



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

École Nationale Supérieure Agronomique
Département : Génie rural
Spécialité : Agriculture numérique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة
القسم : الهندسة الريفية
التخصص : الزراعة الرقمية

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master
THEME

**Fusion de Computer Vision, IA et de capteurs IoT pour
l'élevage de précision.**

Présenté par : **Melle. IDJER Ania Inès**
Melle. MOKRANE Nesrine

Soutenu le 30/10/2025

Devant le jury composé de :

Président : Mr. ETSOURI Salim MCA, ENSA
Promoteur : Mr. BOUDHAR Lies MCB, ENSA
Examineurs : Mr. YACHI Abdelwahid MAB, ENSA
Mr. AIT ALI YAHIA Yassine MCB, ESI

Promotion 2020-2025

Table des matières

Introduction générale	1
Étude bibliographique et État de l'art	5
Introduction bibliographique	5
I. Élevage ovin en Algérie et ses enjeux.....	6
I.1 Importance économique et sociale de l'élevage ovin.....	6
I.2 Rôle dans la sécurité alimentaire : Production de viande (agneau, mouton) et de lait.....	6
I.3 Secteur d'emploi : Génération de travail pour les bergers, vétérinaires, et commerçants ...	7
I.4 Production de cuir et de laine : Contribution à l'industrie du textile et de l'artisanat.....	8
I.4.1 Le cuir : caractéristiques et usages.....	8
I.4.2 La laine ovine : production et qualité.....	9
I.4.3 Apports à l'industrie textile.....	9
I.4.4 Impact sur l'artisanat local.....	10
I.5 Rôle dans les traditions et la culture.....	10
II. La gestion du cheptel : pratiques traditionnelles et innovations technologiques	11
II.1 Pratiques traditionnelles de gestion du cheptel	11
II.1.1 Compréhension des concepts clés.....	11
II.1.2 Pratiques observées sur le terrain.....	11
II.1.3 Atouts des systèmes traditionnels	12
II.1.4 Limites et vulnérabilités des pratiques traditionnelles.....	12
II.1.5 Évolution vers une modernisation raisonnée	12
II.2 Innovation technologique	13
II.2.1 Définitions des concepts clés	13
II.2.2 Contexte algérien	14
II.2.3 État de l'art à l'échelle mondiale	15
II.2.4 Intégration technologique et agriculture de précision.....	16
III. Utilisation de l'IA dans l'agriculture et l'élevage	17
III.1 Applications générales de l'IA en agriculture.....	17
III.1.1 Le Rôle de l'IA dans l'Agriculture Moderne	17
III.1.2 Branches et Types d'Apprentissage en IA Appliqués à l'Agriculture	17
III.1.3 Opportunités et Défis en Algérie	18
III.1.4 Innovations technologiques en agriculture algérienne.....	18
III.1.5 Impacts sur la productivité et la durabilité.....	19
III.2 Focus sur l'élevage.....	19
III.2.1 Contexte algérien	19

III.2.2	Contexte mondial	20
IV.	Solutions similaires et leurs limites	21
IV.1	Etude de cas	21
IV.1.1	Entreprise Allfex	21
IV.1.2	Entreprise moocall	23
IV.1.3	Entreprise cow manager	25
IV.1.4	Startup Connecterra.....	25
IV.1.5	Smart Sheep Breeder (SSB).....	26
IV.1.6	WSMS (Wearable Stress Monitoring System)	27
IV.2	Limites identifiées	27
V.	Technologies clés utilisées dans l'état actuel	28
V.1	Définitions des concepts clés.....	28
V.1.1	Apprentissage automatique (Machine Learning)	28
V.1.2	Analyse par séries temporelles.....	29
V.1.3	Analyse d'images par caméra	30
V.1.4	Réseau Wi-Fi dans les bâtiments d'élevage.....	30
V.2	Types de capteurs IoT utilisés en élevage	30
V.3	Méthodes d'analyse des données collectées.....	33
V.3.1	Apprentissage automatique (machine learning).....	33
V.3.2	Analyse des séries temporelles	34
V.3.3	Analyse d'images par caméra	34
V.4	Technologies de transmission de données.....	35
V.4.1	Réseaux LPWAN (LoRaWAN).....	35
V.4.2	Réseaux cellulaires (4G / 5G)	35
V.4.3	Wi-Fi dans les bâtiments d'élevage	35
V.5	Plateformes, logicielles et outils de développement dans l'élevage intelligent	36
V.5.1	Frameworks mobiles multiplateformes.....	36
V.5.2	Microcontrôleurs et programmation embarquée.....	36
VI.	Progrès récents et tendances émergentes.....	36
VI.1	Utilisation de l'apprentissage profond.....	36
VI.1.1	Le Deep-learning.....	36
VI.1.2	Les principaux modèles de Deep Learning.....	37
VI.1.3	Le deep learning dans l'élevage.....	42
VI.2	Big data.....	44

VI.2.1	Definition de big Data.....	44
VI.2.2	Centralisations des données	45
VI.2.3	De la donnée brute à la recommandation : le traitement algorithmique	45
VI.2.4	Cloud, interopérabilité et partage multi-acteurs.....	45
VI.3	Systèmes d’alerte en temps réel	46
VI.3.1	Définition et objectifs.....	46
VI.3.2	Fonctionnement de ces systèmes	47
VI.4	Focus sur la durabilité	48
VI.4.1	Durabilité et enjeux environnementale	48
VI.4.2	Solutions visant à réduire l’impact environnemental de l’élevage :	49
	Conclusion bibliographique	50
	MATERIELS ET METHODES	50
I.	Introduction	51
II.	Parties matérielles du système	52
II.1	Description du système complet.....	52
II.1.1	Vue d’ensemble de l’architecture	53
II.2	La carte ESP32	54
II.2.1	Modes de fonctionnement et communication avec un hôte	58
II.2.2	Modes avancés d’économie d’énergie	58
II.2.3	Interfaces matérielles et intégration de capteurs	59
II.3	Alimentation des modules (batterie lithium-polymère).....	59
II.3.1	Dimensionnement de la capacité :	60
II.3.2	Optimisation de l’autonomie.....	60
II.3.3	Recharge et intégration avec un convertisseur.....	60
II.3.4	Convertisseur de tension et gestion de l’alimentation	60
II.4	Description des modules colliers:.....	61
II.4.1	Capteur de mouvement MPU-6050	62
II.4.2	Capteur de fréquence cardiaque MAX30102.....	64
II.4.3	Capteur de fréquence respiratoire INMP441	64
II.4.4	Capteur de température corporelle DS18B20	66
II.4.5	Options de capteurs et alternatives disponibles	67
II.4.6	Réalisation du collier connecté	70
II.4.7	Intégration des composants électroniques dans le collier connecté	72
II.5	Description du module de surveillance environnementale.....	72

II.5.1	Capteur MQ-137	73
II.5.2	Module ENS160 + AHT2x	75
III.	Parties software du système.....	78
III.1	Logiciels et environnements de développement.....	78
III.1.1	Arduino IDE.....	78
III.1.2	Visual Studio Code (VS Code).....	78
III.1.3	Flutter SDK.....	78
III.1.4	Thingsboard	78
III.1.5	Python	78
III.1.6	Bibliothèques Python :.....	78
III.1.7	Roboflow.....	80
III.1.8	YOLOv8 (You Only Look Once).....	80
III.2	Conception et développement du système de vision par ordinateur pour le suivi des moutons 80	
III.2.1	Description du montage électronique	80
III.2.2	Extraction et sélection des images	81
III.2.3	Annotation et préparation des données	81
III.2.4	Constitution finale du jeu de données	86
III.2.5	Processus de détection et de suivi des moutons par vision artificielle (YOLOv8).....	86
III.3	Programmation du module de surveillance environnementale	90
III.3.1	Importation des bibliothèques.....	90
III.3.2	Initialisation des composants	91
III.3.3	Boucle principale de lecture.....	92
III.3.4	Traitement, formatage et transmission des données	92
III.4	Programmation du module de surveillance physiologique	93
III.4.1	Importation des bibliothèques.....	93
III.4.2	Initialisation des composants	94
III.4.3	Boucle principale de lecture et de traitement.....	94
III.4.4	Transmission et supervision des données	94
III.5	Gated Recurrent Unit (GRU).....	95
III.5.1	Principe général.....	96
III.5.2	Structure mathématique	96
III.5.3	Comparaison avec le LSTM	97
III.5.4	Application à la surveillance intelligente du cheptel ovine	97

III.5.5	Fonctionnement du modèle GRU (9 capteurs) pour la prédiction de l'état physiologique	98
III.5.6	Fonctionnement du modèle d'intelligence artificielle basé sur un réseau neuronal récurrent (RNN)	100
III.6	La plateforme ThingsBoard	103
III.6.1	Installation du serveur locale	104
III.6.2	Création des appareils (devices)	108
III.6.3	Création de Dashboard	110
III.6.4	Création d'application Android	113
IV.	Conclusion	123
	RESULTATS ET DISCUSSION	123
I.	Introduction	124
II.	Résultats de la collecte de données capteurs	125
II.1	Capteurs du collier intelligent	125
II.1.1	Analyse des paramètres affichés	127
II.1.2	Interprétation globale	127
II.1.3	Validation expérimentale du collier connecté	128
II.2	Capteurs environnementaux (intérieur et extérieur de l'enclos)	128
II.2.1	Tableau environnemental intérieur	129
II.2.2	Tableau environnemental extérieur	130
II.2.3	Interpretation globale	131
III.	Évaluation et choix du modèle d'apprentissage pour la prédiction	131
III.1	Les résultats du modèle TinyRNN_TRM	131
III.1.1	Analyses graphiques des performances du model RNN :	132
III.2	Les résultats du modèle GRU	133
III.2.1	Analyses graphiques des performances	133
III.2.2	Choix du modèle GRU	136
III.2.3	Visualisation et interprétation sur ThingsBoard	137
IV.	Résultats du modèle de détection visuelle YOLOv8	138
IV.1	Interprétation par classe de couleur	139
IV.2	Analyses graphiques des performances	140
IV.2.1	Courbe F1 – Confiance :	140
IV.2.2	Matrice de confusion	141
V.	Résultats du suivi visuel et de la détection automatique des déplacements :	142

V.1	Suivi des trajectoires.....	143
V.2	Système d’alerte automatisé	144
V.3	Mesure du temps passé à la mangeoire et à l’abreuvoir :.....	145
V.4	Visualisation et interprétation sur ThingsBoard.....	145
V.4.1	Temps passé à la mangeoire.....	148
V.4.2	Temps passé à l’abreuvoir.....	148
VI.	Application mobile SheepTracker	148
VI.1	Page d’accueil et interface principale	149
VI.2	Tableau de bord environnemental intérieur.....	150
VI.3	Tableau de bord environnemental extérieur	152
VI.4	Données physiologiques	154
VI.5	Bilan global de l’application mobile	156
	CONCLUSION GENERALE	157
	Conclusion générale.....	158
	REFERENCES	159

Résumé : L'élevage ovin joue un rôle essentiel dans l'économie agricole algérienne, notamment dans les régions steppiques et sahariennes où il constitue une source majeure de revenus pour les éleveurs, mais il demeure confronté à des difficultés liées aux sécheresses, aux maladies, à la dégradation des parcours et à une gestion encore largement traditionnelle. Ce mémoire présente la conception d'un système intelligent de surveillance des moutons basé sur l'Internet des objets et l'intelligence artificielle, visant à améliorer la détection précoce des anomalies physiologiques et comportementales afin de réduire les pertes et d'optimiser la productivité. Le dispositif comprend un collier connecté intégrant des capteurs de température corporelle, de fréquence cardiaque, de SpO₂ et de mouvement, reliés à une carte ESP32 assurant la collecte et la transmission des données. Celles-ci sont envoyées vers un Raspberry Pi 5, qui joue le rôle de serveur central du système. Ce micro-ordinateur héberge la plateforme ThingsBoard, où les informations sont stockées, analysées et visualisées en temps réel. Parallèlement, des capteurs environnementaux mesurent la température, l'humidité, le CO₂, l'ammoniac et les COV afin d'évaluer le confort du milieu d'élevage. Un modèle de réseau de neurones récurrents (GRU) a été développé pour classifier les états physiologiques des animaux avec une précision de 97,8 %, tandis qu'un modèle YOLOv8n permet la détection et le suivi visuel des moutons à l'aide de LED colorées, atteignant un mAP@0.5 de 0,988, gage d'une grande fiabilité. L'ensemble est connecté à une application mobile développée sous Flutter, qui offre à l'éleveur la possibilité de suivre la santé et le comportement de chaque mouton en temps réel et de recevoir des alertes automatiques. Les résultats expérimentaux confirment la stabilité du réseau, la précision des mesures et la performance du traitement local sur le Raspberry Pi. Cette solution constitue une avancée majeure vers une gestion intelligente, durable et automatisée des troupeaux ovins en Algérie, favorisant le bien-être animal et la modernisation des pratiques d'élevage.

Mots-clés : Élevage ovin ; Internet des objets (IoT) ; Intelligence artificielle (IA) ; Surveillance animale ; Capteurs connectés ; YOLOv8 ; Détection précoce.

ملخص: تلعب تربية الأغنام دورًا أساسيًا في الاقتصاد الزراعي الجزائري، وخاصة في المناطق السهبية والصحراوية، حيث تُعد مصدرًا رئيسيًا للدخل بالنسبة للمربين. ومع ذلك، تواجه هذه الشعبة العديد من التحديات المرتبطة بالجفاف، والأمراض، وتدهور المراعي، بالإضافة إلى الاعتماد الكبير على أساليب إدارة تقليدية. يُقدّم هذا البحث تصميم نظام ذكي لمراقبة الأغنام يعتمد على إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي، يهدف إلى تحسين الكشف المبكر عن الاضطرابات الفسيولوجية والسلوكية من أجل تقليل الخسائر وتحسين الإنتاجية. يتكوّن النظام من طوق ذكي مزوّد بحساسات تقيس درجة حرارة الجسم، ومعدل نبضات القلب، مستوى تشبع الأكسجين في الدم، والحركة. هذه الحساسات متصلة بالمتحكم الدقيق الذي يتولى جمع البيانات وإرسالها إلى Raspberry Pi 5 الذي يقوم بدور الخادم المركزي للنظام. يستضيف هذا الحاسوب المصغر منصة Thingsboard حيث تُخزّن البيانات وتُحلّل وتُعرض في الزمن الحقيقي. وفي الوقت نفسه، تقوم مجموعة من الحساسات البيئية بقياس درجة الحرارة، الرطوبة، غاز ثاني أكسيد الكربون، المركبات العضوية المتطايرة، والأمونيك بهدف تقييم ظروف الراحة في بيئة التربية. تم تطوير نموذج شبكات عصبية متكررة (GRU) لتصنيف الحالات الفسيولوجية للحيوانات بدقة بلغت 97.8%، في حين يتيح نموذج YOLOv8n الكشف والمتابعة البصرية للأغنام باستخدام أضواء LED ملوّنة، محققًا $mAP@0.5 = 0.988$ ، مما يدل على مستوى عالٍ من الموثوقية. يرتبط النظام بتطبيق محمول مطوّر بإطار Flutter، يُمكن المربي من متابعة صحة وسلوك كل رأس من القطيع في الزمن الحقيقي واستقبال

تنبيهات تلقائية عند ظهور أي خلل. تؤكد النتائج التجريبية على استقرار الشبكة، ودقة القياسات، وكفاءة المعالجة المحلية على Raspberry تُعدّ هذه الحلول خطوة متقدمة نحو إدارة ذكية، ومستدامة، ومؤتمنة لقطاع الأغنام في الجزائر، تسهم في تحسين رفاهية الحيوان وتحديث ممارسات التربية.

الكلمات المفتاحية: تربية الأغنام، تربية الأغنام إنترنت الأشياء (IoT)، الذكاء الاصطناعي (IA)، المراقبة الحيوانية أجهزة الاستشعار المتصلة، YOLOv8، الكشف المبكر.

Abstract: Sheep farming plays a vital role in Algeria's agricultural economy, especially in steppe and Saharan regions where it represents a major source of income for breeders. However, this sector still faces significant challenges related to drought, diseases, pasture degradation, and traditional herd management methods. This dissertation presents the design of an intelligent sheep monitoring system based on the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI), aiming to detect physiological and behavioral anomalies early, reduce animal losses, and optimize productivity. The proposed device consists of a smart collar integrating sensors for body temperature, heart rate, SpO₂, and motion, all connected to an ESP32 board that collects and transmits the data. The information is sent to a Raspberry Pi 5, which serves as the central server of the system. This microcomputer hosts the ThingsBoard platform, where data are stored, analyzed, and visualized in real time. At the same time, environmental sensors monitor temperature, humidity, CO₂, ammonia, and VOCs to assess the comfort of the breeding environment. A Gated Recurrent Unit (GRU) neural network model was developed to classify the physiological states of animals with an accuracy of 97.8%, while a YOLOv8n model ensures visual detection and tracking of sheep using color-coded LEDs, achieving an mAP@0.5 of 0.988, confirming high reliability. The entire system is connected to a mobile application developed with Flutter, allowing breeders to monitor each sheep's health and behavior in real time and receive automatic alerts. Experimental results validate the stability of the network, the precision of measurements, and the efficient local processing performed by the Raspberry Pi. This solution represents a major step toward intelligent, sustainable, and automated management of sheep farming in Algeria, promoting animal welfare and modernizing livestock practices.

Keywords: Sheep farming, Internet of Things (IoT); Artificial intelligence (AI); Animal monitoring; Connected sensors; YOLOv8; Early detection.