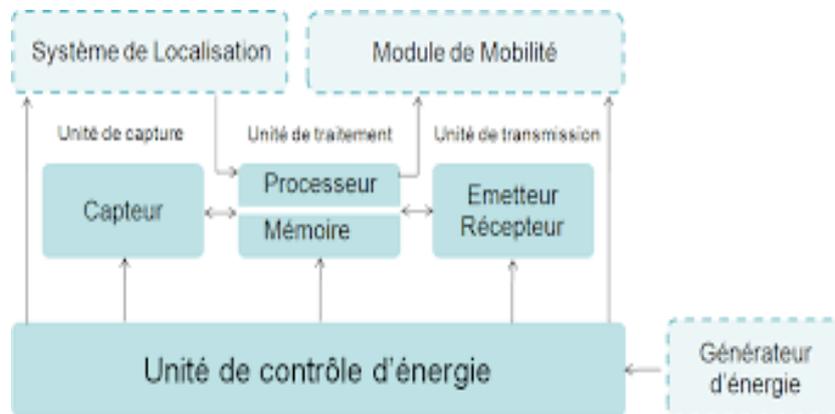


Figure 10 : Architecture matérielle d'un capteur sans fil [22]

Le RCSF se compose souvent d'un grand nombre de nœuds capteurs autonomes capables de collecter et de transmettre de manière coopérative des données environnementales. Les données collectées par les capteurs sont acheminées par routage direct ou à sauts multiples vers des nœuds qui sont des « points de collecte » appelés « puits ».

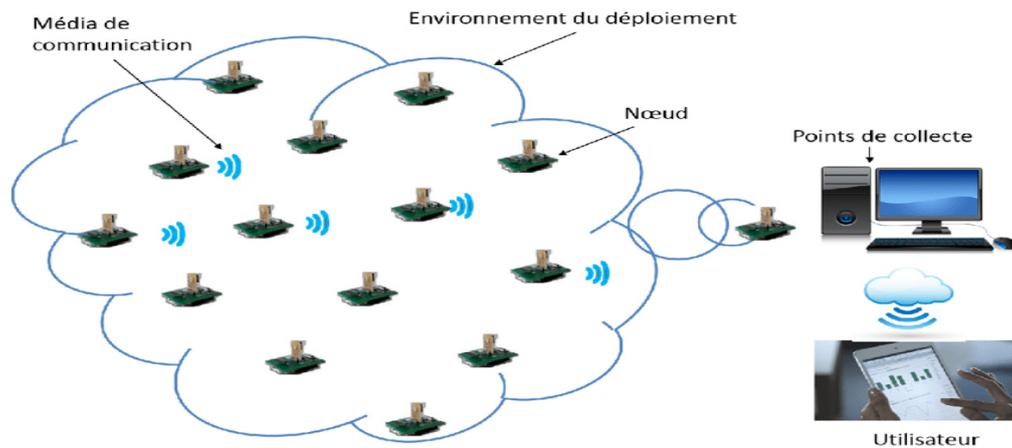


Figure 11 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fil [23]

L'un des avantages les plus importants du WSN est son faible coût, car son système de travail dépend de la communication entre les nœuds via des réseaux de communication, et cela ne nous oblige pas à utiliser des fils, et dans de tels protocoles ne nécessitent pas d'intervention humaine dans une large mesure. En cas de défaut dans l'un de nœud, celui-ci est réparé sans affecter l'ensemble du système, ce qui donne une flexibilité dans travailler.

Néanmoins le WSN possède aussi des limitations dont :

- Limitation de ressources technologiques,
- Faible mémoire capable de stocker toutes les informations reçues,
- Limitation de l'énergie électrique capables d'assurer une grande autonomie du nœud capteur.
- Tributaire des aléas et difficultés environnementales

5. Matériels proposés pour la réalisation pratique :

5.1 Module Arduino Due :

Pour des raisons de disponibilité et de coût, nous avons opté pour notre réalisation de nœuds capteurs sans fil, d'un système à base d'une carte Arduino. Mais actuellement, il existe plus de 20 versions de modules Arduino, dont l'un des plus puissants **l'Arduino Due**, basé sur un microcontrôleur Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. "Il s'agit de la première carte Arduino basée sur un microcontrôleur ARM 32 bits. Il dispose de 54 broches d'entrée/sortie numériques (dont 12 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 12 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), une horloge de 84 MHz, une connexion compatible USB OTG, 2 DAC (numérique à analogique), 2 TWI, une prise d'alimentation, un en-tête SPI, un en-tête JTAG, un bouton de réinitialisation et un bouton d'effacement. [17] Les modules Arduino peuvent être programmés via la plateforme Arduino (IDE) en libre accès".

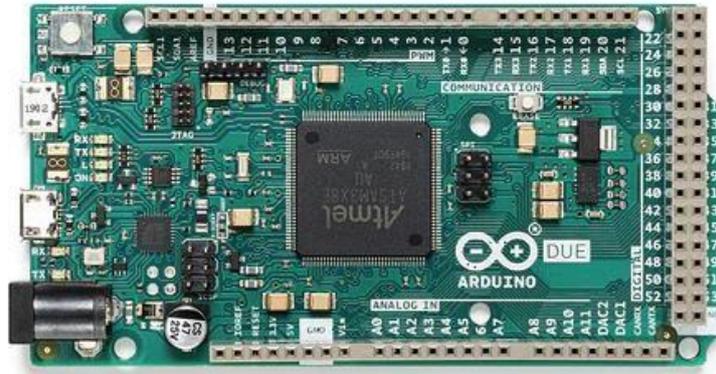


Figure 12 : Arduino Due [24]

Le SAM3X dispose de 512 Ko (2 blocs de 256 Ko) de mémoire flash pour stocker le code. Le chargeur de démarrage est prégravé en usine par Atmel et est stocké dans une mémoire ROM dédiée. La SRAM disponible est de 96 Ko en deux banques contiguës de 64 Ko et 32 Ko. Toute la mémoire disponible (Flash, RAM et ROM) est accessible directement en tant qu'espace d'adressage plat.

Il est possible d'effacer la mémoire Flash du SAM3X avec le bouton d'effacement intégré. Cela supprimera l'esquisse actuellement chargée du MCU. Pour effacer, appuyez sur le bouton Effacer et maintenez-le enfoncé pendant quelques secondes pendant que la carte est sous tension.

Parmi ses autres caractéristiques l'Arduino Due dispose de :

- Entrées/sorties TOR (Tout Ou Rien) ou Digital I/O : PIN de 0 à 53,
 - Quatre ports séries RX/TX à travers les paires de pins :
 - ✓ 0 (RX) et 1 (TX).
 - ✓ 19 (RX) et 18 (TX).
 - ✓ 17 (RX) et 16 (TX).
 - ✓ 15 (RX) et 14 (TX).
1. Les Pins 2 à 13 peuvent fournir une sortie PWM (Pulse Weigth Modulation) ou MLI (Modulation en Largeur d'Impulsion) 8 bits avec la fonction analogWrite().
 2. SPI : en-tête SPI (en-tête ICSP sur d'autres cartes Arduino) Ces Pins prennent en charge la communication SPI à l'aide de la bibliothèque SPI.
 3. Entrées analogiques (Analog Inputs: pins from A0 to A11): Pin de A0 à A11 Le Due dispose de 12 entrées analogiques, chacune pouvant fournir 12 bits de résolution (soit 4096 valeurs différentes). Par défaut, la résolution des lectures est fixée à 10 bits, pour une compatibilité avec les autres cartes Arduino.

5.2 Module Caméra OV7670 [18]

Le OV7670 CAMERACHIPTM est un capteur d'image CMOS basse tension qui offre toutes les fonctionnalités d'une caméra VGA monopuce et d'un processeur d'image dans un petit format. L'OV7670 fournit des images 8 bits plein cadre, sous-échantillonnées ou fenêtrées dans une large gamme de formats, contrôlées via le bus de contrôle de caméra série (SCCB) interface. Ce produit dispose d'une matrice d'images capable de fonctionner jusqu'à 30 images par seconde (30 fps) en VGA (Video Graphic Adapter) avec un contrôle total de l'utilisateur sur la qualité de l'image, formatage et transfert des données de sortie. Tout fonctions de traitement d'image requises, y compris le contrôle de l'exposition, le gamma, la balance des blancs, la couleur la saturation, le contrôle de la teinte et plus encore, sont également programmables via l'interface SCCB.



Figure 13 : Caméra OV7670 [25]

Caractéristiques et spécifications du module de caméra CMOS OV7670 : [19]

- Tension de fonctionnement : 3,3 V CC.
- Résolution : 640 x 480 VGA.
- Taille optique : 1/6 pouce.
- Consommation d'énergie : 60 mW.
- Prise en charge de la sortie des formats Raw RGB (GRB 4:2:2, RGB565/555/444), YUV (4:2:2) et YCbCr (4:2:2).
- Rapport signal/bruit : 46 dB.
- Taux de transfert d'image maximum : 30 FPS pour VGA.
- Prend en charge les tailles d'image : VGA, CIF et toute taille réduite de CIF à 40 x 30.
- Interface SCCB standard compatible avec l'interface I2C.
- Réglage automatique du niveau de saturation (réglage UV).
- Réglage automatique du niveau d'amélioration des contours.

Pin Configuration of CMOS OV7670 Camera Module: [20]

Pin	Pin Type	Description
1	VCC	+3.3V DC power input
2	GND	Ground
3	SCL	I2C Serial Clock
4	SDA	I2C Serial Data I/O
5	VSYNK	Vertical Sync output; Active High; Indicates active frames
6	HREF	Horizontal Reference; Active High; Indicates active pixels
7	PCLK	Pixel clock output from the sensor
8	XCLK	Master clock into the sensor
9	Dout9	Pixel Data Outuput 9(MSB)
10	Dout8	Pixel Data Output 8
11	Dout7	Pixel Data Output 7
12	Dout6	Pixel Data Output 6
13	Dout5	Pixel Data Output 5
14	Dout4	Pixel Data Output 4
15	Dout3	Pixel Data Output 3
16	Dout2	Pixel Data Outuput 2(LSB)

Tableau 1 : Pin mapping OV7670

Étant donné que le module de caméra CMOS OV7670 est créé par différents fabricants et distributeurs, la configuration des broches peut différer. Certains modules OV7670 ont également 18 broches, 2 des broches supplémentaires peuvent être RESET et PWDN.

5.3 Module de communication Bluetooth HC-05

Le Bluetooth d'une manière générale est un standard de communication permettant l'échange de données bidirectionnel à très courte distance en utilisant des ondes radio UHF (Ultra Haute Fréquence). Le module Bluetooth HC05 permet de doter l'Arduino Due, ou tout autre microcontrôleur, d'une liaison Bluetooth. La connexion entre le microcontrôleur et le module Bluetooth est une communication série TTL (Transistor Transistor Logic). Le HC-05 possède les caractéristiques suivantes :

- Alimentation : 3,6 à 6 Vcc (régulateur 3 Vcc intégré).
- Intensité 30 mA en fonctionnement, 8 mA pour établir la communication.
- Bluetooth : 2.0.

- Portée : jusqu'à 10 mètres.
- Liaison série : 4800 à 1382400 bauds.
- Antenne : 2,4 GHz intégrée.
- Sorties: Key, Vcc, Gnd, TXD, RXD et State.
- Configuration via commandes AT.
- Longueur du cordon : environ 20 cm.
- Dimensions : 35 x 16 x 12 mm.

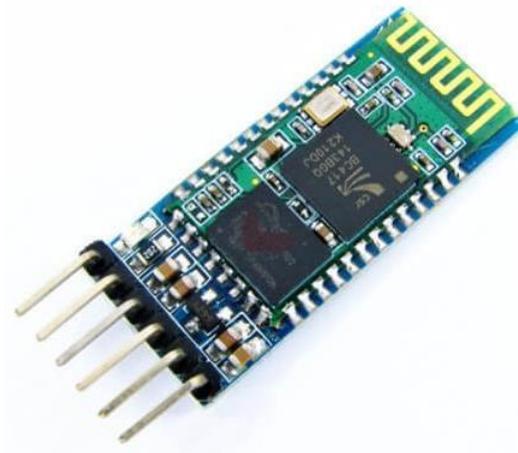
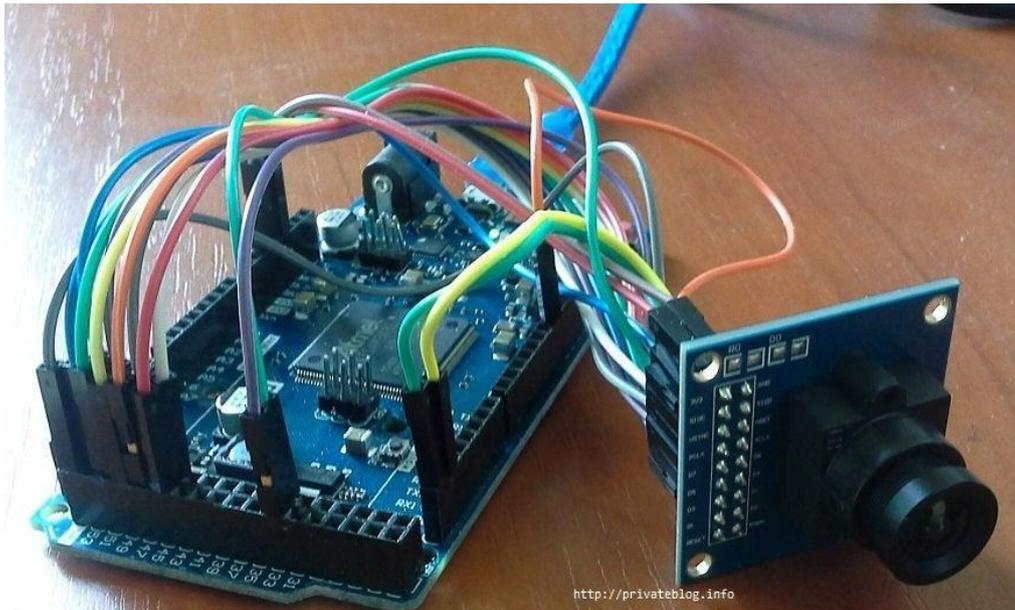


Figure 14 : Module HC-05 [26]

6. Réalisation finale

Le nœud capteur que nous avons donc réaliser dans le but d'une application visant à surveiller les herbes parasites dans les champs céréaliers est basé sur un Arduino Due, une caméra OV7670 et d'un module de communication Bluetooth. L'Arduino Due est censé capter des images avec une cadence prédéfinie, d'effectuer un prétraitement d'images et de transmettre les résultats du traitement et/ou les images vers un Smartphone via une communication Bluetooth.



**Figure 15 : Réalisation matérielle finale [27]
elle finale[27]**

7. Conclusion :

Après avoir réalisé ce prototype et assuré toutes les liaisons nécessaires il ne nous reste uniquement à charger (téléverser) le programme de l'Arduino Due qui doit assurer :

- La configuration de la caméra selon les broches utilisées,
- La capture des images selon la cadence prédéfinie
- Le prétraitement d'images
- La transmission des données résultats et/ou d'images via la liaison Bluetooth

Ceci va être exposé dans le chapitre précédent qui concerne bien évidemment la partie réalisation logicielle.

VDD	GND
SDIOC	SDIOD
VSYNC	HREF
PCLK	XCLK
D7	D6
D5	D4
D3	D2
D1	D0
RESET	PWDN

Tableau 2 : Les broches de la caméra OV7670[29]

La description de chacune de ces broches est donnée sur le tableau ci-dessous

Broche	Type	Description
VDD	Alimentation	Alimentation en DC
GND	Alimentation	Masse de l'alimentation
SDIOC	Entrée	Horloge SCCB
SDIOD	Entrée/sortie	Donnée SCCB
VSYNC	Sortie	Synchronisation verticale
HREF	Sortie	Synchronisation horizontale
PCLK	Sortie	Horloge pixel
XCLK	Entrée	Horloge Système
D0 – D7	Sorties	Sortie vidéo parallèle
RESET	Entrée	Réinitialiser (active bas)
PWDN	Entrée	Mise hors tension (active haut)

Tableau 3 : Description des broches de la caméra OV7670[30]

- VSYNC : Sortie de synchronisation verticale - Faible pendant l'image,
- HREF : Référence horizontale - Élevé pendant les pixels actifs de la ligne,
- PCLK : Sortie d'horloge de pixels - Horloge de fonctionnement libre. Les données sont valides sur le front montant,
- D0-D7 : sortie numérique composante vidéo YUV/RVB 8 bits,
- PWDN : Sélection du mode de mise hors tension - Mode normal et mode de mise hors tension,
- XCLK : entrée d'horloge système,
- RESET : signal de réinitialisation

La caméra OV7670 est à la fois un capteur d'image et aussi un processeur de traitement du signal (DSP) à faible coût. Il peut fonctionner jusqu'à 30 images par seconde et avec des résolutions de 640 × 480 de type VGA (Video Graphic Adapter). Ceci se traduit donc par des

images de tailles 307 200 pixels. L'image capturée peut être prétraitée par le DSP avant de l'envoyer. Ce prétraitement peut être configuré via le Serial Camera Control Bus (SCCB).

L'OV7670 est cadencé à partir d'un oscillateur 24MHz, via son entrée XCLK. Cela donne une sortie Pixel Clock (PCLK) de 24 MHz. Le FIFO du DSP de la caméra fournit 3 Mbps de mémoire tampon de trame vidéo.

3. Pilotage de la caméra OV 7670 par un microcontrôleur

L'une des configurations typiques de la caméra OV 7670 à l'aide d'un microcontrôleur, à l'instar d'un Arduino est la suivante :

- Le microcontrôleur configure la caméra par le biais du bus I2C ;
- La caméra effectue l'acquisition vidéo et stocke l'image dans la FIFO ;
- Le microcontrôleur attend la fin de la transmission ;
- Le microcontrôleur récupère l'image dans la FIFO.
-

La caméra fournit les signaux nécessaires au pilotage direct de la FIFO :

- Un signal d'horloge (pixel clock ou PCLK)
- Un signal de synchronisation horizontale (HREF)
- Un signal de synchronisation verticale (VSYNC)
- Un bus de données de largeur 8 bits (D0 à D7)

La FIFO dispose quant à elle des signaux suivants (en entrée):

- Un bus de données de largeur 8 bits
- Un signal d'horloge en écriture (WCK). Si l'écriture est autorisée (signal WE actif), la donnée présente sur le bus est stockée en mémoire et le compteur interne (qui fournit l'adresse) est incrémenté. Le compteur peut être réinitialisé à zéro en activant le signal WRST (Write reset).

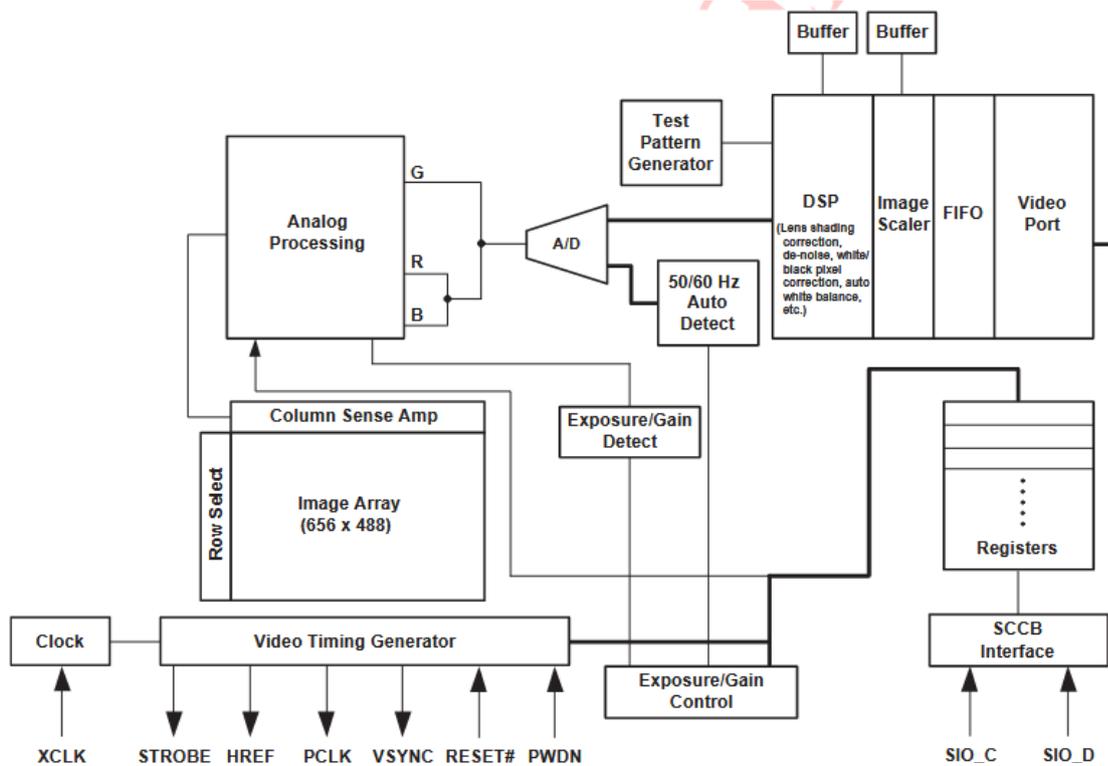


Figure 17 : Schéma interne de la caméra OV7670 [28]

4. Formats vidéo utilisés par l'OV7670

Une vidéo est une succession d'images, où chaque image fixe ou frame est prise à un instant donné. Ainsi une séquence vidéo de 25 images/s, chaque image a été capturée à l'instant $k/25$ secondes, où k est un entier de 1 à 25. Maintenant, chaque image est composée de lignes et une ligne est composée de pixels ou "picture element". Dès lors, il existe un bon nombre de formats vidéo dont le plus courant est le format RVB à 3 octets (noté également RGB888). Dans ce format chaque pixel est stocké sur 24 bits (3 octets), c'est-à-dire chacune des trois composantes rouge, vert et bleu prend 8 bits. A cet effet, le niveau de gris de chaque couleur est de 0 à 255, où 0 et 255 sont respectivement l'intensité minimale et l'intensité maximale correspond au noir absolu et au blanc extrême.

Les formats utilisés par l'OV7670 (la caméra adoptée dans notre projet) sont les RGB565, RGB555 et RGB444. La différence avec le format RGB888, c'est le nombre de bits affectés à chaque composante couleur, que l'on appelle aussi la profondeur du pixel. Ces formats consomment moins de mémoire lorsqu'ils sont stockés mais au détriment d'un nombre de couleurs disponibles relativement plus faible. Quant au format YCbCr, utilisé en vidéodiffusion en particulier, il utilise :

- Une composante Y ou luminance qui est le niveau de gris global de toute l'image.

- Deux composantes chrominances Cb et Cr, qui codent respectivement les niveaux de bleu et de rouge par rapport à la composante de luminance. La relation mathématique entre le système RVB et le système YCbCr, est donnée par l'expression suivante :

$$\begin{aligned}
 R &= Y + 1.402 \cdot (C_R - 128) \\
 G &= Y - 0.34414 \cdot (C_B - 128) - 0.71414 \cdot (C_R - 128) \\
 B &= Y + 1.772 \cdot (C_B - 128)
 \end{aligned}$$

Notons que la valeur 128 est utilisée dans cette expression pour que les composantes Cb et Cr prennent que des valeurs positives ou nulles. Autrement dit, on rajoute une composante continue égale à 128 pour ces deux composantes.

L'OV7670 utilise le format YCbCr422, avec les données par pixels selon le format suivant :

Pixel 0	Y0 Cb0 Cr0
Pixel 1	Y1 Cb0 Cr0
Pixel 2	Y2 Cb2 Cr2
Pixel 3	Y3 Cb2 Cr2
Pixel 4	Y4 C4 bCr4
Pixel 5	Y5 Cb4 Cr4

Tableau 4 : Format YCbCr422 de la caméra OV7670[31]

Le format 4-2-2 est un exemple d'échantillonnage de la vidéo numérique, où Cb et Cr sont sous échantillonnées d'un rapport deux, par rapport à Y. Autrement dit, le nombre d'échantillons total de Y est double de celui de Cb ou de Cr. Ainsi, chaque pixel a une longueur de 3 octets (par exemple Y0, Cb0 et Cr0), comme dans le format RVB. Mais, dans le format YCbCr422, les canaux Cb et Cr sont partagés entre deux pixels consécutifs (par exemple, les pixels 0 et 1 partagent Cb0 et Cr0). Par conséquent, deux pixels sont "compressés" en 4 octets ou 32 bits, cela signifie qu'en moyenne chaque pixel est stocké sur 2 octets ou 16 bits. Dans l'exemple ci-dessus, 3 mots (12 octets) stockent 6 pixels.

L'avantage supplémentaire de YCbCr est que le canal Y est l'image en niveaux de gris, alors qu'en RVB, nous devons faire la moyenne des 3 canaux pour obtenir l'image en niveaux de gris.

5. Réalisation Software

5.1 Rappel sur la partie matérielle

Notre projet est composé entre autres de nœuds capteurs formés chacun d'une caméra OV7670 interfacée à un Arduino, lui-même connecté à un PC via la liaison USB ou encore à un

Smartphone via une connexion Bluetooth. Dans les deux cas il s'agit d'une liaison série. Le schéma de principe de ce nœud capteur est donné ci-dessous.

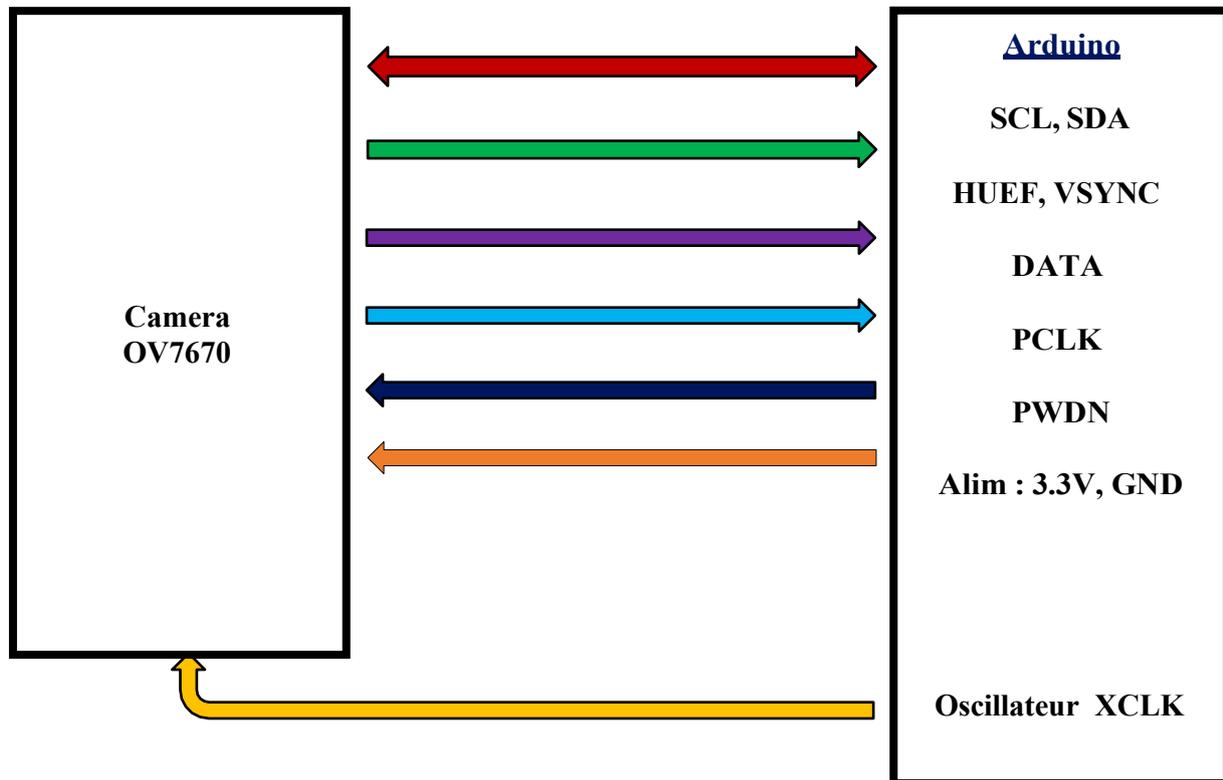


Figure 19 : Les bus et connexions entre Arduino et Camera OV7670 (Nœud capteur)

5.2 Programmation de la caméra OV7670 à l'aide d'un Arduino

- Inclure les bibliothèques nécessaires : La programmation commence par inclure les bibliothèques requises nécessaires pour OV7670. Après cela, les registres doivent être modifiés pour OV7670. Le programme peut être mise sous forme de plusieurs fonctions pour le rendre plus simple et plus compréhensible.
- Déclaration de toutes les variables utilisées
- Fonctions Setup() et Loop() : Un programme dans un Arduino est composé, entre autres de la fonction Setup() et ensuite de la fonction Loop(). La fonction setup(), initialise et définit les valeurs initiales. Alors que la fonction loop(), permet au programme implanté de travailler cycliquement.
- Alors, dans le programme qui doit gérer la caméra OV7670, nous pouvons commencer au niveau de la fonction Setup() par la configuration de l'Arduino lui-même. Ceci en désactivant toutes les interruptions globales et en définissant les configurations de

l'interface de communication telles que l'horloge PWM, la sélection des broches d'interruption, la sélection du ‘prescaler’, l'ajout de parité et de bits d'arrêt. Ceci, peut être effectué grâce à l'instruction

```
arduinoUnoInut();
```

- La caméra doit être également configurée. Pour initialiser la caméra, nous n'avons que les options pour changer les valeurs de registre. Les valeurs de registre doivent être modifiées de la valeur par défaut à la valeur personnalisée. Ajoutez également le délai requis en fonction de la fréquence du microcontrôleur que nous utilisons. Comme, les microcontrôleurs lents ont moins de temps de traitement en ajoutant plus de retard entre les trames de capture.

```
void camInit(void){  
writeReg(0x12, 0x80);  
_delay_ms(100);  
wrSensorRegs8_8(ov7670_default_regs);  
writeReg(REG_COM10, 32);//PCLK does not toggle on HBLANK.  
}
```

- La caméra est configurée pour prendre une image QVGA (*Quarter Video Graphics Array*), dont la résolution est de seulement 320×240 pixels. La résolution à adopter doit donc être sélectionnée. La fonction configure le registre pour prendre une image QVGA.

```
setResolution();
```

- Si les images sont prises en monochrome, la valeur de registre est donc définie pour produire une image monochrome. La fonction définit les valeurs de registre à partir de la liste de registres prédéfinie dans le programme.

```
setColor();
```

- La fonction ci-dessous est une fonction d'écriture dans le registre qui écrit la valeur hexadécimale dans le registre. Si des images brouillées sont obtenues, on doit changer le deuxième terme 10 par 9, 11 ou 12.

```
writeReg(0x11, 10);
```

- Cette fonction est utilisée pour obtenir la taille de la résolution de l'image.

```
captureImg( , );
```

5.3 Organigrammes

Pour résumer le fonctionnement du programme de l'Arduino, nous allons le représenter par des organigrammes relativement simplifiés. Il s'agit essentiellement de trois organigrammes traduisant les trois parties essentielles du programme de l'Arduino à savoir :

- La partie initialisation de la caméra OV7670 qui se situe au niveau de la fonction Setup() du programme de l'Arduino.
- La partie Communication I2C qui est initialisée au niveau de la fonction Setup (), mais qui doit fonctionner, pour l'envoi des données, au niveau de la fonction Loop().
- La partie Capture et génération des images. Essentiellement, cette partie se trouve dans la fonction Loop().

Le quatrième organigramme traduit l'application que nous devons programmer au niveau du PC pour pouvoir réceptionner et visualisé les images envoyées par l'Arduino

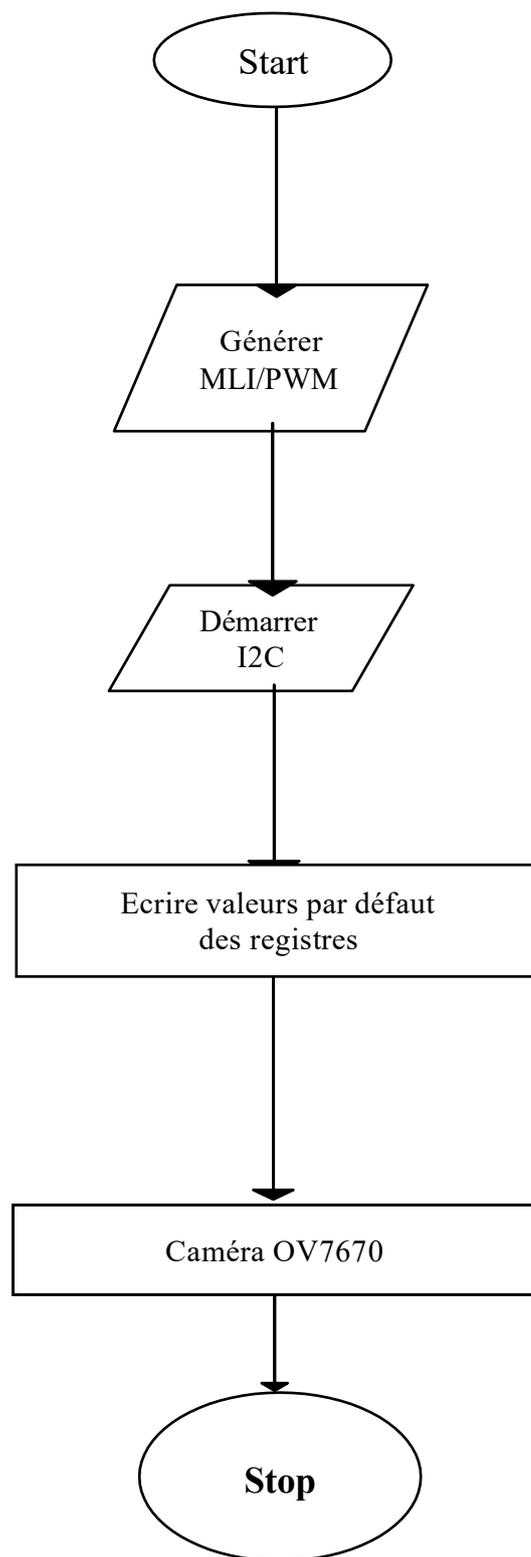


Figure 20 : Organigramme de l'initialisation d la caméra OV7670 (Arduino)

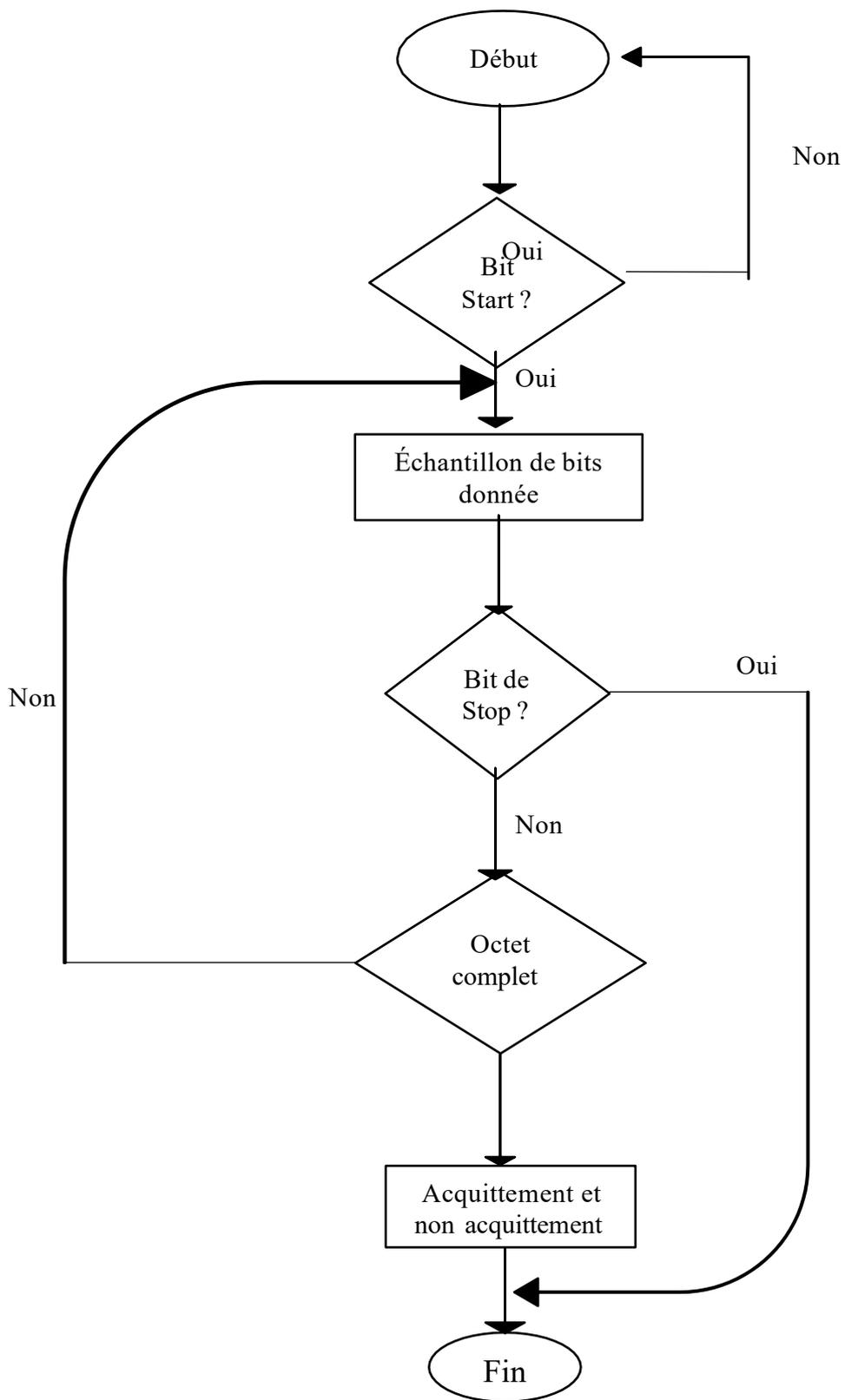


Figure 21 : Organigramme de la communication I2C (Arduino)

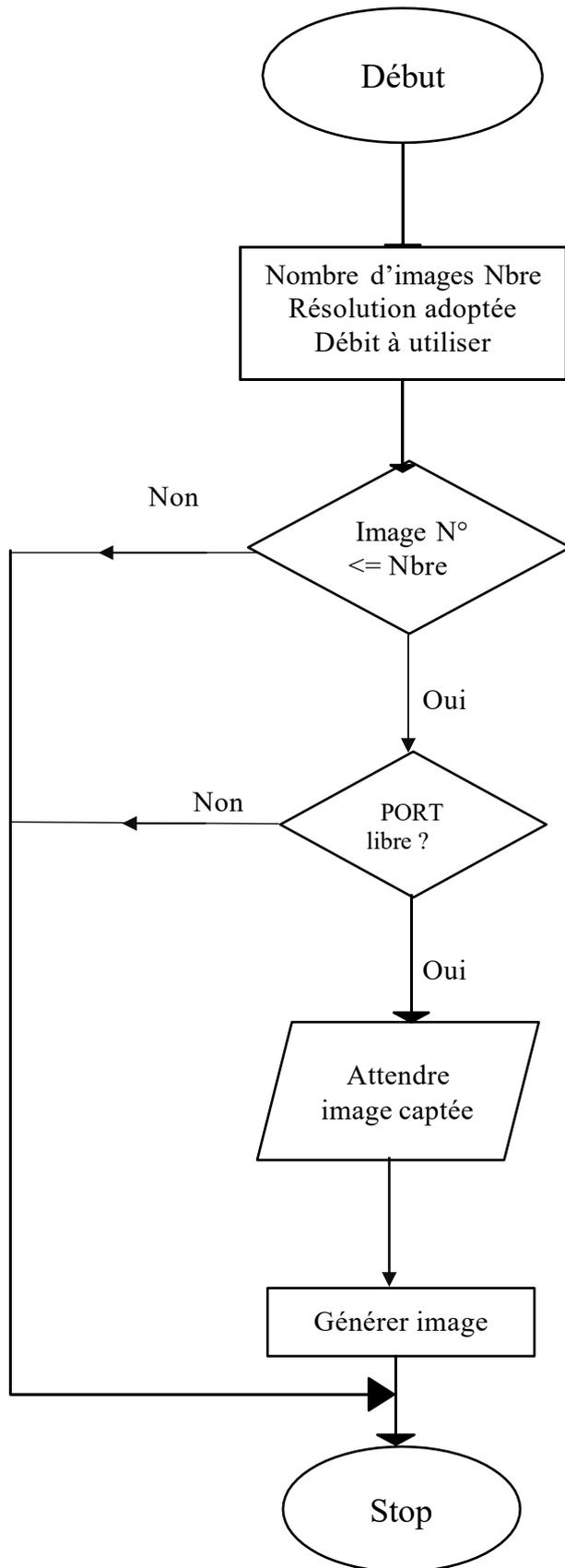


Figure 22 : Organigramme de capture d'images (Arduino)

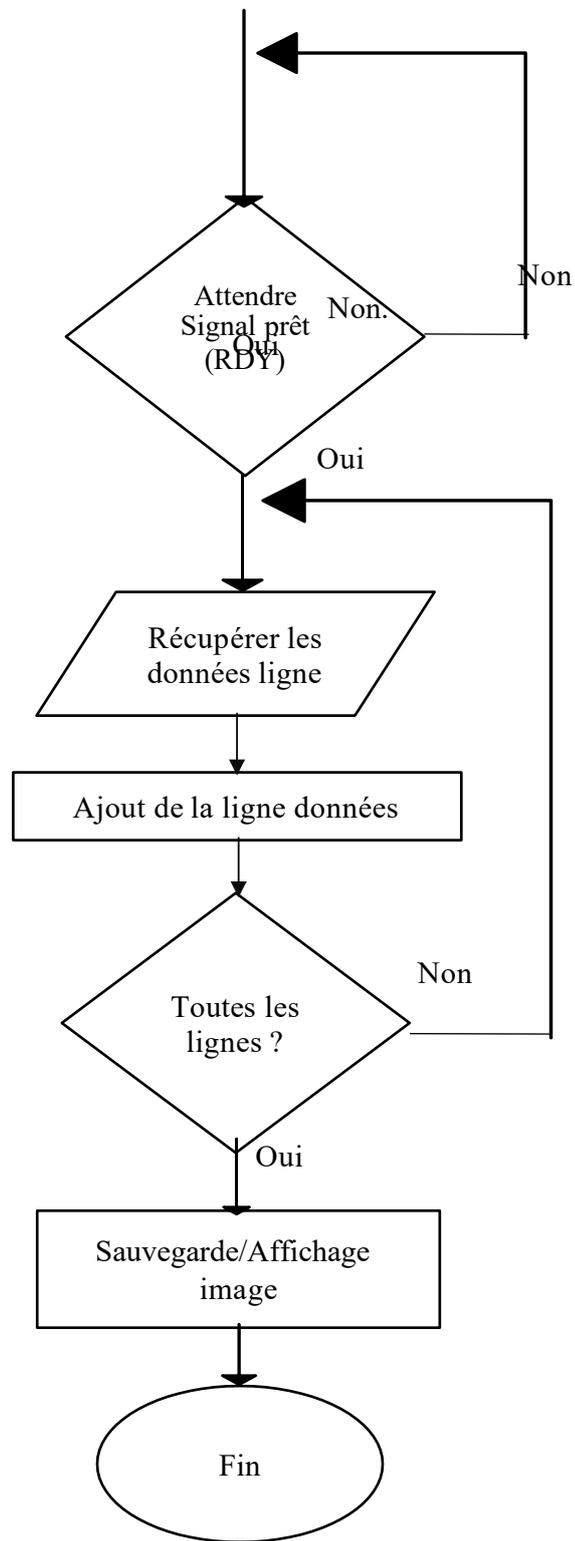


Figure 23 : Algorithme de réception et génération des images au niveau du PC

6. Résultats et discussion

Après avoir terminé les programmes qui doivent gérer le captage de l'image, son acquisition par l'Arduino, sa transmission et sa réception par le PC, nous avons donc réalisé plusieurs tests et expérimentations dans le but de capter et transmettre des images de certaines herbes parasites que l'on rencontre habituellement dans les champs céréaliers en Algérie. A cet effet, nous avons opté pour deux types d'herbes parasites à savoir la moutarde des champs et la Folle-avoine.

Pour tester notre "testbed" ou prototype quant à son acquisition et sa transmission nous avons commencé par collecter quelques images sur le net de ces deux herbes parasites à différents stades de leurs évolutions et ensuite nous avons pris des photographies sur ces clichés à partir de notre réalisation. Les photographies que nous avons collectées sur le net, nous les avons surtout obtenus à partir de ces trois liens en l'occurrence [32 – 34]. Ces photographies collectées ont donc été reproduites à partir de notre réalisation pour mieux évaluer les performances de l'acquisition en termes de la qualité des images reproduites et aussi du temps de transmission. Les résultats des acquisitions à l'aide de la caméra OV7670 pilotée par l'Arduino et de la génération des images au niveau du PC sont représentés sur les figures de 24 à 33. Pour les tests que nous avons menés nous avons adoptés des résolutions d'images de 320×240 en mode RVB avec des débits de transmission de l'ordre de 500000 bps. Néanmoins, nous avons la possibilité de choisir d'autres résolutions avec différents modes et pour plusieurs débits. A titre d'exemple parmi les possibilités offertes par ce "testbed", nous avons : 160×120 RVB ou en niveau de gris, 320×240 RVB ou en niveaux de gris, 640×480 RVB ou en niveaux de gris et pour des débits pouvant aller de 115200 bps jusqu'à 2Mbps selon le type de la carte Arduino que nous utilisons. Nous avons remarqué à travers les tests effectués que la qualité des images acquises, transmises et générées au niveau du PC, est appréciable et acceptable pour des traitements de détection et de reconnaissance. Les seuls inconvénients que nous avons relevés :

1. La caméra a besoin d'une certaine stabilité mécanique. En effet, un simple mouvement dû à coup de vent peut altérer la qualité de l'images et sa synchronisation.
2. La durée de la transmission est relativement élevée en fonction de la résolution choisie. De ce fait une compression des images avant la transmission est nécessaire.
3. La consommation énergétique est relativement élevée au niveau du traitement dans le module Arduino (phase d'acquisition) et au niveau de la transmission, surtout quand on utilise une communication par Bluetooth ou autre module RF. La solution que nous préconisons est de choisir des algorithmes de compression à faible coût calculatoire

et d'utiliser des supports de transmission à faible énergie comme les BLE (Bluetooth Low Energy).



Figure 24 : Moutarde des champs (photographie 1)

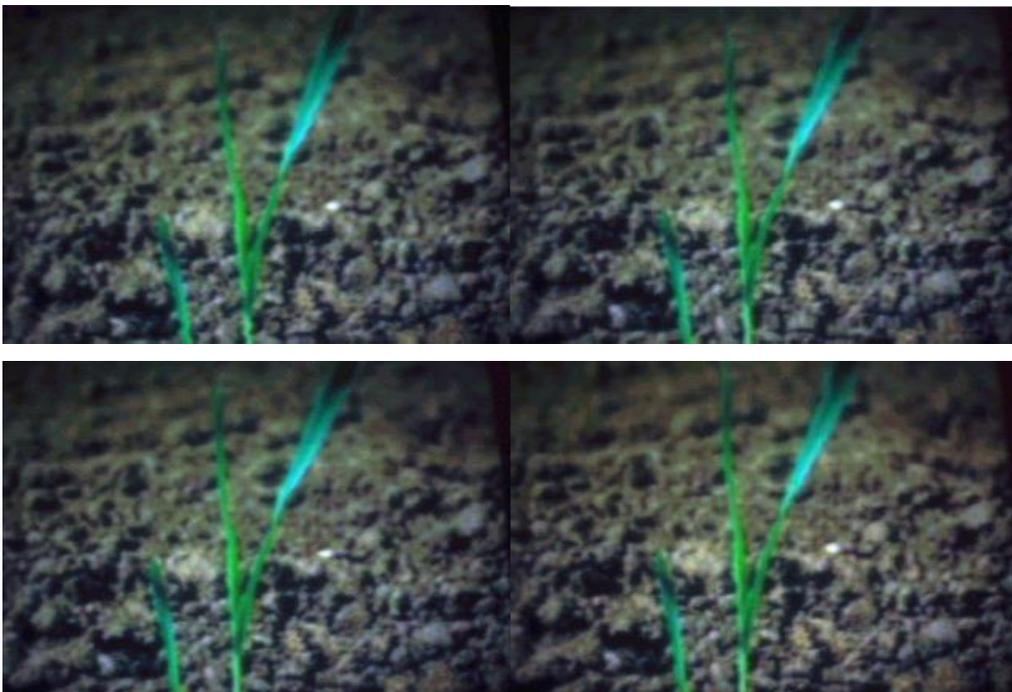


Figure 25 : Folle-Avoine (photographie 1)

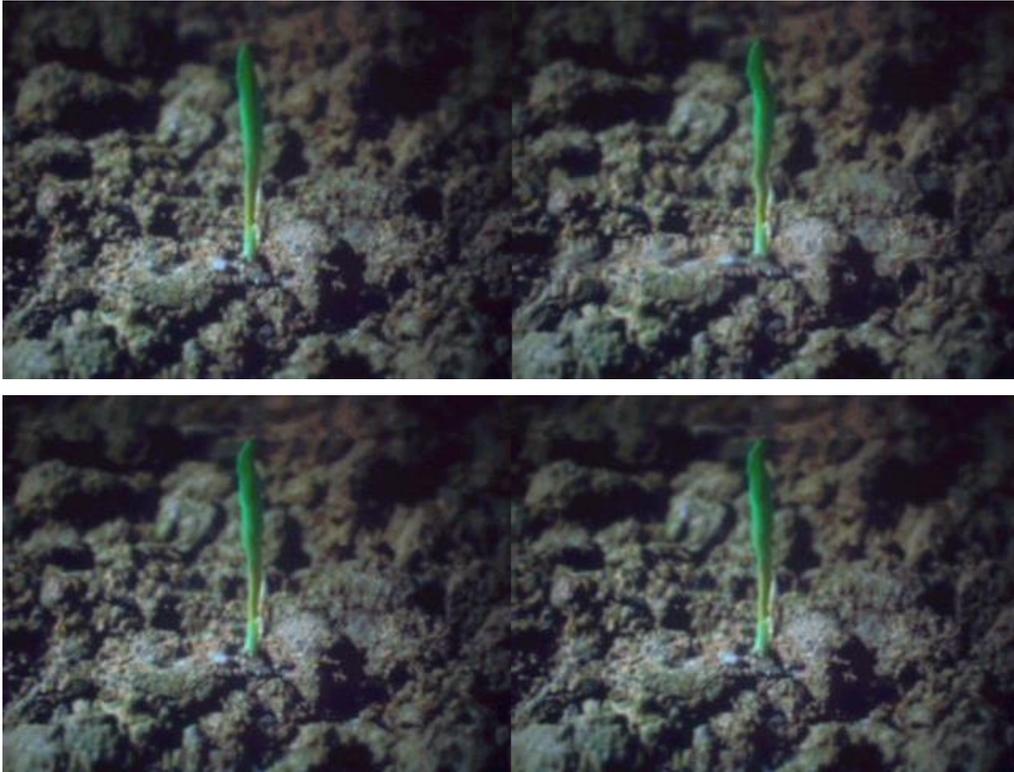


Figure 26 : Folle-Avoine (photographie 2)



Figure 27 : Folle-Avoine (photographie 3)

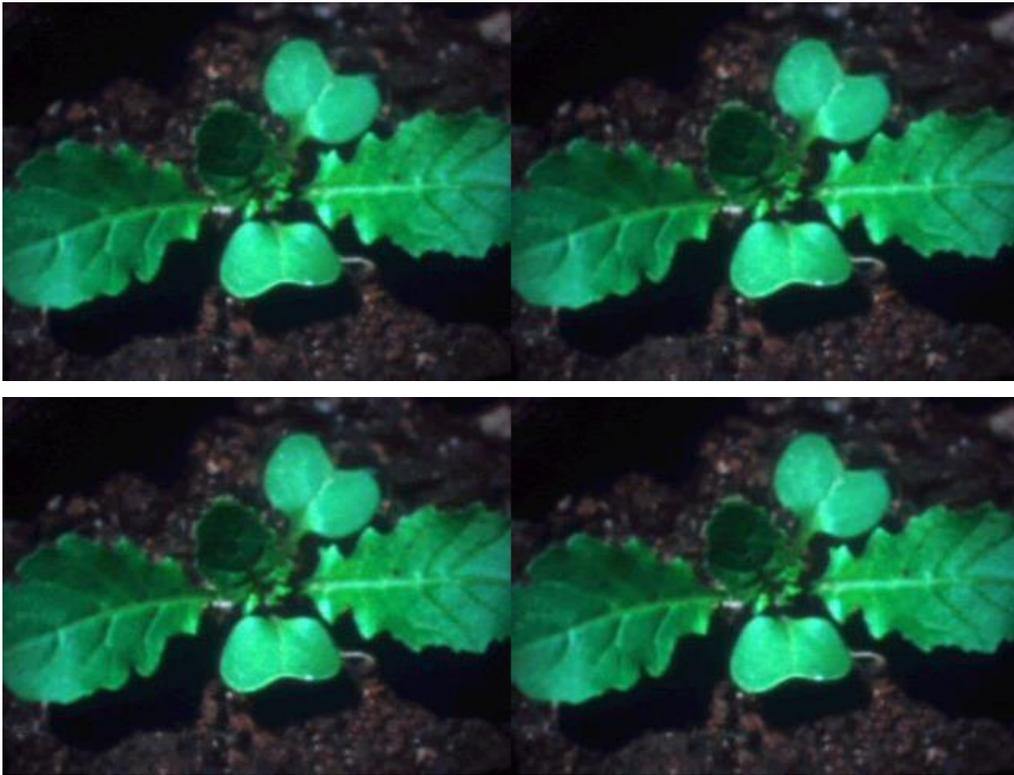


Figure 28 : Moutarde des champs (photographie 2)

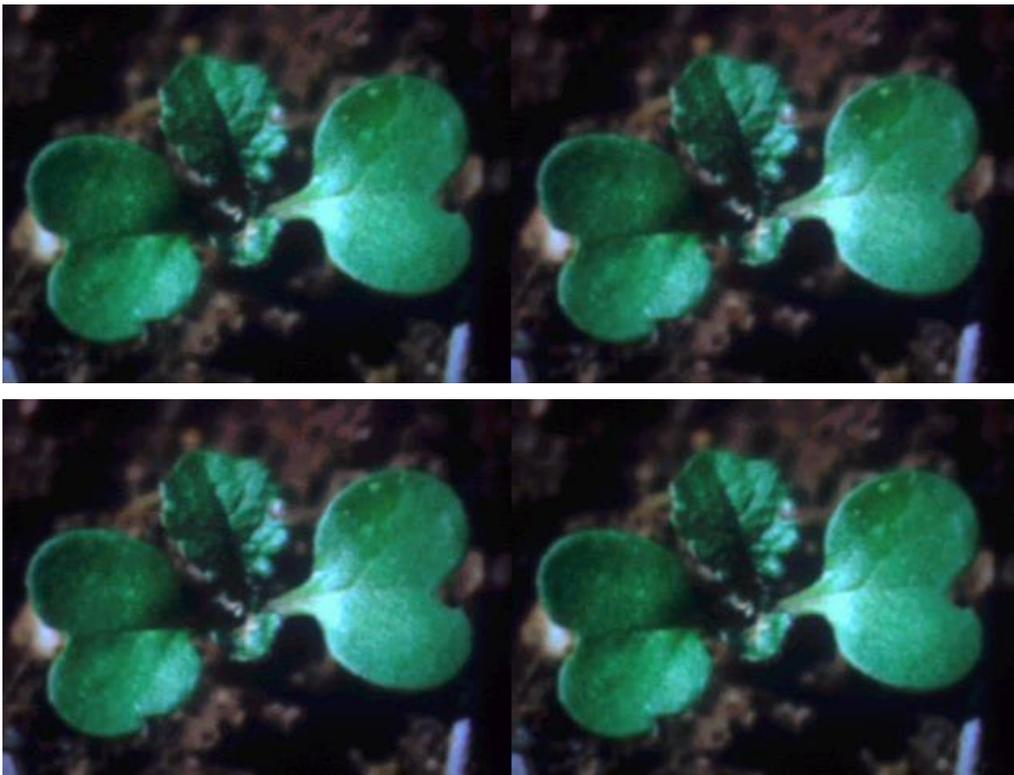


Figure 29 : Moutarde des champs (photographie 3)



Figure 30 : Moutarde des champs (photographie 4)

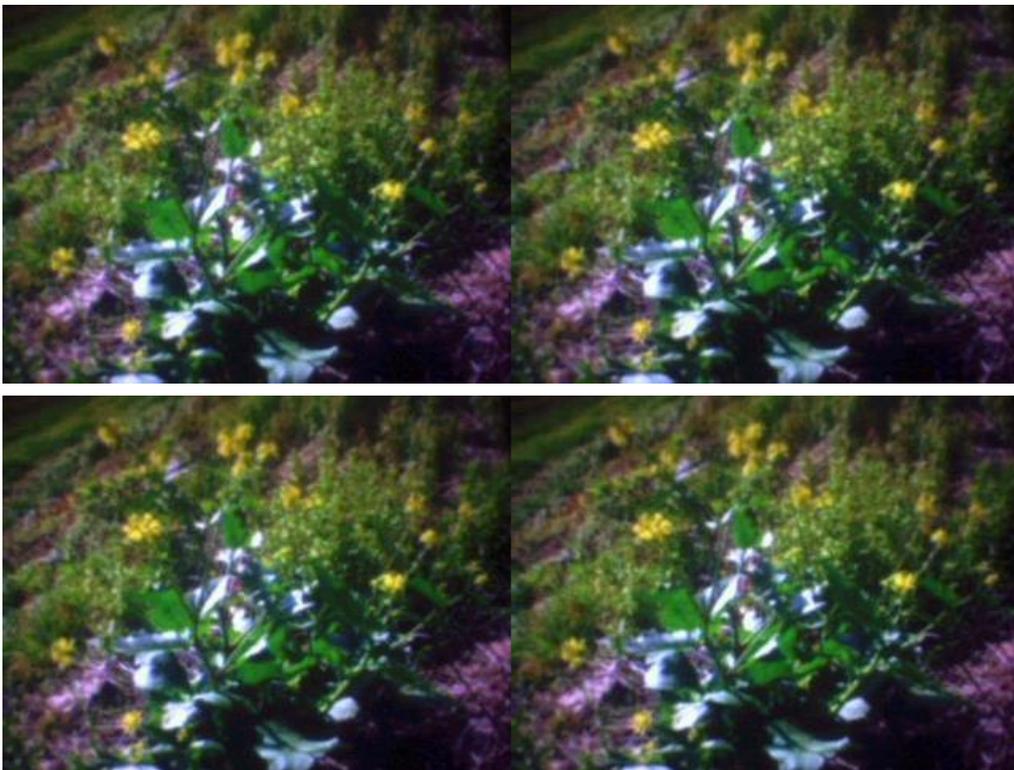


Figure 31 : Moutarde des champs (photographie 5)

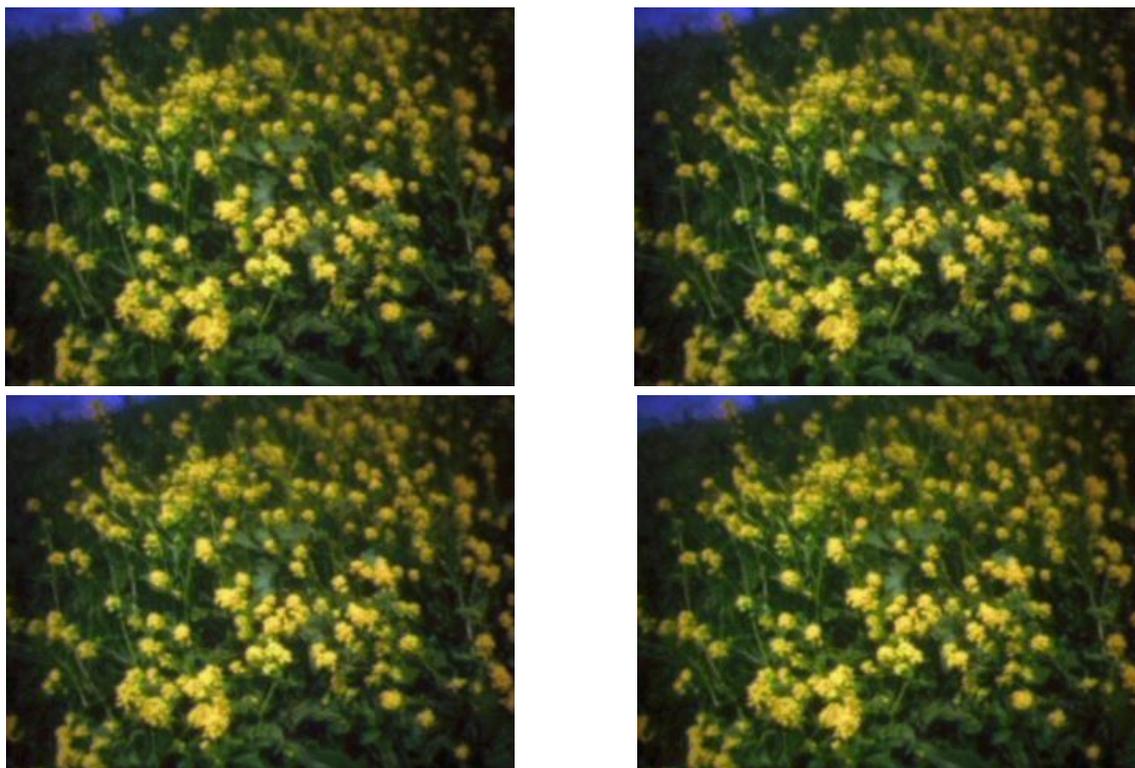


Figure 32 : Moutarde des champs (photographie 6)

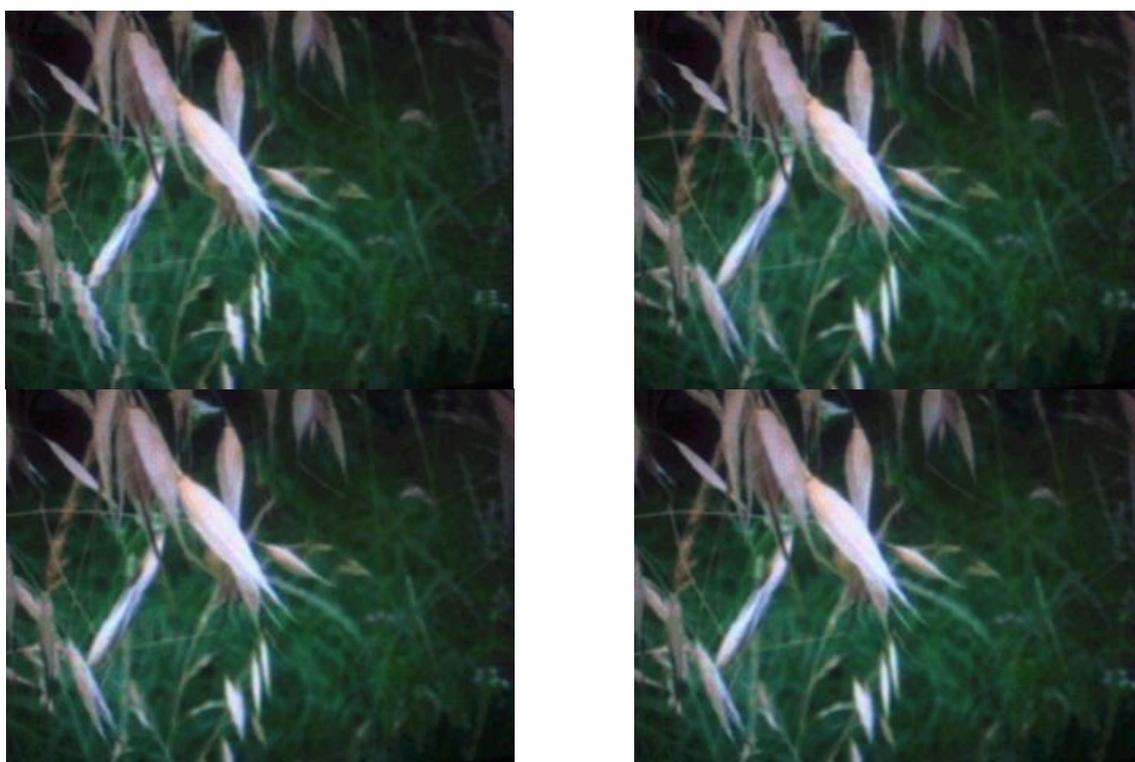


Figure 33 : Folle-Avoine (photographie 4)

Comme nous l'avons évoqué au début de ce paragraphe, le plus grand défi à relever dans le cas des nœuds capteurs sans fil, et plus particulièrement les nœuds capteurs visuels (ou multimédia) sans fils, est la consommation énergétique. Ces nœuds capteurs sans fils sont supposés fonctionner d'une manière autonome durant une période relativement longue. A cet effet, l'un des objectifs essentiels est d'augmenter la durée de vie de ces nœuds en réduisant au maximum leurs consommations énergétiques. Comme il s'agit de nœuds visuels avec caméra pouvant capter des séquences vidéo, la consommation énergétique est consistante et élevée, il faut donc trouver des solutions pour la diminuer d'une manière drastique. Avant de proposer des solutions, il faut d'abord comprendre et modéliser l'énergie consommée par un nœud capteurs compte tenu que ce nœud possède plusieurs phases de fonctionnement différentes. Il s'agit du mode "veille", du mode de fonctionnement "mesure", du mode de fonctionnement "traitement", du mode de fonctionnement "émission" et du mode de fonctionnement "réception". Chaque mode de fonctionnement a sa propre consommation d'énergie. Généralement, les modes de fonctionnement émission et réception sont les plus énergivores suivis du mode mesure, puis du mode traitement et enfin du mode veille où la consommation électrique est la plus faible. Le courant consommé plus important ne signifie pas nécessairement une énergie consommée plus important de chaque mode car nous devons prendre aussi et surtout la durée de chaque mode. L'énergie consommée par chaque capteur peut être calculée à partir de l'expression ci-dessous [35] [36] :

$$E \approx V \times (I_{sleep} T_{sleep} + I_{Tx} T_{Tx} + I_{Rx} T_{Rx} + I_{mes} T_{mes} + I_{proc} T_{proc}) \quad (1)$$

Où I_{sleep} est le courant consommé par le nœud capteur en mode veille pendant la période T_{sleep} , I_{Rx} est le courant consommé par le nœud capteur en mode de fonctionnement "réception", pour la période T_{Rx} , I_{Tx} est le courant consommé par le nœud capteur pendant le mode de fonctionnement "émission" pour la période de temps T_{Tx} , I_{mes} est le courant consommé par le nœud capteur en mode de fonctionnement "mesure" pour la période de temps T_{mes} et I_{proc} est le courant consommé par le nœud capteur en mode de fonctionnement "traitement" pour le temps période T_{proc} et V est la tension invariante dans le temps basée sur l'alimentation. Ainsi, pour des mesures réelles de la consommation d'énergie d'un nœud capteur pendant n'importe quel mode de fonctionnement, comme le mode de traitement, il est nécessaire de mesurer le courant consommé pendant ce mode de fonctionnement ainsi que sa durée temporelle.

Notre caméra piloté par l'Arduino peut fonctionner avec différentes résolutions (160×120 ou bien 320×240,etc), avec différents formats (RGB888, YCrCb422, NG ...etc) et plusieurs débits (500000bps, 1Mbps, 2Mbsetc). Évidemment, pour chacun de ces cas la

consommation du nœud est différente. En sachant bien évidemment que cette consommation va dépendre :

- Des équipements alimentés en l'occurrence le module Arduino, la caméra et le moyen de transmission,
- Du traitement effectué à l'instar du code pour la configuration, le contrôle de la caméra et l'acquisition de l'image.

Dans notre expérimentation, pour mesurer la consommation énergétique nous allons tenir compte uniquement de la consommation pour l'alimentation du nœud capteur et la caméra et aussi de la consommation énergétique due au traitement effectué dans le module Arduino lors du captage des images. Pour pouvoir bien localiser ces consommations énergétiques nous avons rajouter dans le code programme une instruction permettant de mettre en veille (mode sleep) pendant une seconde, l'Arduino à chaque capture d'une image. Dès lors, nous avons monté l'expérience suivante :

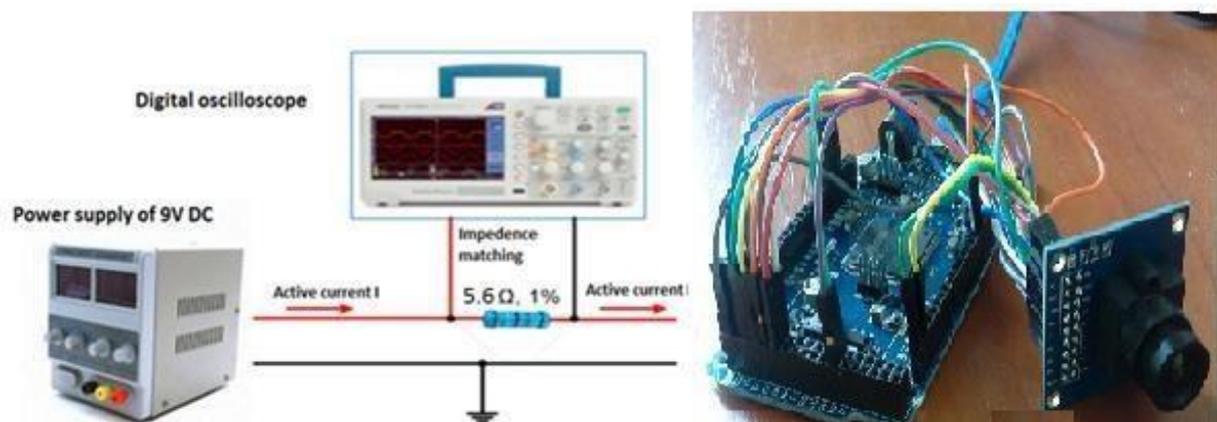


Figure 34 : Schéma de principe du montage pour la mesure de la consommation énergétique

Nous avons donc utilisé un oscilloscope pour enregistrer la tension aux bornes d'une résistance de très petite valeur mise en série avec l'alimentation de l'Arduino afin de convertir le courant consommé en une tension. Nous avons aussi mis à milliampèremètre en série avec cette même résistance pour mesurer le courant consommé (pour plus de précision). Pour mieux comprendre cette manipulation, nous avons mis la photographie du montage réalisé dans la figure 35.



Figure 35 : Photographie du montage pour la mesure de la consommation énergétique

Les tests que nous avons menés ont porté essentiellement sur quatre cas de fonctionnement à savoir

- Mode 1 : Caméra en mode RVB, avec une résolution de 160×120 et un débit de 0.5Mbps
- Mode 2 : Caméra en mode Niveaux de gris, avec une résolution de 160×120 et un débit de 0.5Mbps
- Mode 3 : Caméra en mode RVB, avec une résolution de 320×240 et un débit de 0.5Mbps
- Mode 4 : Caméra en mode Niveaux de gris, avec une résolution de 320×240 et un débit de 0.5Mbps

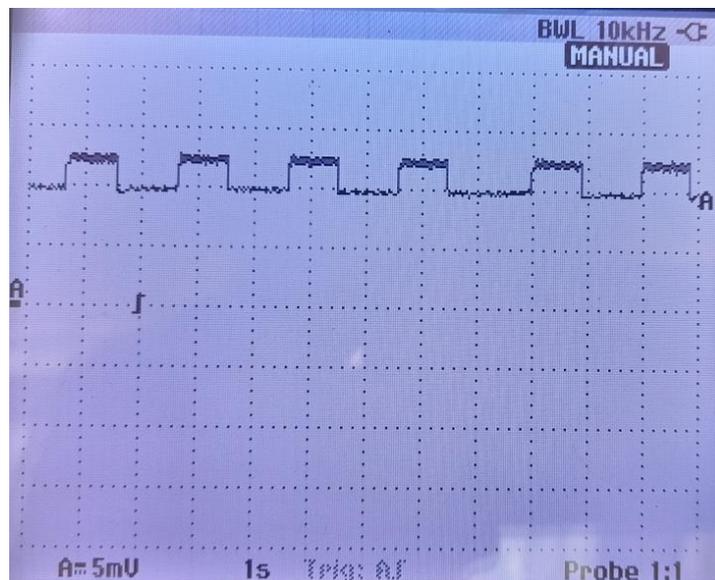


Figure 36 : Forme d'onde du courant consommé en Mode 1



Figure 37 : Courants max et min consommé en Mode 1

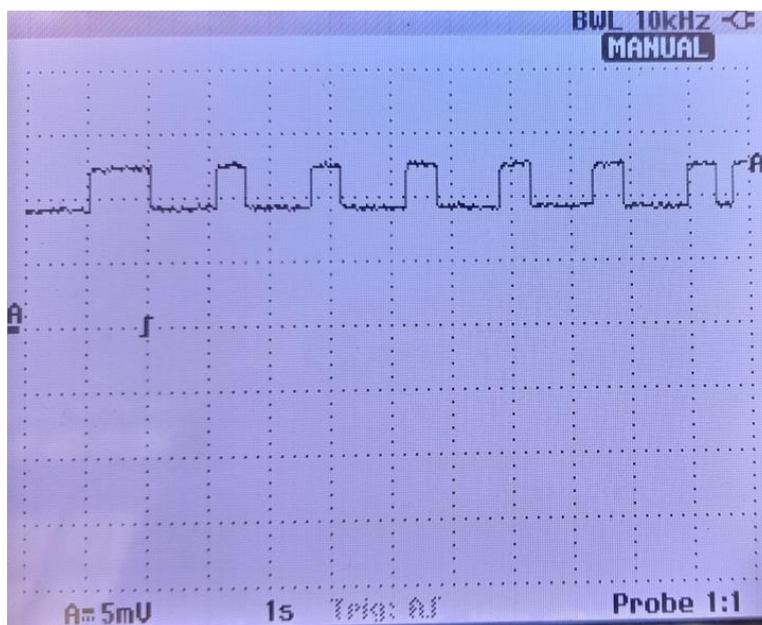


Figure 38 : Forme d'onde du courant consommé en Mode 2

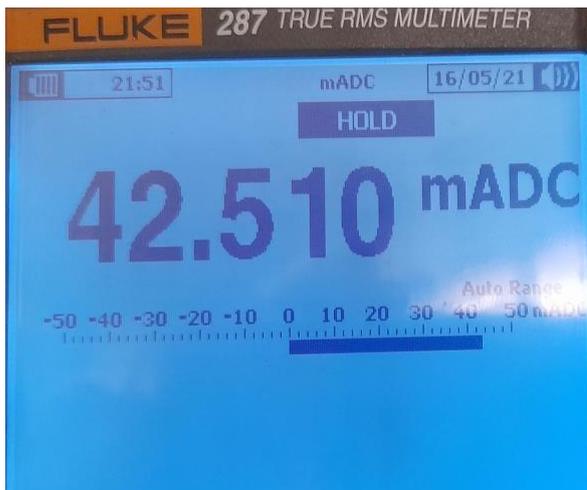


Figure 39 : Courants max et min consommé en Mode 2

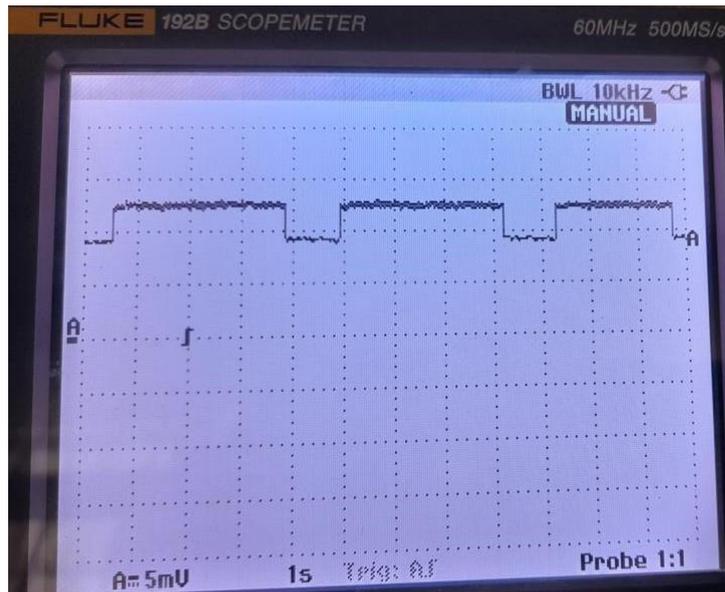


Figure 40 : Forme d'onde du courant consommé en Mode 3

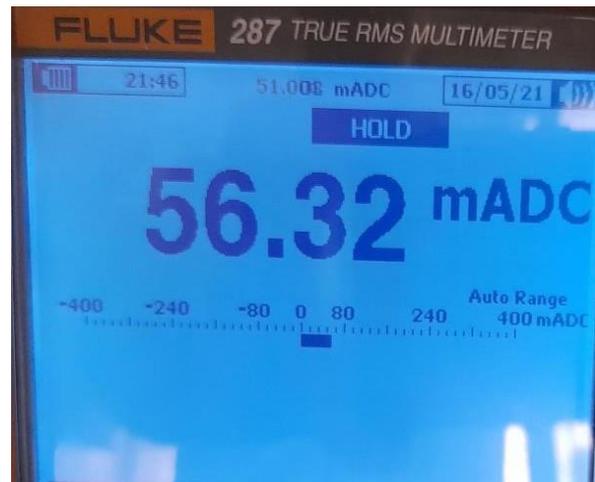
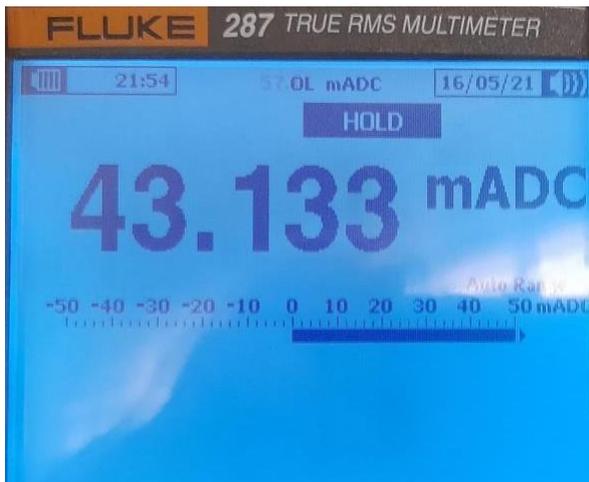


Figure 41 : Courants max et min consommé en Mode 3

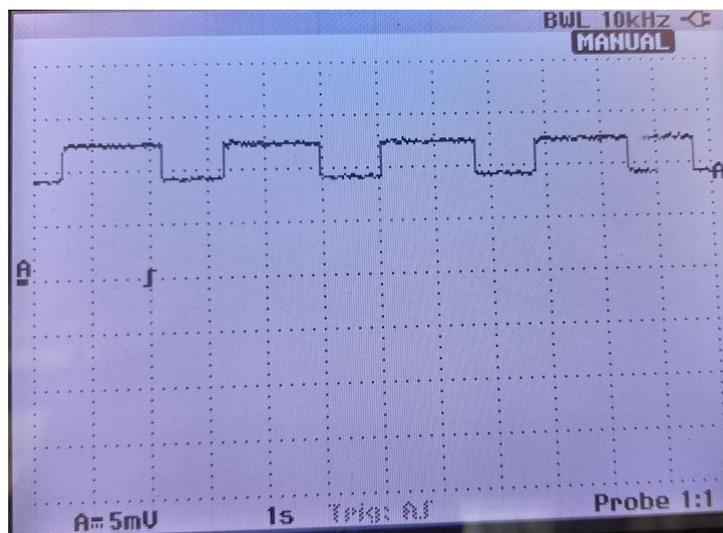


Figure 42 : Forme d'onde du courant consommé en Mode 4



Figure 43 : Courants max et min consommé en Mode 4

D'après ces résultats, nous avons déduit que le courant consommé en mode veille, de l'ordre de 42mA DC, est dû essentiellement à l'alimentation de la caméra et quelques circuits additionnels de l'Arduino. Pour le réduire davantage nous pouvons alimenter la caméra que lors de son utilisation en utilisant par exemple un interrupteur électronique commandé par l'Arduino pour permettre la connexion de la caméra à l'alimentation uniquement lors de la prise de vue. Pendant la phase de captage et de transmission de l'image le courant consommé, de l'ordre de 56 à 57mA, est le même quel que soit le mode utilisé. La différence réside dans la durée de ce mode qui dépend évidemment de la taille de l'image et aussi de son format. Un format RVB consomme presque trois fois plus qu'un mode en niveaux de gris. De même une image de taille 320×240 consomme presque quatre fois plus qu'une image de taille 160×120. Ces consommations, bien qu'elles sont relativement différentes d'un mode à l'autre, restent très élevées pour pouvoir prétendre à une autonomie énergétique intéressante pour nos nœuds capteurs. Les solutions que nous préconisons est de réduire énormément la cadence de capture et transmission d'images où une image par jour voire par semaine est largement suffisante pour notre application. D'autre part, l'intégration d'un système de compression d'images est de première nécessité dans ce cas.

7. Identification de la verdure d'une plante

L'identification de la verdure d'une plante dans un champ agricole peut être un moyen simple et souvent efficace pour reconnaître des herbes parasites par rapport aux céréales. En effet, le taux de verdure entre ces plantes est nettement différent. Ceci, peut être utilisé donc comme un moyen de surveillance durant tout le cycle de croissance du blé. Parmi les techniques fort

utilisées, pour détecter la verdure, nous avons celles basées sur un arbre de décision HSV (Hue, Saturation and Value ou teinte, saturation et valeur) [37] et/ou sur l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI ou Normalized Difference Vegetative Index) [38].

7.1 Modèle de couleur HSV :

Espace colorimétrique HSV, plus intuitif que le modèle de couleur RVB, définit un type d'espace colorimétrique, également connu sous le nom de modèle de couleur à cône hexagonal illustré à la Figure 34 (a), créé par Alvy Ray Smith en 1978. L'espace colorimétrique HSV est assez similaire à la façon dont les humains perçoivent la couleur. La teinte représente une couleur qui correspond à un angle de 0 à 360 degrés, comme illustré à la Figure 34.

Dans le modèle HSV, il existe 3 paramètres de couleur : Teinte, Saturation et Valeur. Changer le paramètre de saturation correspond à ajouter ou soustraire du blanc et changer le paramètre de valeur correspond à ajouter ou soustraire du noir. La saturation varie entre $0,0 \leq s \leq 1,0$ et est le rapport entre la pureté d'une teinte associée et sa pureté maximale à $s=1$. à s est égal à 0 est l'échelle de gris, c'est-à-dire que la diagonale du cube RVB correspond à v de l'hexacône HSV.

Espace colorimétrique HSV, plus intuitif que le modèle de couleur RVB, définit un type d'espace colorimétrique, également connu sous le nom de modèle de couleur à cône hexagonal illustré à la Figure 34 (a), créé par Alvy Ray Smith en 1978. L'espace colorimétrique HSV est assez similaire à la façon dont les humains perçoivent la couleur. La teinte représente une couleur qui correspond à un angle de 0 à 360 degrés, comme illustré à la Figure 34.

Dans le modèle HSV, il existe 3 paramètres de couleur : Teinte, Saturation et Valeur. Changer le paramètre de saturation correspond à ajouter ou soustraire du blanc et changer le paramètre de valeur correspond à ajouter ou soustraire du noir. La saturation varie entre $0,0 \leq s \leq 1,0$ et est le rapport entre la pureté d'une teinte associée et sa pureté maximale à $s=1$. à s est égal à 0 est l'échelle de gris, c'est-à-dire que la diagonale du cube RVB correspond à v de l'hexacône HSV.

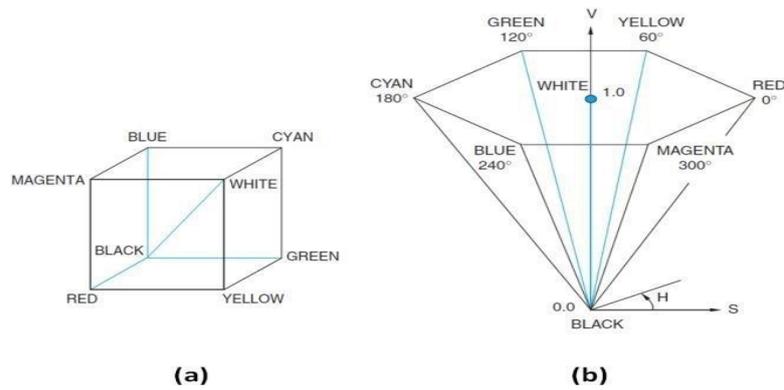


Figure 44 : (a) modèle de couleur de cube RVB et (b) modèle de couleur à cône hexagonal HSV. ‘Source d'Elsevier [39]’

7.2 L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI)

NDVI proposé par Rouse en 1974, permet de déterminer la santé de la végétation en mesurant la teneur en chlorophylle des plantes via des caméras embarquées sur des satellites, des drones ou encore des systèmes embarqués. Le NDVI est caractérisé par une grandeur physique, la réflectance, qui détermine la capacité des cultures à réfléchir la lumière. En agriculture, cet indice de végétation permet de mesurer le taux de couverture végétale et la vigueur de la culture présente sur une parcelle agricole. Le NDVI permet entre autres de détecter et de reconnaître les zones de végétation à partir d'images obtenues par satellite, par drone ou autres.

7.3 Principe de la technique de détection adoptée

L'idée que nous préconisons dans notre travail de fin d'études est d'arriver à reconnaître les herbes parasites dans des champs céréaliers en se basant sur le changement de la verdure entre ces deux plantes ou ce qu'on appelle communément le changement de végétation. HSV est utilisé pour analyser les zones de végétation, et un autre indice basé sur NDVI doit permettre de séparer les herbes parasites des champs de blé ou céréales. Nous avons effectué plusieurs simulations sur les images acquises en utilisant ces deux indices. Les résultats obtenus en termes de détection et de reconnaissance de ces deux herbes parasites plaident en faveur de la méthodologie adoptée basée sur ces deux indices. Cependant, par manque de temps, nous n'avons pas pu valider nos résultats sur un nombre suffisant d'images tests. L'intérêt de cette technique est d'abord sa capacité de détecter les herbes parasites dans des champs de blé à différents stades de l'évolution de cette céréale. D'autre part, cette méthodologie est relativement simple et avec peu de complexité calculatoire ce qui nous laisse penser à son implémentation au niveau des nœuds capteurs.

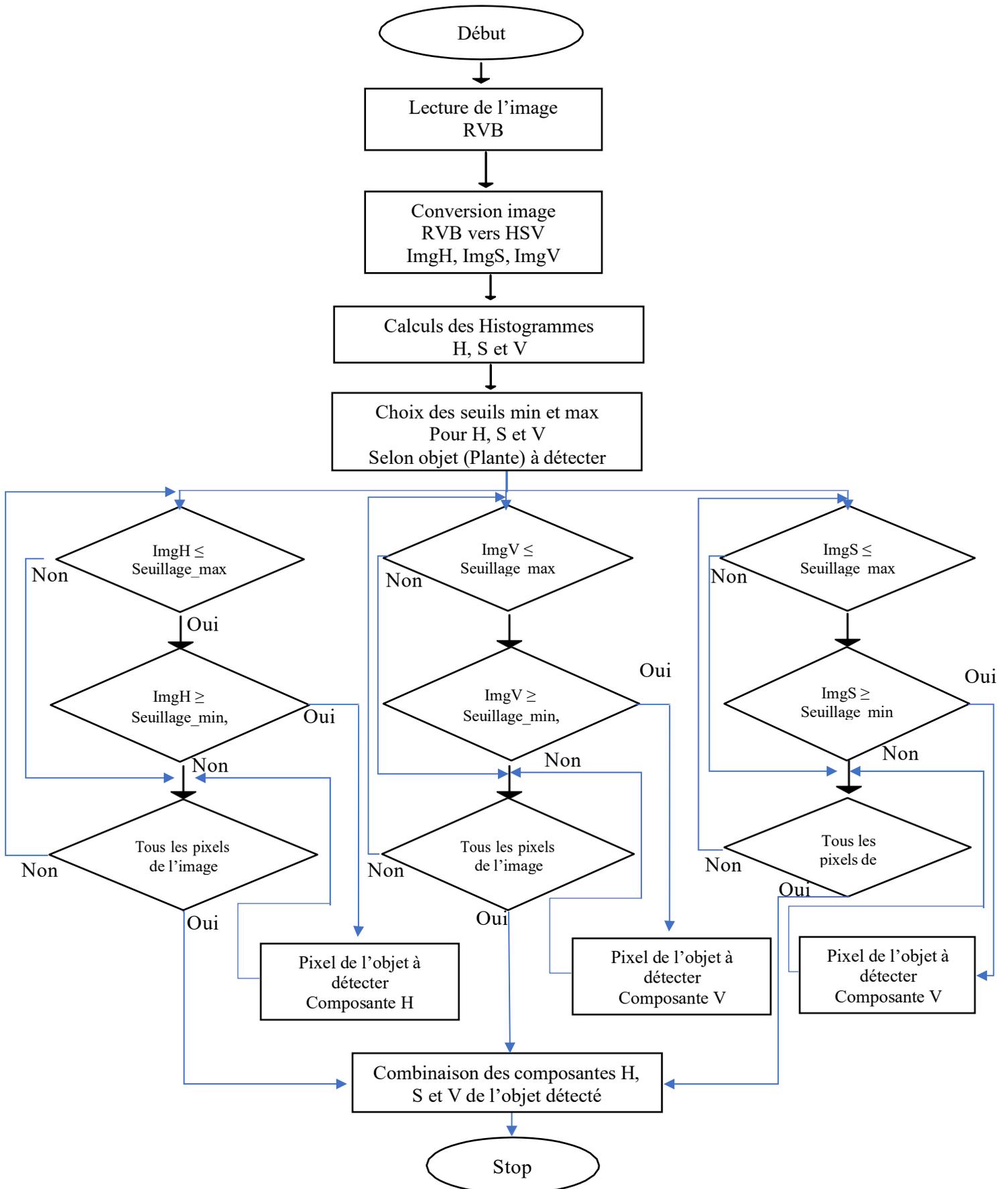


Figure 45 : Organigramme de détection de la plante par HSV

7.4 Résultats et discussion

Nous avons commencé dans un premier temps par utiliser le HSV afin de pouvoir garder que la verdure de point de vue couleur par rapport au reste des détails dans les images tests. En effet, les herbes que nous avons ciblées ont un vert particulier relativement différent de la verdure de la céréale à son début et nettement différent quand la céréale murie. L'herbe parasite ciblée sont bien évidemment la moutarde des champs compte tenu de sa nette présence dans les champs agricoles Algériens. Dans les deux figures ci-dessous nous avons représenté sous Matlab l'image originale de cette herbe, captée et transmise par le nœud capteur vers le PC pour y être traitées. Puis, nous avons représenté aussi les histogrammes des trois composantes H, S et V. Quant aux résultats, au nombre de trois images, ils correspondent successivement à des seuillages de la composante saturation par trois seuils différents. En effet, comme nous l'avons déjà évoqué dans l'espace colorimétrique HSV (teinte, saturation, valeur) la composante H ou teinte modélise le type de couleur, elle doit nous permettre dans notre cas de cibler les objets qui nous intéressent, à savoir la plante parasite, en fonction de sa couleur verte. Alors que la variation de la saturation (composante S) passe de non saturée pour représenter des nuances de gris et entièrement saturée (pas de composante blanche). Enfin, la composante V décrit la luminosité ou l'intensité de la couleur.

Enfin, notons que dans la réalité la composante H varie de 0 à 179 alors que les composantes S et V varient de 0 à 255. Dans le code Matlab que nous avons utilisé les valeurs seront normalisées où H prend des valeurs de 0 à 1 où le 1 correspond donc à 179. Même chose pour les deux autres composantes S et V.

L'intérêt de cette technique est sa simplicité de mise en œuvre et son coût calculatoire relativement faible. Même si nous l'avons utilisé au niveau d'un PC nous pensons qu'il est intéressant de l'intégrer dans le nœud capteur pour pouvoir transmettre que l'image de la plante ciblée.



Figure 46 : Image originale la Moutarde des champs

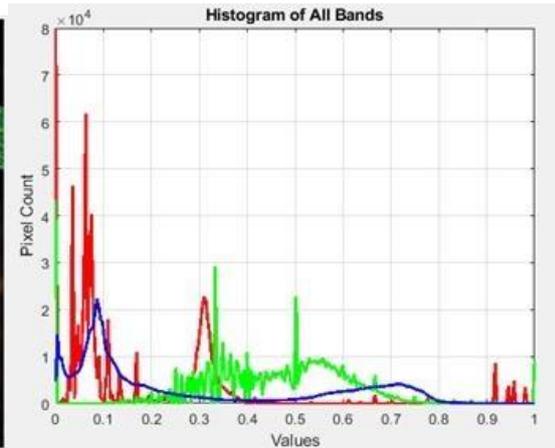


Figure 47 : Histogrammes des trois

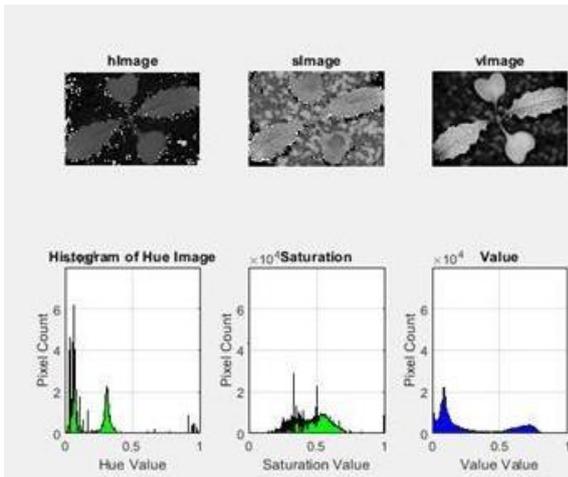


Figure 48 : Images et histogrammes des trois bandes H, S et V



Figure 49 : Image résultat avec Un seuil pour la saturation de 0.36



Figure 50 : Image résultat avec Un seuil pour la saturation de 0.10



Figure 51 : Image résultat avec Un seuil pour la saturation de 0.80

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous l'avons consacré à la partie réalisation software. En effet, la réalisation pratique du prototype du nœud de capteur que nous avons mis en œuvre doit fonctionner grâce à un double programme. Le premier, doit être implémenté au niveau de l'Arduino pour pouvoir contrôler et gérer la caméra. Ce qui nous permet d'obtenir des séquences d'images avec une cadence choisie. Le second au niveau du PC pour pouvoir réceptionner les images transmises, les afficher et comme perspectives les reconnaître. Pour la détection et la reconnaissance des herbes parasites dans des champs céréaliers, nous avons adopté une technique basée sur le modèle colorimétrique HVS et sur l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI). Les premières simulations que nous avons effectuées, malheureusement non finalisées, laissent penser à juste titre qu'il s'agit d'une méthodologie assez simple à mettre en œuvre et relativement efficace dans notre cas. Cette combinaison de deux techniques, à savoir HSV et NDVI très connues dans le domaine de la télédétection, va nous permettre de mieux détecter précocement la présence des herbes parasites dans les champs céréaliers et pouvoir y remédier d'une manière optimale dans l'espace et dans le temps.

Conclusion générale

Dans cette thèse, nous avons présenté les différentes technologies introduites dans l'agriculture afin de la développer et d'atteindre l'objectif d'augmenter la production pour répondre aux besoins de la population sans cesse en croissance.

Nous avons commencé par donner quelques informations sur la culture des céréales notamment en Algérie. Nous avons visé en particulier la culture du blé (son pourcentage ces dernières années et les obstacles les plus importants à l'augmentation de son rendement et à l'amélioration de sa qualité). Ensuite, nous nous sommes focalisés sur les mauvaises herbes les plus répandues en Algérie, compte tenu de l'impact néfaste qu'elles exercent sur la culture des céréales. A cet effet, nous avons essayé d'énumérer les moyens de combattre ce fléau tout en soulignant l'impact nuisible des engrais et des pesticides sur la santé humaine, en tant que solution chimique.

Dès lors, nous avons présenté une solution pratique, plus précisément dans l'un des domaines des WSN, qui consiste à automatiser la prise de photographies à l'aide d'un capteur sans fil muni d'une caméra miniature de type ov7670. Les réglages et la méthode de configuration de cette caméra et le mode de la transmission d'informations à distance via Bluetooth et la caméra connectée à l'Arduino Due, qui à son tour est connectée au PC via USB, en tenant compte de la conservation de l'énergie et en essayant d'assurer les coûts les plus bas.

Pour terminer nous avons expliqué la méthode d'implémentation du projet, et nous avons présenté le programme qui en dépend. Il consiste, dans une partie, à prendre la photographie à travers la caméra pilotée par l'Arduino Due, et en deuxième partie de la récupérer et de la générer au niveau du PC a aussi pour rôle de recevoir l'image et de l'identifier. De cette façon, nous pouvons détecter les herbes. La détection et la reconnaissance des herbes parasites que nous avons adopté dépend de la mesure de la couleur en utilisant le modèle colorimétrique HSV et l'indice de variation naturelle du couvert végétal (NDVI). Ces deux techniques sont bien connues dans le domaine de l'imagerie numérique et la télégestion en particulier. En utilisant l'idée de ce projet, les agriculteurs pourront découvrir les mauvaises herbes et leur emplacement et intervenir rapidement pour les traiter tout en réduisant l'utilisation inconsidérée d'engrais et ainsi augmenter la production tout en maintenant une bonne qualité.

Comme perspectives à notre projet, nous proposons d'améliorer la partie traitement numérique dans le module Arduino en introduisant notamment la compression d'images à faible coût calculatoire. Il est également intéressant d'utiliser d'autres modules de traitement plus intéressants que l'Arduino de point de vue technologique. Nous préconisons également,

d'utiliser des moyens de communication moins énergivores. La partie reconnaissance peut être également améliorée en se basant sur l'intelligence artificielle.

Références : (sites web Consultés le 15 Juin 2022)

[1] <https://www.jeuneafrique.com/1325622/economie/cereales-lalgerie-veut-compter-sur-son-stock-de->

[2] <https://www.algerie-eco.com/2021/08/03/cereales-en-algerie-la-fao-prevoit-un-recul-de-38-de-la-recolte-et-une-hausse-des-importations/>

[3] http://arabic.news.cn/2021-08/07/c_1310112782.htm

[4] <https://mmagister.univ-setif.dz/images/facultes/SNV/2012/karkour%20larbi.PDF>

[5] <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH3918.pdf>

[6] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/2323/1/Magister-FRITAS-Said.pdf>

[7] https://www.quelleestcetteplante.fr/generalites/monocotyledones_dicotyledones.php

[8] MELAKHESSOU Zohra 2007. étude de la nuisibilité directe des adventices sur la culture de pois- chiche d’hiver (*Cicer arietinum* L) variété ILC 3279, cas de *Sinapis arvensis* L .

<https://agronomie.info/fr/la-moutarde-des-champs-sinapis-arvensis-1/>

[9] <https://www.agrimaroc.ma/la-lutte-contre-les-mauvaises-herbes-des-cereales/>

[10] https://www.iaea.org/sites/default/files/26205481316_fr.pdf

[11] A.TOR; M. EMIN AYDIN; S. OZCAN, J. Analytica Chimica Acta 559 (2006) 173–180

[12] A. HAYO; M.G. VAN DER WERF, J. Ecosystems and Environment 60 (1996) 81-96

[13] M.O.S. OULD KANKOU ; thèse de doctorat Limoges, France (2004)

[14] <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH3891.pdf>

[15] <https://www.cairn.info/revue-responsabilite-et-environnement-2017-3-page-87.htm#pa3>

[16] <https://www.mccormick.it/fr/lagriculture-de-precision/#:~:text=Les%20avantages%20de%20l%27agriculture%20de%20pr%C3%A9cision,-Produire%20plus%20avec&text=Ce%20type%20d%27approche%20pr%C3%A9sente,augmenter%20la%20productivit%C3%A9%20des%20sols>

[17] <http://store-usa.arduino.cc/products/arduino-due>

[18] https://www.openhacks.com/uploadsproductos/ov7670_cmos_camera_module_rev_c.pdf

[19] <https://components101.com/modules/cmos-ov7670-camera-module-pinout-features-datasheet>

[20] <https://www.utmel.com/components/ov7670-camera-module-datasheet-specifications-and-comparison?id=797>

[21] [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Diagramme_indicatif_\(port%C3%A9e_-_d%C3%A9bit\)_de_quelques_technologies_sans_fil.png](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Diagramme_indicatif_(port%C3%A9e_-_d%C3%A9bit)_de_quelques_technologies_sans_fil.png)

[22] <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH3725.pdf>

[23] https://www.researchgate.net/figure/Architecture-de-reseau-de-capteurs_fig2_337917044

[24] <http://store-usa.arduino.cc/products/arduino-due>

[25] <https://acoptex.com/project/254/basics-project-052a-ov7670-camera-sensor-module-without-fifo-ram-at-acoptexcom/>

[26] <https://www.aranacorp.com/fr/votre-arduino-communique-avec-le-module-hc-05/>

[27] <https://www.instructables.com/How-to-Connect-OV7670-to-Arduino-Due/>

[28] <https://www.utmel.com/components/ov7670-camera-module-datasheet-specifications-and-comparison?id=797>

[29] <https://freedelivery.com.ua/arduino-100/moduli-137/kamera-vga-ov7670-sccb-i2c-iic-modul-arduino-1959.html>

[30] <https://eshopx.tk/ProductDetail.aspx?iid=561449695&pr=83.88>

[31] https://athulyasimon.github.io/project_portfolio/projects/a_camera_pic/

[32] <http://biodiv.sone.fr/spip.php?article286>

[33] <https://www.terresinovia.fr/-/colza-lutter-contre-les-cruciferes>

[34] <https://www.syngenta.fr/traitements/folle-avoine-sterile>

[35] : T. Bouguera, J. F. Diouris, J. J. Chaillout, R. Jaouadi and G. Andrieux, Energy consumption model for sensor nodes based loRa and LoRaWAN, *Sensors* 18 (2018) 2104.

[36] S. Khriji, A. Y. Kallel, S. Reedy, D. El Houssaini, I. Kammoun and O. Kanoun, Dynamic autonomous energy consumption measurement for a wireless sensor node, 2019 IEEE Int., Symp. Measurements & Networking (M&N), Catania, Italy, Italy, 2019, pp. 8–10.

[37] Wenzhu Yang Sile Wang Xiaolan Zhao Jingsi Zhang Jiaqi Feng. “Greenness identification based on HSV decision tree”. *Information Processing in Agriculture. Volume 2, Issues 3–4*, October–December 2015, Pages 149-160

[38] Haiyan Xiao, Chuang Tong, Qiang Liu. “A New Method for Discovery of Vegetation Changes Based on Satellite Ground Photographs”. 2015 8th International Congress on Image and Signal Processing (CISP 2015)

[39] Nur Ilham Aminullah Abdulqawi, Mohd Salman Abu Mansor. [Altering Height Data by Using Natural Logarithm as 3D Modelling Function for Reverse Engineering Application](#). 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.