



HAL
open science

**Analyse d'image pour déterminer l'effet des enrichissements sur les comportements de chèvres.
(Stage réalisé du 25/03/2024 au 16/08/2024)**

Pauline Gauthier

► **To cite this version:**

Pauline Gauthier. Analyse d'image pour déterminer l'effet des enrichissements sur les comportements de chèvres. (Stage réalisé du 25/03/2024 au 16/08/2024). Vision par ordinateur et reconnaissance de formes [cs.CV]. 2024. hal-04698879

HAL Id: hal-04698879

<https://hal.inrae.fr/hal-04698879v1>

Submitted on 16 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Spécialité Agronomie

Dominante Ingénierie De l'Élevage

Stage de fin d'étude

Formation Ingénieur Institut Agro Dijon

Formation Initiale

Analyse d'image pour déterminer l'effet des enrichissements sur les comportements de chèvres

(Stage réalisé du 25/03/2024 au 16/08/2024)

Pauline GAUTHIER

Mohamed BEN AOUDA

Enseignant référent

Masoomah TAGHIPOOR, Mathieu BONNEAU

Tuteurs de stage

Organisme d'accueil :

UMR MoSAR

INRAE-Centre Île de France Versailles-Saclay

22 Place de l'Agronomie,

91120 Palaiseau

Année universitaire : 2023-2024

Nombre de pages : 108

Année de soutenance : 2024

Remerciements

Je remercie sincèrement mes deux encadrants de stage, Masoomah et Mathieu, pour leur accompagnement, leur aide, leurs conseils et leur patience tout au long de cette expérience. Une mention spéciale à Mathieu pour m'avoir accueillie deux semaines en Guadeloupe.

Je remercie aussi Mathilde, ma voisine de bureau, dont les conseils et les connaissances en éthologie m'ont été d'une grande aide.

Merci aussi à Chloé, ma binôme de projet, pour son soutien et son aide, que ce soit à la chèvrerie ou au bureau.

Je remercie Alexandra et toute l'équipe de la chèvrerie expérimentale de Grignon. Leur assistance précieuse et leur patience, notamment pour le placement des caméras et lors de mes nombreux déplacements à la chèvrerie, ont contribué au bon déroulement des manipulations.

Je remercie également Jocelyn pour m'avoir permis d'accéder à Colab IA et pour m'avoir dépanné (de nombreuses fois) sur le serveur de calcul.

Enfin, je tiens à remercier M. Ben Aouda pour son encadrement tout au long de ce stage en tant que professeur référent.

Résumé

Le but de cette expérimentation est d'évaluer si l'intelligence artificielle peut détecter les comportements des chèvres sur aire paillée et permettre d'observer l'effet des enrichissements sur leurs comportements et leur distribution spatiale. Les enrichissements visent à réduire la pauvreté du milieu en favorisant des comportements comme l'exploration, la stimulation cognitive ou la recherche alimentaire dans un objectif d'amélioration du bien-être. Des enrichissements ont été mis en place durant cinq semaines. L'algorithme de détection utilisé est YOLOv8. Des zones spécifiques ont été définies puis matérialisées à l'aide de matrices. Un géoréférencement a été effectué. Enfin, des validations du modèle ont été menées pour s'assurer de la précision du géoréférencement et des détections. Les résultats montrent que la dynamique spatiale et le temps passé dans les zones diffèrent pendant l'enrichissement, indiquant une modification comportementale des chèvres. Une différence d'activité est également observée entre les deux lots. On constate une routine quotidienne marquée par des pics d'activité autour de la distribution d'aliments. L'intelligence artificielle s'est révélée efficace pour analyser ces comportements, bien que des améliorations soient encore nécessaires pour une utilisation optimale. Pour améliorer de futures analyses comportementales, il serait pertinent, pour réduire l'occlusion, d'ajuster la taille du troupeau et l'emplacement des caméras et de mieux répartir les enrichissements dans le parc.

Mots clés : YOLOv8, Python, Analyse d'images, Enrichissements

Abstract

The aim of this experiment is to assess whether artificial intelligence can detect the behaviour of goats on straw bedded pack and observe the effect of enrichment on their behaviour and spatial distribution. The aim of enrichment is to reduce the poverty of the environment by encouraging behaviours such as exploration, cognitive stimulation and foraging, with a view to improving well-being. Enrichments were set up for five weeks. The detection algorithm used was YOLOv8. Specific zones were defined and then marked out using matrices. Georeferencing was carried out. Finally, the model was validated to ensure the accuracy of the georeferencing and the detections. The results show that the spatial dynamics and time spent in the areas differ after enrichment, indicating a change in the goats' behaviour. A difference in activity was also observed between the two batches. A daily routine marked by peaks of activity around feed distribution was observed. Artificial intelligence proved effective in analysing these behaviours, although further improvements are still required for optimal use. In order to improve future behavioural analyses, it would be appropriate to reduce obstruction by adjusting the size of the herd and the location of the cameras, and to better distribute the enrichment in the pen.

Keywords : YOLOv8, Python, Image analysis, Enrichments

Liste des abréviations, sigles et acronymes

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

ASSET : Agroécologie, Génétique et Systèmes d'Élevage Tropicaux

AWIN : *Animal Welfare INdicators*

cm : centimètre

fps : *frame per second*

GPU : *Graphical Processing Unit*

h : heure

INRAe : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

IOU : *Intersection Over Union*

m : mètre

min : minute

MoSAR : Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants

NMS : *Non-Maximum Suppression*

p : pixel

RFID : *Radio Frequency Identification*

ROI : *Region of Interest*

To : téraocté

UMR : Unité Mixte de Recherches

UR : Unité de Recherches

YOLO : *You Only Live Once*

Sommaire

Introduction.....	14
1. État de l'art.....	16
1.1. Définition et évolution de la notion de bien-être animal.....	16
1.2. L'enrichissement du milieu.....	18
1.2.1. Définition de l'enrichissement du milieu.....	18
1.2.2. Pertinence de l'utilisation d'enrichissement pour les animaux d'élevage.....	20
1.2.3. L'utilisation d'enrichissements chez les chèvres laitières.....	20
1.3. Protocoles d'évaluation du bien-être animal.....	22
1.4. L'élevage de précision comme outil au service de l'étude des comportements.....	24
1.4.1. Définition de l'élevage précision.....	24
1.4.2. L'apport de l'intelligence artificielle à l'étude du comportement.....	24
1.3.3. Utilisation de l'élevage de précision dans le cadre de la détection de comportement.....	26
1.3.4. L'utilisation de YOLO en analyse d'image.....	28
2. Problématique et hypothèses.....	30
3. Matériel et méthodes.....	32
3.1. Présentation de l'expérimentation.....	32
3.1.1. Présentation du dispositif expérimental.....	32
3.1.2. Phases de l'expérimentation.....	32
3.1.3. Mise en place des caméras et stockage des vidéos.....	34
3.2. Présentation de l'algorithme de détection et de tracking.....	34
3.2.1. Utilisation de l'algorithme YOLOv8 dans le cadre de la détection des chèvres.....	34
3.2.1.1. Annotation d'images.....	36
3.2.1.2. Phase d'entraînement.....	36
3.2.2. Tracking individuel.....	38
3.3. Algorithme final.....	38
3.4. Géoréférencement des positions des chèvres.....	44
3.4.1. Prise de points de repère et coordonnées dans un repère orthonormé.....	44
3.4.2. Correspondance des coordonnées réelles avec les coordonnées en vidéo.....	46
3.5. Validation du modèle.....	46
3.6. Traitement des données.....	48
4. Résultats.....	50
4.1. Validation.....	50
4.1.1. Validation des détections de chèvres.....	50
4.1.2. Validation des zones.....	52
4.2. Dynamique spatiale des lots.....	56
.....	57
4.3. Dynamique de l'activité des lots.....	60
5. Discussion, limites et perspectives.....	76
5.1. Discussion.....	76
5.1.1. Validation.....	76
5.1.2. Dynamiques du troupeau.....	78
5.2. Limites et Perspectives.....	84
Conclusion.....	86
Bibliographie.....	90
Annexe	106

Index des figures

Figure 1 : Présentation des différents colliers utilisés au cours de l'expérimentation.....	34
Figure 2 : Déroulé de l'expérimentation (les chiffres dans les flèches correspondent à la numérotation des semaines lors de chaque phase).....	34
Figure 3 : Annotation d'images avec le logiciel VGG Image Annotator.....	38
Figure 4 : Étapes de l'algorithme YOLOv8.....	38
Figure 5 : Zones et détections de chèvres.....	40
Figure 6 : Modélisation des zones à l'aide de matrices.....	42
Figure 7 : Formule de la précision.....	48
Figure 8 : Formule du recall.....	48
Figure 9 : Formule du F-Score.....	48
Figure 10 : Formule de la durée.....	50
Figure 11 : Formule de la distance euclidienne.....	50
Figure 12 : Matrice de confusion du lot enrichi (avant enrichissement) La somme des éléments d'une ligne correspond au total des données réelles dans pour cette zone. La somme des éléments d'une colonne correspond au total des données qui ont été prédites pour cette zone...	54
Figure 13 : Matrice de confusion du lot enrichi (pendant enrichissement).....	54
Figure 14 : Matrice de confusion du lot non enrichi.....	56
Figure 15 : Carte du pourcentage de détections lot enrichi (avant enrichissement).....	58
Figure 16 : Carte du pourcentage de détections du lot enrichi (pendant enrichissement).....	58
Figure 17 : Carte du pourcentage de détections du lot non enrichi.....	58
Figure 18 : Comparaison de la distance au plus proche voisin du lot enrichi avant et pendant enrichissement.....	60
Figure 19 : Distance au plus proche voisin (en m) selon l'heure de la journée.....	60
Figure 20 : Durées moyennes horaires pour la zone Alimentation selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement, en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi).....	62
Figure 21 : Durées moyennes horaires pour la zone Eau selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement, en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi).....	62
Figure 22 : Durées moyennes horaires pour la zone Autre selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement, en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi).....	62
Figure 23 : Durées moyennes horaires pour la zone Pierre à sel selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement, en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi).....	62
Figure 24 : Durées moyennes horaires pour la zone Râtelier selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement, en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi).....	64
Figure 25 : Durées moyennes horaires pour la zone Brosse selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement, en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi).....	64
Figure 26 : Durées moyennes horaires pour la zone Nouvelle Brosse selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement).....	64

Figure 27 : Durées moyennes horaires pour la zone Croix selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement)).....	64
Figure 28 : Durées moyennes horaires pour la zone Cabane selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement)).....	66
Figure 29 : Durées moyennes horaires pour la zone Podium selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement)).....	66
Figure 30 : Durées moyennes horaires pour la zone Cube selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement)).....	66
Figure 31 : Durées moyennes horaires pour la zone Balle à foin selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement)).....	66
Figure 32 : Vitesse moyenne (en m/s) selon l'heure de la journée.....	68
Figure 33 : Comparaison de la vitesse moyenne du lot enrichi avant et pendant enrichissement.	68
Figure 34 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Alimentation pour le lot enrichi et non enrichi.....	70
Figure 35 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Eau pour le lot enrichi et non enrichi.....	70
Figure 36 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Brosse pour le lot enrichi et non enrichi.....	72
Figure 37 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Pierre à sel pour le lot enrichi et non enrichi.....	72
Figure 38 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Râtelier pour le lot enrichi et non enrichi.....	72
Figure 39 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Alimentation pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement.....	74
Figure 40 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Eau pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement.....	74
Figure 41 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Pierre à sel pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement.....	76
Figure 42 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Brosse pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement.....	76
Figure 43 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Râtelier pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement.....	76

Index des tableaux

Tableau 1: Zones définies dans le cadre de cette expérimentation (les zones en italiques correspondent aux enrichissements).....	42
Tableau 2 : Éthogramme des comportements pour chacune des zones.....	48
Tableau 3 : Précision, recall et F-score des différentes conditions expérimentales.....	52
Tableau 4 : Présentation des résultats des tests de Student ($\alpha = 0,05$) pour le lot enrichi (avant enrichissement) et non enrichi.....	70
Tableau 5 : Présentation des résultats des tests de Student ($\alpha = 0,05$) pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement.....	74

Introduction

Le stage s'est déroulé au sein de l'Unité Mixte de Recherches 0791 Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants (UMR MoSAR, AgroParisTech/INRAe/Université Paris-Saclay) ainsi qu'à l'Unité de Recherches 0143 en Agroécologie, Génétique et Systèmes d'Élevage Tropicaux (UR ASSET, INRAe).

Le stage s'est déroulé lors d'une expérimentation réalisée dans le cadre du projet WAIT4. Ce projet a pour but de travailler sur l'intelligence artificielle et les nouvelles technologies afin d'évaluer des caractères pertinents du bien-être animal en contexte de transition agro-écologique. Elle peut générer de potentiels effets positifs liés aux modifications des pratiques d'élevage mais aussi de nouveaux effets négatifs liés à des environnements d'élevage plus fluctuants en raison du changement climatique. Ainsi, les technologies numériques pourraient offrir de nouvelles opportunités pour mesurer les composantes du bien-être animal en temps réel. Le projet a pour but d'identifier et d'analyser des indicateurs du bien-être animal dans différents environnements et en réponse à diverses pratiques agroécologiques. Cela pourra être réalisé grâce au développement d'algorithmes d'intelligence artificielle. Ce projet permettra aussi de définir des signaux précoces de détérioration ou d'amélioration du bien-être animal ainsi que de passer d'une obligation de moyens dans la prise en compte du bien-être animal à une obligation de résultats.

L'expérimentation a duré dix semaines et portait sur la mise à disposition d'enrichissement pour des chèvres laitières. L'expérimentation était composée de trois axes. Le premier était l'utilisation de techniques d'éthologie (*scan sampling*, *observation all occurrence*) afin de caractériser les comportements des chèvres. Le second et le troisième axe utilisaient l'intelligence artificielle pour caractériser les comportements. Le second axe portait, en particulier, sur l'utilisation de capteurs accélérométriques. Enfin, le troisième axe portait sur la caractérisation des comportements des chèvres laitières à l'aide de l'analyse d'image. Le stage se concentrait principalement sur ce troisième axe et le rapport de stage ne détaillera que ce troisième axe. Le but de ce stage est exploratoire. Celui-ci avait pour but de mettre en place une méthode d'analyse d'image qui n'avait jamais été essayé sur la chèvrerie expérimentale de Thiverval-Grignon et d'essayer de constater si l'effet des enrichissements sur le troupeau pouvaient être visible avec cette méthode.

Tout d'abord, un état de l'art sera réalisé. Cela conduira aux hypothèses et à la problématique. Ensuite, le matériel et les méthodes utilisées pour conduire l'expérimentation seront expliqués. Enfin, les résultats seront présentés et leur discussion clôturera ce rapport.

1. État de l'art

1.1. Définition et évolution de la notion de bien-être animal

Il existe de multiples définitions du bien-être animal.

Certaines définitions se concentrent principalement sur l'aspect lexical, fournissant ainsi une explication du terme « bien-être animal ». Selon Hugues (1976), le bien-être est un état d'harmonie entre l'animal et son environnement, aboutissant à la complète santé mentale et physique. Il ne précise cependant pas ce qu'il entend par le terme « harmonie ».

D'autres définitions adoptent une approche plus explicative, mettant en lumière les mécanismes impliqués dans le bien-être de l'animal. Broom (1987), dans sa définition du bien-être animal, propose d'ajouter la notion d'adaptation au bien-être animal. Si l'animal peut s'adapter facilement (par exemple sans dépenses énergétiques importantes), alors le niveau de bien-être de l'animal sera plus élevé que s'il doit utiliser de nombreuses ressources. De même, d'autres définitions se basent plutôt sur les émotions et les sensations ressenties par l'animal. C'est par exemple le cas de la définition de Duncan (2005). Selon lui, le bien-être correspond à une absence de sensations négatives fortes (appelées « douleur ») et à la présence de sensations positives (« plaisir »). Enfin, on peut aussi noter l'existence de définitions opérationnelles qui permettent d'identifier des points de contrôle à vérifier pour s'assurer du bien-être de l'animal. La définition du Rapport Brambell (1965) puis du *Farm Animal Welfare Council* (2012) met en avant cinq points de contrôle (appelés cinq libertés) : l'absence de faim et soif, le confort physique, l'absence de douleur, de blessures ou de maladie, l'absence de détresse ainsi que la possibilité, pour l'animal, d'exprimer les comportements normaux de son espèce.

Avec l'évolution de la notion de bien-être animal, le concept de *Positive Animal Welfare* (Lawrence, Vigors et Sandøe, 2019 ; Rault *et al.*, 2020) a été intégré à la définition du bien-être animal. Le *Positive Animal Welfare* élargit la définition traditionnelle du bien-être animal en mettant l'accent sur la promotion d'expériences positives pour les animaux et non plus seulement sur l'absence de souffrance et de stress. La définition du bien-être animal de l'ANSES prend en compte cette notion de *Positive Animal Welfare*. En effet, l'ANSES, en 2018, définit de la manière suivante le bien-être animal : « *Le bien-être d'un animal est l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal* » (ANSES, 2018). Cette définition correspond davantage aux attentes sociétales actuelles des consommateurs (*European Cooperation in Science and Technology (COST)*, 2024). En effet, le bien-être animal est devenu au fil du temps une préoccupation sociétale majeure comme le montre un sondage de 2015 organisé par la commission européenne. 62% des sondés français considèrent qu'il est important de protéger le bien-être des animaux d'élevage et 55% des sondés français considèrent que le bien-être des animaux d'élevage devrait être plus protégé qu'il ne l'est actuellement (Commission Européenne, 2015). En 2023, 84% des Européens estiment que le bien-être des animaux

d'élevage devrait être mieux protégé dans leur pays qu'il ne l'est actuellement. De même, plus de 90% des sondés estiment que les pratiques d'élevage devraient obéir à des exigences éthiques fondamentales (veiller à ce que les animaux disposent de suffisamment d'espace, de nourriture et d'eau, vivent dans un environnement adapté à leurs besoins et soient manipulés correctement) (Commission Européenne, 2023).

Cependant, même si la définition de l'ANSES prend en compte l'état physique et l'état mental positif des animaux, elle ne définit pas la manière d'obtenir cet état positif.

1.2. L'enrichissement du milieu

Une des possibilités envisagées afin d'obtenir un état mental positif est l'enrichissement de l'environnement des animaux. Il offre une alternative pour optimiser le bien-être des animaux mais aussi pour améliorer leurs performances. En effet, dans l'étude de Flint et Murray (2001), le gain de poids des chèvres a augmenté de 83% lorsque les chèvres étaient dans un milieu enrichi. Or, le développement de systèmes de production plus intensifs a augmenté la productivité des élevages, mais cela s'est fait au détriment des besoins comportementaux et du bien-être des animaux. Un enjeu actuel des producteurs est donc de trouver un équilibre entre les exigences d'amélioration des conditions de bien-être dans les exploitations et les considérations pratiques, c'est-à-dire ce qui réalisable en élevage sans rendre les conditions de travail des éleveurs plus complexes (Orihuela *et al.*, 2018).

1.2.1. Définition de l'enrichissement du milieu

L'ANSES définit les enrichissements de la manière suivante : « *Chez les animaux en élevage intensif, le milieu est à enrichir pour le bénéfice comportemental des animaux. Cet enrichissement réduit l'expression des comportements inadaptés et stimule les émotions positives et les fonctions cognitives (Boissy et al., 2007). Il ne doit cependant pas être préjudiciable à la santé des animaux* » (ANSES, 2015). De même, l'exposition d'animaux à des enrichissements dès le début de vie favorise la flexibilité comportementale (Zobel et Nawroth, 2020).

Cinq catégories d'enrichissements sont classiquement définies (Bloomsmith *et al.*, 1991) : les enrichissements physiques, occupationnels, sensoriels, alimentaires et relationnels. Les enrichissements physiques consistent à augmenter l'espace disponible ou alors à ajouter des éléments dans le milieu de vie, comme par exemple des plateformes chez les chèvres. Il a été démontré que l'ajout de plates-formes avait un impact positif sur l'alimentation, le repos et le comportement social des chèvres (Aschwanden *et al.*, 2009). Les enrichissements occupant les animaux permettent à ces derniers de réaliser des activités physiques ou cognitives qui peuvent aider leur santé psychologique (Rasmussen, Newland et Hemmelman, 2010) et leur donner la possibilité d'exercer un contrôle sur leur environnement (Greiveldinger, Veissier et Boissy, 2009).

Les enrichissements sensoriels sont des stimuli affectant un ou plusieurs sens de l'animal. Un des enrichissements sensoriels les plus utilisés en élevage est l'utilisation de musique (Meshabaz *et al.*, 2017). Les enrichissements alimentaires consistent en l'utilisation de différents aliments afin d'offrir une diversité alimentaire aux animaux. Ces aliments peuvent être distribués tous en même temps ou en plusieurs fois (Botreau *et al.*, 2023). Les enrichissements relationnels correspondent à une mise en relation de l'animal avec d'autres animaux, qu'ils soient de la même espèce ou non (incluant l'Homme). Les interactions entre les animaux peuvent procurer des émotions positives. De plus, la présence de partenaires peut favoriser un sentiment de sécurité et aider à faire face à des facteurs de stress. Elle peut également faciliter l'apprentissage (par imitation des comportements de leurs congénères) et améliorer l'émotivité ou les traits cognitifs (Veissier *et al.*, 1998).

1.2.2. Pertinence de l'utilisation d'enrichissement pour les animaux d'élevage

Lors de l'utilisation d'enrichissement, il est nécessaire de vérifier la pertinence des enrichissements auxquels ont accès les animaux. En effet, s'ils sont adaptés aux besoins des animaux, les enrichissements devraient avoir des effets bénéfiques sur leur état mental et physique. Cependant, un enrichissement non adapté peut être inefficace, c'est-à-dire qu'il n'améliore pas l'état physique et/ou mental de l'animal (Stachurska *et al.*, 2013). Il peut même devenir nuisible pour l'animal comme par exemple dans l'étude de Luescher, McKeown et Dean, (1998), où un plus grand nombre de comportements stéréotypés sont apparus en présence de « jouets » chez les chevaux. Différents facteurs doivent être pris en compte afin de mesurer la pertinence de l'enrichissement comme par exemple le temps d'utilisation de l'enrichissement ou l'impact que celui-ci a sur les animaux (Botreau *et al.*, 2023). La proportion d'animaux utilisant un enrichissement est aussi un bon indicateur de la pertinence. De même, la persistance de l'utilisation sur le moyen-long terme est à prendre en compte. Les animaux peuvent avoir un intérêt fort mais de courte durée pour certains enrichissements, alors qu'il peut ne pas s'estomper avec le temps pour d'autres enrichissements (Mandel *et al.*, 2016 ; Wilson *et al.*, 2002). Des tests peuvent être réalisés afin de connaître la préférence des animaux vis-à-vis des enrichissements (en comparant leurs utilisations dans une situation où l'animal est laissé libre d'utiliser les enrichissements ou en laissant l'animal avec seulement un enrichissement accessible à la fois) (de Almeida *et al.*, in prep).

1.2.3. L'utilisation d'enrichissements chez les chèvres laitières

Il est à noter qu'il existe actuellement peu de littérature scientifique sur les enrichissements mis en place chez les caprins, que ce soit chez les chèvres ou les chevrettes (Tölü, Göktürk et Sava, 2016). Chez les chèvres, les enrichissements les plus courants sont des bouteilles en plastique suspendues et/ou librement posées sur le sol (toutes deux remplies de maïs en guise de

stimuli visuels et auditifs), des brosses de nettoyage généralement fixées à la paroi de l'enclos, des pneus suspendus, des troncs d'arbre et des plateformes à escalader ainsi que des objets à prendre en bouche (comme des tuyaux en PVC) (Aschwanden *et al.*, 2009 ; Gomes *et al.*, 2018 ; Nawroz *et al.*, 2021 ; Flint et Murray, 2001 ; Botreau *et al.*, 2022, Berthelot *et al.*, 2023). L'utilisation d'enrichissements pertinents permet une diminution des comportements stéréotypés et anormaux pour les chèvres (Nawroz *et al.*, 2021). On peut aussi constater un gain de poids de 83% dans les milieux enrichis, un risque d'inanition diminué de 36% et le comportement agressif réduit de 30% (Flint et Murray, 2001). De plus, une plus grande diversité de comportements a été observée pour les chèvres vivants dans des milieux enrichis (Gomes *et al.*, 2018).

1.3. Protocoles d'évaluation du bien-être animal

Afin de connaître le niveau de bien-être des animaux au sein des élevages, il est nécessaire de développer des protocoles permettant son évaluation. Il existe différents protocoles d'évaluation du niveau de bien-être. Le plus connu est le *Welfare quality* (Blokhuys, 2008). Son objectif est de développer des outils d'évaluation du bien-être des animaux en élevage validés scientifiquement et qui permettent de synthétiser les résultats obtenus en une information claire et standardisée. Le projet a abouti à des protocoles d'évaluation pour les porcins, les bovins et les volailles. Dans le cas des petits ruminants, des équidés et des dindes c'est le protocole AWIN (*Animal Welfare INdicators*) (Battini, 2015) qui a été développé afin d'évaluer le bien-être de ces espèces.

Ces protocoles se basent sur deux types de critères : les indicateurs basés sur l'environnement et les critères basés sur les animaux. Les indicateurs basés sur l'environnement évaluent l'adéquation des conditions de vie, des pratiques appliquées et des soins prodigués aux animaux, ainsi que le respect de leurs besoins physiologiques et comportementaux (Mounier *et al.*, 2021). Les indicateurs basés sur les animaux sont obtenus par observation directe ou indirecte. L'observation directe comprend des éléments tels que le comportement, l'état sanitaire ou encore l'état corporel (Mounier *et al.*, 2021). L'observation indirecte inclut la production, les performances de reproduction, la longévité productive de l'animal ou encore les données de morbidité et de mortalité dans l'élevage (Mounier *et al.*, 2021). Ces indicateurs permettent d'évaluer non seulement l'état physique de l'animal, mais aussi son état mental en analysant son interaction avec son environnement physique et social, ainsi que sa perception de celui-ci.

Bien qu'un grand nombre des indicateurs de bien-être animal utilisés pour développer ces protocoles soient pertinents, ils ne sont pas encore tous validés scientifiquement (Centre national de référence pour le bien-être animal, 2024).

De même, il est à noter que l'utilisation de ces protocoles d'évaluation ne permet d'accéder à une estimation du bien-être animal que de manière ponctuelle. En effet, rien ne garantit que le niveau de bien-être reste similaire plusieurs semaines ou mois après l'évaluation.

1.4. L'élevage de précision comme outil au service de l'étude des comportements

1.4.1. Définition de l'élevage précision

L'élevage de précision est de plus en plus utilisé dans les exploitations agricoles commerciales. Il se définit comme l'utilisation coordonnée de capteurs (environnementaux ou embarqués sur l'animal) et de techniques de l'information et de communication dans le but d'aider l'éleveur à piloter son élevage, en anticipant certaines situations qui pourraient devenir critiques pour un animal donné ou pour l'ensemble de l'élevage (Veissier *et al.*, 2019). L'élevage de précision permet de contrôler de nombreux paramètres afin d'ajuster finement la conduite de l'exploitation (Guarino et Berckmans, 2015). Les techniques de l'élevage de précision ont été développées essentiellement pour augmenter la rentabilité des élevages et réduire la charge de travail en appliquant des systèmes automatiques pour surveiller et/ou contrôler les animaux et leur environnement (Veissier *et al.*, 2019). Les avantages des outils de l'élevage de précision sont le suivi en continu et sans l'intervention de l'Homme de paramètres mesurés sur les animaux (production laitière, ingestion, *etc.*) ou leur milieu de vie (température ambiante, hygrométrie, *etc.*). L'élevage de précision permet aussi la détection des anomalies via le développement d'algorithmes (comparaison des valeurs anormales par rapport aux valeurs habituelles ou en référence à des normes calculées par ailleurs) et l'alerte à l'éleveur en temps réel ou presque afin de l'aider à prendre les décisions quant à la conduite de son élevage (Veissier *et al.*, 2019).

1.4.2. L'apport de l'intelligence artificielle à l'étude du comportement

L'étude du comportement animal est une science très demandeuse en temps et en ressources humaines. En effet, les méthodes de références en éthologie sont soit des méthodes d'observation du comportement en direct soit des méthodes utilisant un dépouillement manuel de vidéos via des logiciels dédiés comme Boris (Friard et Gamba, 2016) ou The Observer XT (Noldus, 2024). Le suivi sur le long terme (sur plusieurs mois par exemple) du comportement des animaux, en plus de demander une expérimentation de longue durée (difficile à mettre en place pour des raisons de coût et de faisabilité), nécessiterait de multiplier les séquences d'observation du comportement (en direct ou *a posteriori*). Le recueil des données nécessaires à l'étude du comportement aurait donc un coût humain et financier très important, ce qui explique probablement, au moins en partie, l'absence d'études de comportement sur du long terme.

Une méthode envisageable serait l'utilisation des capteurs dans les élevages pour pouvoir travailler sur des durées plus longues. Ces capteurs sont au niveau du groupe (par exemple caméra, thermomètres, *etc.*) ou au niveau de l'animal (par exemple accéléromètre, bolus ruminal, *etc.*). L'analyse des données de ces capteurs par les algorithmes d'intelligence artificielle permettrait de traiter un plus grand nombre de données hétérogènes et multi échelles de manière automatisée. Cela permettrait d'accéder aux activités principales de l'animal ainsi qu'à ses postures et donc d'en déduire le budget-temps de l'animal (répartition des activités de l'animal sur

24 heures) sur l'ensemble d'une lactation, ce qui serait impossible avec une méthode classique. C'est ce qui a été réalisé dans l'étude de Jiang *et al.*, (2020). Dans cette étude, les auteurs proposent l'analyse des séquences des vidéos en utilisant des algorithmes de *deep learning* (et plus particulièrement l'algorithme YOLOv4) afin de reconnaître les comportements d'alimentation, de boisson, d'activité et d'inactivité de chèvres logées en groupe. Les comportements ainsi détectables automatiquement seront moins précis que ceux qui peuvent être observés par les méthodes classiques mais pourront être recueillis sur des périodes beaucoup plus longues que ce qui est fait classiquement en éthologie, apportant ainsi des données précieuses pour la recherche. En effet, les méthodes utilisant l'intelligence artificielle ne sont pas encore capables de permettre de recueillir certaines données comme par exemple, celles sur le toilettage mutuel ou les comportements de jeu. Enfin, un autre intérêt de l'élevage de précision est qu'il permet de passer d'une gestion des animaux au niveau du lot à une gestion individuelle des animaux (van Erp-van der Kooij et Rutter, 2020), ce qui est nécessaire dans le cadre de l'étude de comportement si l'on veut analyser le bien-être des animaux le plus précisément possible. Cependant, il est nécessaire de prendre en compte le coût élevé que peut représenter l'élevage de précision pour les élevages ce qui peut freiner son développement au sein des élevages commerciaux (Hlimi *et al.*, 2024).

1.3.3. Utilisation de l'élevage de précision dans le cadre de la détection de comportement

Différents capteurs peuvent être utilisés afin de détecter les comportements des animaux.

Les microphones captent les sons produits par les animaux, ce qui peut fournir des informations sur leur état et leur comportement. Ce dispositif est par exemple utilisé dans le cadre du projet SoundWel (INRAE, 2024). Ce projet vise à comprendre le codage des émotions dans les vocalisations des porcs et à utiliser ces connaissances pour développer un outil permettant d'évaluer le bien-être à la ferme en déterminant l'état émotionnel des porcs par le biais de leurs vocalisations.

Les accéléromètres détectent les accélérations liées aux mouvements des animaux. Les signaux accélérométriques, caractéristiques de certains comportements, permettent par exemple de savoir si un animal marche, est debout ou couché. Dans l'étude de Prunier *et al.* (2019), les accéléromètres ont été utilisés afin de détecter les comportements délétères de type bagarres. Les comportements ont été annotés sur des vidéos afin de permettre à un algorithme d'intelligence artificielle d'apprendre à reconnaître quels sont les signaux accélérométriques correspondant à chacun des comportements préalablement codés. Cette méthode est aussi utilisée dans des études sur les volailles (Casey-Trott et Widowski, 2018) pour quantifier le niveau d'activité de poules selon le type de fractures qu'elles avaient. La position de l'accéléromètre a aussi une importance sur la précision de la détection des comportements. D'après l'étude de Benaissa *et al.* (2019), la position de l'accéléromètre doit être modifiée (soit au cou de l'animal soit à la patte) selon le type de comportements que l'on veut analyser afin d'avoir une précision maximale. Le

même type d'étude a été mené chez les ovins afin de comparer différents placements, le cou, la patte ou attaché à la boucle d'identification de l'animal (Barwick *et al.*, 2018).

Un autre type d'outil employé dans l'élevage de précision est les puces RFID. Ces puces permettent de quantifier la durée d'un comportement en enregistrant les heures où les animaux sont à proximité d'un lecteur RFID. Dans l'étude d'Andersen, Dybkjær et Herskin (2014), cette méthode est utilisée afin de quantifier le temps passé à l'abreuvement chez les porcs.

Les systèmes de localisation en temps réel, comme le système CowView de Gea Farm Technologies (2024), permettent également de déduire l'activité d'un animal en fonction de sa position : un animal près de l'auge est considéré comme mangeant, dans l'aire de couchage comme se reposant, et ailleurs comme se déplaçant ou étant debout. À l'échelle individuelle, en analysant les déplacements, on peut constater si un animal s'est moins déplacé que la veille. Les systèmes de reconnaissance d'images peuvent détecter des mouvements anormaux, suggérant une situation d'inconfort. Les outils de l'élevage de précision peuvent suivre l'utilisation de brosses de toilettage, la manipulation d'objets, l'exploration de l'environnement et l'accès au pâturage. La détection du passage des animaux à proximité de ces éléments, combinée à leur identification électronique, permet de surveiller ces comportements. Outre connaître les activités de l'animal, l'intérêt de cette technique est aussi de permettre de quantifier l'occupation des différentes zones d'un bâtiment à l'échelle du troupeau. La sous-exploitation d'une zone peut indiquer une situation d'inconfort pour l'animal (par exemple des aires de repos inconfortables ou des espaces mal adaptés).

Enfin, les dispositifs d'analyse d'image peuvent permettre d'identifier des comportements positifs ou négatifs. Par exemple, chez les porcs, des algorithmes permettent de distinguer une interaction amicale et exploratrice (comportement positif) d'une attitude agressive. Dans l'étude de Lee *et al.* (2016), des caméras ont été placées sur le plafond des enclos. Deux algorithmes de classification ont été utilisés afin de classer les comportements. Le premier sert à classer les animaux en deux catégories : agression ou comportement normal. Le second permet de classer les comportements agressifs en deux catégories : coup de tête et poursuite. Dans cette étude, c'est l'ensemble du corps de l'animal qui a été pris en compte pour déduire le comportement de l'animal. D'autres études se basent seulement sur certaines parties du corps de l'animal (Lu, Mahmoud et Robinson, 2017 ; Lencioni *et al.*, 2021). Dans ces études, seule la tête de l'animal est prise en compte pour connaître son niveau de douleur.

1.3.4. L'utilisation de YOLO en analyse d'image

L'algorithme YOLO est très régulièrement utilisé dans le cadre de l'analyse d'image afin de détecter les comportements des animaux. Cet algorithme, développé en 2015 par Redmon *et al.* est un algorithme de détection d'objets basé sur un réseau neuronal profond. Les réseaux

neuronaux ont pour but d'imiter le fonctionnement du cerveau humain afin de reconnaître des modèles et de résoudre des problèmes courants (IBM Cloud Education, 2020). Contrairement à ses prédécesseurs qui détectent des objets en parcourant une image en plusieurs étapes, YOLO n'a besoin d'analyser l'image qu'une seule fois. La vitesse de prédiction est donc nettement plus élevée, ce qui permet la détection d'objets en temps réel dans des vidéos (Redmon, 2015).

Dans l'étude de Saraswathi *et al.* (2020), YOLO a été utilisé pour détecter et classer la posture des porcs. Dans l'étude de Schütz *et al.* (2021), la version 4 de YOLO a été utilisée afin de détecter et de suivre les mouvements de renards vivant en bâtiment dans des boxes individuels. Cette méthode permet aussi de connaître les zones les plus utilisées par les animaux ainsi que les niveaux d'activité des animaux au cours du temps. YOLO a aussi été utilisé dans le cadre de la détection de poulets dans des conditions de faibles luminosités (Siriani *et al.*, 2022). Ce sont les détections fournies par YOLO qui ont ensuite été utilisées pour réaliser le tracking des poulets.

Dans l'élevage caprin, YOLO a été employé de diverses façons. Il a été utilisé pour la reconnaissance faciale des chèvres en temps réel (Billah *et al.*, 2022 ; Zhang *et al.*, 2021), ainsi que pour la détection des chèvres à l'intérieur (Pu *et al.*, 2022) et à l'extérieur (Guo *et al.*, 2023). De même, en plus de réaliser des détections en extérieur, il a été montré qu'il était possible d'estimer la position des chèvres dans un parc grâce aux détections fournies par YOLO (Bonneau *et al.*, 2019). YOLO a également été utilisé pour le comptage des chèvres (Zhang *et al.*, 2021). Pour cette tâche, il a été couplé à un tracker (DeepSort) pour éviter les doublons. Il existe aussi d'autres méthodes de tracking de chèvres comme, par exemple, Wizard (Vayssade *et al.*, 2023b).

2. Problématique et hypothèses

La mise en place d'enrichissement dans les élevages caprins laitiers a été peu étudiée jusqu'à présent, tout comme l'application de l'intelligence artificielle dans le contexte de l'élevage de chèvres sur aire paillée. Ce stage a pour objectif de répondre à la question suivante : l'intelligence artificielle peut-elle être utilisée pour détecter automatiquement les comportements des chèvres sur aire paillée ? Et peut-on, grâce à cette méthode, observer un effet des enrichissements sur les comportements des chèvres laitières ?

Afin de répondre à cette question, plusieurs hypothèses ont été émises. La première hypothèse est que l'intelligence artificielle est capable de détecter individuellement les chèvres sur aire paillée et de réaliser un *tracking* des animaux. La seconde hypothèse est que les comportements des chèvres sont modifiés par la mise en place des enrichissements. Enfin, la troisième hypothèse est que la distribution spatiale des chèvres est modifiée par la mise en place d'enrichissements.

3. Matériel et méthodes

3.1. Présentation de l'expérimentation

3.1.1. Présentation du dispositif expérimental

Les expérimentations ont été réalisées à la chèvrerie expérimentale de Thiverval-Grignon sur 28 chèvres laitières de race alpine. Les chèvres ont été séparées en deux lots de 14 chèvres. Ces lots ont été équilibrés selon l'âge des chèvres, leur filiation (en particulier pour éviter la présence de sœurs dans le même lot), leur production laitière mais également selon les expérimentations auxquelles elles ont pris part précédemment.

Les deux lots ont été séparés pendant toute la durée de l'expérimentation du reste des chèvres présentes dans la chèvrerie grâce à une cloison opaque afin que les comportements des deux lots expérimentaux ne soient pas modifiés par ceux des autres lots présents dans le bâtiment d'élevage. De même, les deux lots ont aussi été séparés par une cloison opaque afin que la présence d'enrichissement dans un lot ne modifie pas le comportement de l'autre lot.

Des colliers distinctifs ont été mis sur chacune des chèvres des deux lots expérimentaux (14 colliers différents par lot) (Figure 1). Cela afin de faciliter leur reconnaissance à la caméra et de permettre de réaliser un tracking individuel des animaux. Les marquages réalisés sur les colliers ont d'abord été réalisés au scotch électrique de couleur puis, pour des soucis de praticité, aux marqueurs indélébiles de couleur.

3.1.2. Phases de l'expérimentation

L'expérimentation a duré dix semaines et comportait trois phases (Figure 2).

Phase 1. Durant les trois premières semaines d'expérimentation, les deux lots de chèvres ont été placés dans des conditions standards d'élevage afin que les chèvres s'habituent au parc dans lequel elles ont été placées ainsi qu'à leur nouveaux congénères. Les chèvres avaient accès à un abreuvoir, une pierre à sel, un râtelier avec du foin ainsi qu'aux deux enrichissements présents dans tous les parcs de la chèvrerie : une brosse et un mobile. Les chèvres allaient à la traite deux fois par jour, une première fois à 7h30 et une seconde fois à 15h. Les chèvres étaient nourries une fois par jour vers 14h. Une repousse de l'aliment était effectuée une fois dans la matinée. Ces trois premières semaines permettaient de stabiliser les comportements des chèvres des deux lots et constituaient la phase d'habituation.

Phase 2. Lors des cinq semaines suivantes, divers enrichissements ont été mis en place pour un des deux lots. Ces enrichissements étaient renouvelés régulièrement afin de ne pas créer d'habituation chez les animaux. L'ajout ou le retrait d'enrichissement était réalisé pendant la traite afin de ne pas perturber les animaux. Deux types d'enrichissement ont été donnés aux animaux : des enrichissement dits « mobiles » et des enrichissements dits « fixes ». Les enrichissements mobiles concernent tous les objets pouvant être déplacés par les chèvres tels que des bidons ou des cônes de chantier. Les enrichissements dits « fixes » sont des enrichissements que les

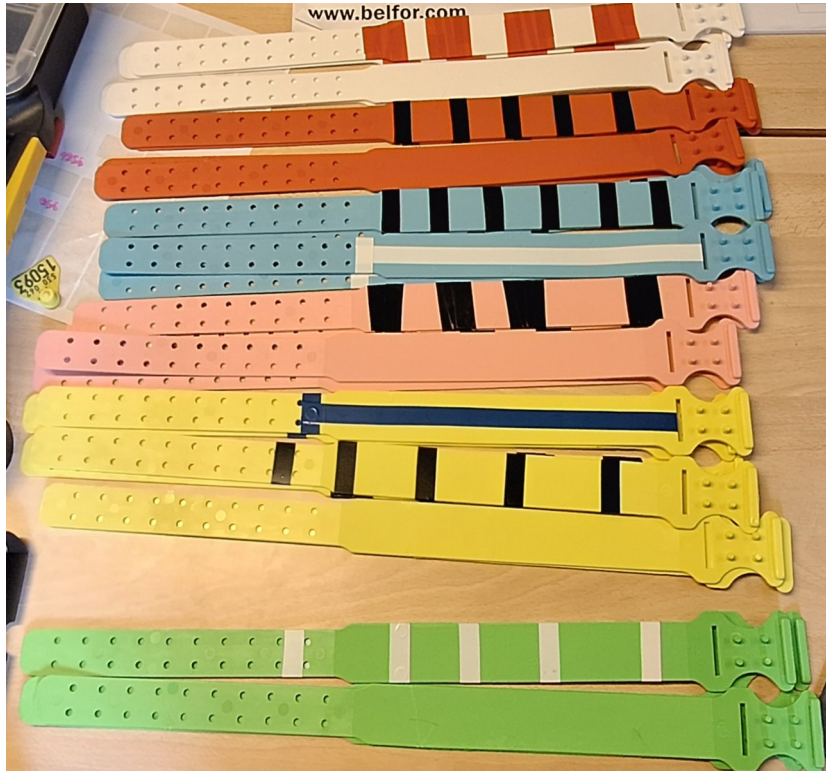


Figure 1 : Présentation des différents colliers utilisés au cours de l'expérimentation

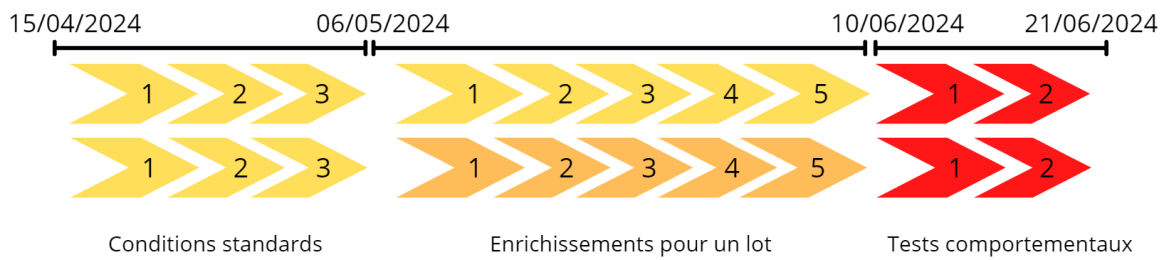


Figure 2 : Déroulé de l'expérimentation (les chiffres dans les flèches correspondent à la numérotation des semaines lors de chaque phase)

animaux ne peuvent pas déplacer comme par exemple, une cabane ou une brosse. Dans le cadre de ce stage, les enrichissements de type mobile ne seront pas traités car, comme ils peuvent être déplacés par les animaux, ils ne peuvent pas être traités avec la même méthode que les enrichissements fixes. Les différents enrichissements traités sont présentés en annexe (Annexe).

Phase 3. Enfin, les deux dernières semaines d'expérimentations étaient consacrées à la réalisation de divers tests de comportements (présentation d'un objet nouveau, présentation d'un humain nouveau, tâche de détour, *etc.*). Ceux-ci ne seront pas traités dans le cadre de ce stage.

3.1.3. Mise en place des caméras et stockage des vidéos

Les caméras utilisées sont des caméras de vidéosurveillance situées à 2,5m du sol. Le placement des caméras a été réalisé avant le début des expérimentations, dès que les cloisons séparant les différents lots de chèvres ont été mises en place. Différents essais ont été réalisés afin d'empêcher la présence d'angle mort et de diminuer l'obstruction, c'est-à-dire le moment où une chèvre est cachée soit par un élément présent dans le milieu soit par une autre chèvre.

Une fois le placement des caméras réalisé celui-ci est resté le même durant toute la durée de l'expérimentation.

Les vidéos (résolution : 720p ; fréquence : 25fps) étaient enregistrées sur un enregistreur au format .mp4. La récupération des vidéos était réalisée une fois par semaine à la chèvrerie. Les vidéos étaient stockées sur un disque dur et téléchargées sur un cloud. 1To de vidéos ont été enregistrées lors de cette expérimentation. Afin de ne pas avoir un temps de calcul trop long (lié en partie au grand nombre de vidéos), les calculs liés à l'algorithme ont été effectués sur Colab IA, un serveur contenant des GPU afin de minimiser les temps de calcul.

3.2. Présentation de l'algorithme de détection et de tracking

L'algorithme de détection utilisé dans le cadre de ce stage est la version YOLOv8 développée par Ultralytics (Ultralytics, 2024). Cette version est plus rapide et plus précise que les versions précédentes (Hussain, 2023 ; Terven, Córdova-Esparza et Romero-González, 2023).

3.2.1. Utilisation de l'algorithme YOLOv8 dans le cadre de la détection des chèvres

L'utilisation de l'algorithme YOLOv8 nécessite deux phases : une phase d'entraînement et une phase de validation. Lors de ces deux phases des images extraites aléatoirement des vidéos de l'expérimentation vont être fournies à l'algorithme. Lors de la phase d'entraînement, les images annotées provenaient de deux jeux de données. Le premier jeu de données utilisé est CherryChèvre (Vaysade *et al.*, 2023a). Il est composé de 6 160 images annotées de chèvres. Ces images ont été prises dans des conditions variées afin d'être utilisables dans le plus grand nombre de situations possibles.

Le second correspond à des images annotées dans le cadre de ce stage (443 images).

Ces images ont pour but d'adapter la détection des chèvres au contexte expérimental dans lequel on se situe.

3.2.1.1. Annotation d'images

L'annotation d'images a été réalisée à l'aide du logiciel VGG Image Annotator (Dutta, Gupta et Zisserman, 2024). Ce travail permet à l'algorithme de connaître les positions des éléments à détecter dans l'image (ici des chèvres) et de créer les fichiers associés permettant d'entraîner YOLO. Ici, l'annotation correspond à des rectangles englobant entièrement les chèvres (pattes, corps, tête) que l'on appelle *bounding box* (Figure 3). Chacune des chèvres présentes dans l'image doit être annotée même si elles ne font pas partie de l'étude. En effet, ne pas prendre en compte des chèvres pourrait conduire à une augmentation du nombre d'erreurs dans les prédictions réalisées par l'algorithme. Quand toutes les images sont annotées, les coordonnées des *bounding boxes* sont regroupées dans un fichier .json.

3.2.1.2. Phase d'entraînement

La phase d'entraînement a pour but d'apprendre à l'algorithme à détecter les chèvres présentes dans les images provenant des vidéos de l'expérimentation. Lors de la phase d'entraînement, l'algorithme effectue trois étapes sur chacune des images fournies afin de reconnaître une chèvre (Figure 4).

La première étape a pour but de diviser l'image à l'aide d'une grille afin de créer des zones. Lors de la deuxième étape, l'algorithme recherche, dans chaque zone de l'image, les *bounding boxes*, c'est-à-dire le plus petit rectangle dans lequel peut être contenu l'animal. Il en déduit leurs coordonnées dans le référentiel de l'image entière (centre, hauteur, largeur) et la probabilité que la zone contienne un objet, ici une chèvre. La prédiction des *bounding boxes* est associée à un score de confiance. Simultanément, l'algorithme établit aussi une grille de probabilité de présence de boxes au sein de l'image. A la fin de cette étape, l'algorithme connaît ainsi la présence ou non d'une chèvre dans l'image ainsi que ses coordonnées. La troisième étape est l'utilisation de l'*Intersection Over Union* (IOU) et de la *Non-Maximum Suppression* (NMS) pour définir la meilleure *bounding box* pour l'objet détecté, parmi celles prédites à chaque case. L'IOU permet de connaître la précision de détection. Pour cela, il va calculer le ratio de pixels présents à la fois dans la *bounding box* réelle de l'objet définie manuellement lors de l'annotation des images et dans les boxes prédites. Plus ce ratio est élevé, plus la prédiction est bonne (IOU > 0,5). Le NMS va, quant à lui, chercher à quelle prédiction est associé l'IOU le plus élevé et supprimer toutes les boîtes correspondant à des IOU plus faibles.

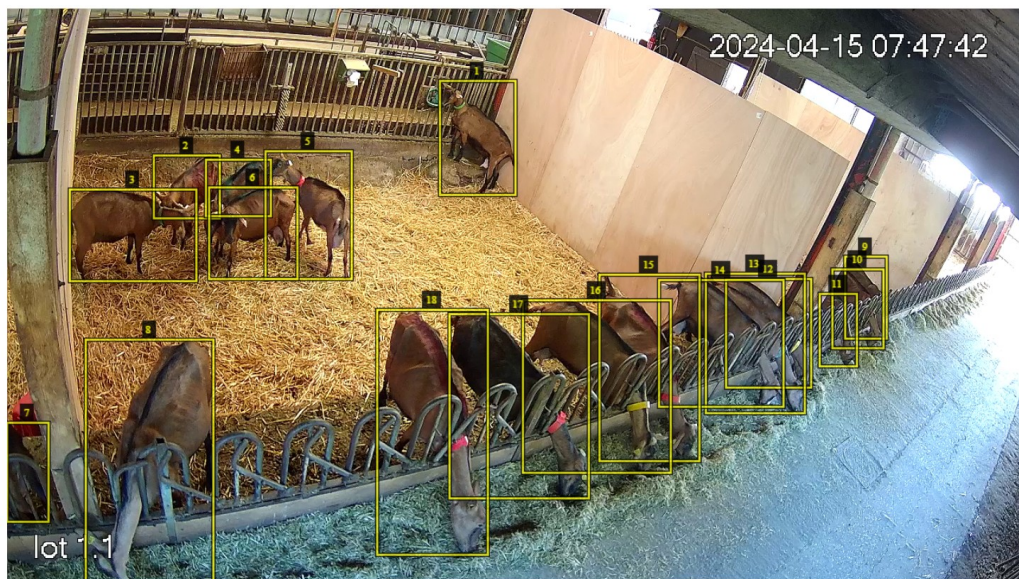


Figure 3 : Annotation d'images avec le logiciel VGG Image Annotator

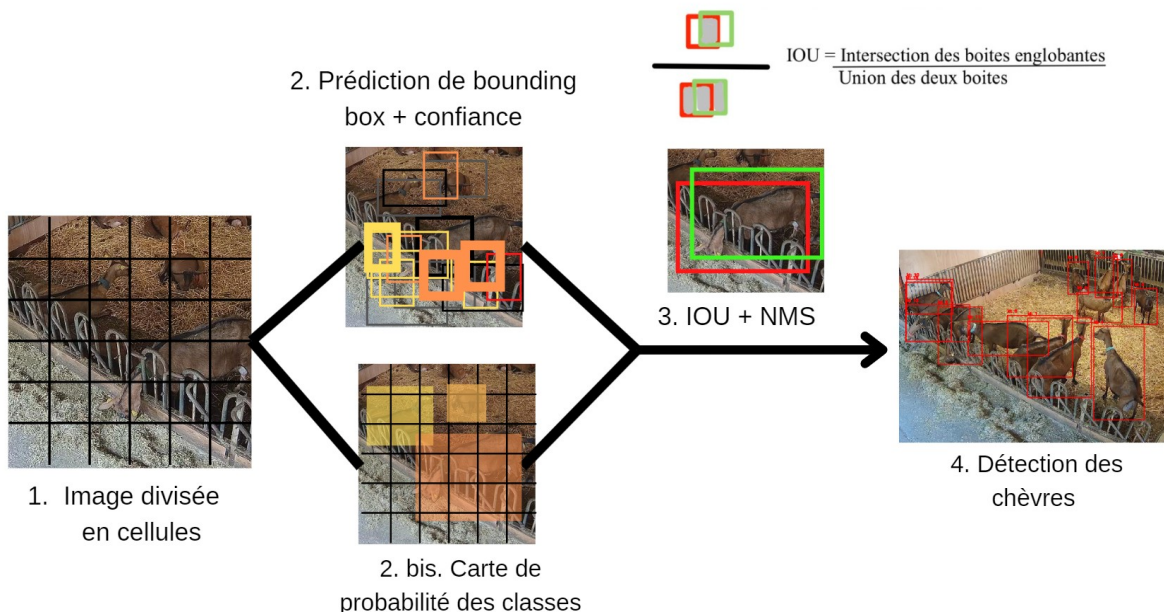


Figure 4 : Étapes de l'algorithme YOLOv8

3.2.2. Tracking individuel

Pour travailler à l'échelle individuelle, il est nécessaire de réaliser, en plus de la détection, un tracking des animaux, c'est-à-dire de suivre la position des animaux d'une image à une autre, tout au long de la vidéo.

Une possibilité envisagée pour réaliser ce tracking est l'utilisation de l'algorithme Wizard (Vayssade *et al.*, 2023b). Afin d'identifier les chèvres, Wizard se base sur leur apparence et leur emplacement. A la différence des autres trackers existants, il n'est pas pré-entraîné. En effet, il se base sur des images trouvées en utilisant les détections de YOLO.

Les essais réalisés avec Wizard se sont révélés non concluants. En effet, cet algorithme se base sur le principe que tous les animaux sont détectés sur une partie suffisamment longue de la vidéo. Malheureusement, cette condition n'est pas respectée dans notre cas. Le choix du tracker s'est porté sur les trackers disponibles avec l'algorithme YOLOv8 : BoTSORT et ByteTrack.

BoTSORT combine des techniques de détection d'objets et de ré-identification (ReID) pour améliorer la précision du suivi, notamment dans des scénarios où les objets peuvent temporairement disparaître du champ de vision ou se chevaucher (Aharon, Orfaig et Bobrovsky, 2022).

ByteTrack classe les détections réalisées en deux catégories : *high scores* avec un score de confiance élevé et *low scores* avec un score de confiance plus faible. Il réalise ensuite le tracking en se basant sur la catégorie *high score* puis il complète le tracking si besoin avec des détections de la catégorie *low score* (Zhang *et al.*, 2021).

Après analyses des caractéristiques des deux trackers, le choix final s'est porté sur l'utilisation du tracker ByteTrack. En effet, ByteTrack a un coût de calcul moins élevé que BoTSort pour une qualité de tracking qui reste similaire entre les deux trackers (Attzs *et al.*, 2023).

3.3. Algorithme final

Pour caractériser les comportements des chèvres, une couche de code supplémentaire, en Python, a été intégrée à l'algorithme YOLOv8. Cette modification permet d'assigner les détections à différentes zones et de déterminer la durée de présence des animaux dans ces zones.

Cette couche de code permet de générer un fichier .txt pour chaque vidéo traitée. Ce fichier contient, pour chaque détection présente dans le parc du lot de chèvre filmé, la date et l'heure de la détection au format '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f', ainsi que le numéro de la frame, le numéro de la caméra (indiquant le lot filmé), les positions x, y, w, h (x et y étant les coordonnées du centre de la détection, w la largeur et h la hauteur) des *bounding box*, l'identifiant de tracking, l'identifiant de la zone où se trouve l'animal et les coordonnées x et y obtenues par géoréférencement.

De plus, cette couche permet d'afficher graphiquement la vidéo en cours de traitement grâce à l'utilisation de la bibliothèque Python « openCV ». Cet affichage permet de dessiner, sur la vidéo, les contours des différentes zones ainsi que les *bounding boxes* représentant les détections



Figure 5 : Zones et détections de chèvres

des chèvres (Figure 5). Il permet aussi d'associer une couleur aux *bounding boxes*. Ces couleurs correspondent à la zone dans laquelle est détecté l'animal (Figure 5).

Différentes zones ont été définies au sein des vidéos du lot enrichi et non enrichi afin de connaître les comportements des chèvres. Ces zones et la couleur associée sont présentées dans le tableau 1.

Afin de modéliser les différentes zones, des matrices de zéros de la même taille (en pixel) que l'image ont été créées. Pour représenter les zones, les zéros ont été remplacés par des 255 pour tous les points situés à l'intérieur du polygone délimitant les différentes zones. Il existe donc une matrice pour chacune des zones apparaissant sur l'image (Figure 6).

Tous les enrichissements n'étant pas présents durant toute l'expérimentation, il a été nécessaire d'ajuster l'apparition des différentes zones en fonction des dates pour que les zones correspondent aux enrichissements disponibles. De plus, comme les enrichissements peuvent être déplacés (lors du paillage, par exemple), il a fallu ajuster le placement des zones pendant la vidéo. Cette adaptation a été réalisée en comptabilisant le temps écoulé depuis le début de chaque vidéo, ce qui permettait de déterminer précisément l'heure et ainsi de sélectionner le polygone approprié en fonction de celle-ci.

Différentes zones ont été définies afin de caractériser les comportements des chèvres.

La *Region of Interest* (ROI) correspond à la zone dans laquelle nous voulons conserver les détections des chèvres. Définir cette zone permet de faire un tri entre les détections des chèvres du lot filmé et les détections à l'extérieur de cette zone. En effet, avec l'angle de caméra utilisé lors de cette expérimentation, les chèvres des lots situés sur les côtés et derrière le lot filmé sont visibles à la caméra et donc détectables par l'algorithme. Afin de ne conserver que les détections de chèvres présente dans la ROI, l'algorithme vérifie que le centre des détections des chèvres est situé à l'intérieur de la ROI, c'est-à-dire que le point de coordonnées x, y de la matrice de la ROI soit supérieur à 0 dans la matrice définie pour la ROI. Si cette condition est vérifiée, la *bounding box* de la détection de la chèvre apparaît sur la vidéo et une ligne est créée dans le fichier .txt renvoyé à la fin de la vidéo par l'algorithme.

Tableau 1: Zones définies dans le cadre de cette expérimentation (les zones en italiques correspondent aux enrichissements)

Nom de la zone	Couleur
Zone d'exclusion	
Alimentation	
Eau	
Autre	
Pierre à sel	
Brosse	
Râtelier	
<i>Nouvelle Brosse</i>	
<i>Croix</i>	
<i>Cabane</i>	
<i>Podium</i>	
<i>Cube</i>	
<i>Balle à foin</i>	

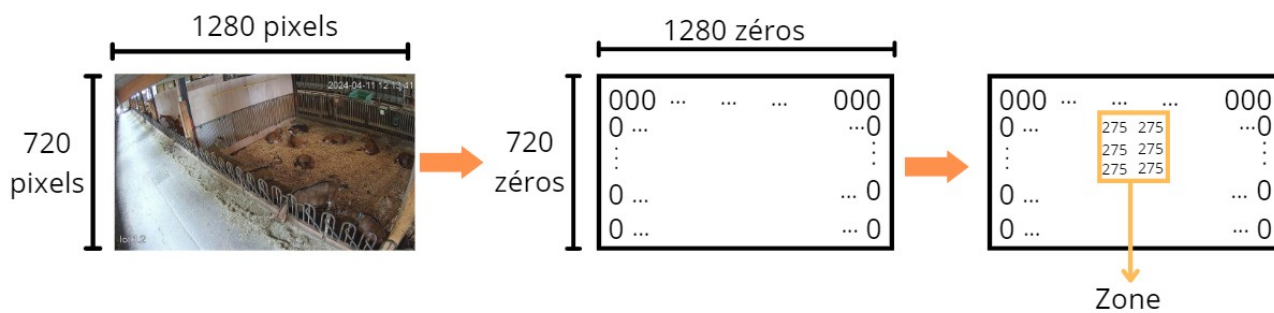


Figure 6 : Modélisation des zones à l'aide de matrices

Les zones d'exclusion permettent de créer des zones à l'intérieur de la ROI dans lesquelles les détections ne seront pas prises en compte. L'intérêt de ces zones est de permettre d'exclure des zones dans lesquelles de fausses détections seraient réalisées (confusion entre un enrichissement tel que les parois de la croix ou de la cabane et une chèvre par exemple). Ici, l'algorithme va vérifier si le centre de la détection est situé dans une zone d'exclusion, c'est-à-dire qu'il va vérifier si le point de coordonnées x, y d'une matrice d'exclusion est supérieur 0 dans la matrice d'exclusion. Dans ce cas, cela signifie que le centre de la détection est situé dans une zone d'exclusion et qu'il ne faut donc pas prendre en compte cette détection, c'est-à-dire ne pas l'inclure dans le fichier .txt ni l'afficher sur la vidéo.

Les zones correspondant aux différents comportements ont également été délimitées. Pour les deux lots, des zones d'alimentation et d'abreuvement ont été définies. La zone d'alimentation correspond à l'endroit où la nourriture est déposée, tandis que la zone d'abreuvement correspond aux contours de l'abreuvoir. De plus, des zones englobant le râtelier et la pierre à sel ont été délimitées. Une zone spécifique a aussi été tracée pour la brosse présente dès le début de l'expérimentation. Pour les enrichissements installés dans le lot enrichi, les zones suivantes ont été ajoutées : nouvelle brosse, croix, cabane, podium, cube et balle à foin. Enfin, une catégorie Autre a été ajoutée dans le cas où les chèvres ne seraient présentes dans aucune des zones détaillées ci-dessus.

Pour déterminer si un animal utilise un des objets présents dans le parc, le critère mis en place porte sur le nombre de pixel de la détection présente dans la zone de l'objet. Pour cela, on récupère les coordonnées des quatre angles de la détection à partir des coordonnées du centre de la détection ainsi que de la largeur et de la hauteur de la *bounding box*. Ensuite, on somme les valeurs de la matrice de chaque zone, obtenues pour chacune des coordonnées présentent entre ces quatre points. Si la somme est supérieure au ratio défini pour chacun des objets, l'animal est considéré comme étant en train de l'utiliser. La détection change alors de couleur dans la vidéo et l'identifiant de la zone est ajouté à la ligne correspond à cette détection dans le fichier .txt.

Le cas de l'alimentation a été traité de manière différente car la zone d'alimentation est située à l'extérieur de la ROI. On considère que si le coin inférieur droit et/ou le coin inférieur gauche de la *bounding box* est situé dans la zone d'alimentation alors l'animal est en train de s'alimenter. En effet, si ces coins sont dans la zone d'alimentation cela signifie que l'animal a la tête baissé dans le fourrage.

De la manière dont ont été définies les zones et à cause de l'angle de prise de vues des vidéos, il est possible qu'une même détection satisfasse plusieurs conditions en même temps, c'est-à-dire que l'animal soit détecté dans une ou plusieurs zones en même temps. Or, au vu de la disposition des objets présents dans les deux parcs, un animal ne peut pas en utiliser deux en

même temps. Il a donc fallu créer des critères supplémentaires quand ce cas se présentait. Pour ce qui concerne les conflits entre la zone Alimentation et les enrichissements Croix, Cube et Cabane, une zone supplémentaire a été définie sur la dalle présente derrière les cornadis, dans le parc. Si un coin de détection est présent dans cette zone, cela signifie que l'animal est situé sur la dalle et donc qu'il ne peut pas être en train d'utiliser un des enrichissements présents dans la paille.

En cas de conflits entre deux enrichissements, une comparaison du nombre de pixel communs entre la *bounding box* et les zones est réalisé. L'enrichissement ayant le plus grand nombre de pixel dans sa zone est considéré comme étant celui utilisé par l'animal.

3.4. Géoréférencement des positions des chèvres

Le géoréférencement consiste à estimer la localisation des animaux dans le parc, à partir des coordonnées en pixels de leur détection (ArcGIS ressource, 2024). La coordonnée x correspond à la position du centre de la détection sur l'axe des abscisses. La coordonnée y est prise sur l'axe des ordonnées. Afin de limiter les problèmes liés au passage de l'image à un référentiel en 3D, la coordonnée y a été prise au niveau des pattes de l'animal.

3.4.1. Prise de points de repère et coordonnées dans un repère orthonormé

Pour effectuer le géoréférencement, nous avons utilisé une fonction de type projective. Il est également nécessaire d'estimer les paramètres de cette fonction, qui dépendent notamment de la position de la caméra ou de la taille de la zone d'étude. Les points de repère permettent d'associer des coordonnées réelles en mètre à des coordonnées en pixel sur les images des vidéos. La prise des points de repère a été réalisée durant la traite afin que les animaux ne soient pas dans le parc et ne soient donc pas perturbés par la prise des mesures. Les points ont été choisis de manière à avoir, à la fois des points au niveau du sol ainsi qu'en hauteur mais aussi des points sur les bordures et au centre du parc. De même, un autre critère dans la sélection des points de repère était que ceux-ci soient facilement visibles à la caméra. Les points ont été répartis de manière homogène sur la surface du parc.

Pour les points situés dans la diagonale du parc, un marquage tous les 1m a été réalisé sur une corde. Cette corde a ensuite été tendue dans la diagonale afin de pouvoir réaliser un marquage à la bombe de peinture sur la paille afin que la marque soit visible à la caméra.

Les points ont ensuite été placés dans un repère orthonormé afin de connaître leur coordonnées. Pour connaître la position des points de la diagonale, on considère que le parc est un rectangle. La longueur de la diagonale a été calculée à l'aide du théorème de Pythagore. Les coordonnées des points de la diagonale ont ensuite été obtenues grâce au théorème de Thalès.

3.4.2. Correspondance des coordonnées réelles avec les coordonnées en vidéo

Une fois la prise de point de repère réalisée, il faut connaître la correspondance des coordonnées des points de repère dans le repère orthonormé avec leur coordonnées en pixel dans les vidéos. Pour cela, un screenshot de vidéo a été réalisé avec tous les points de repères visibles sur la même image. Cette image a été importée dans le logiciel de traitement d'images GIMP (The GIMP Development Team, 2019) afin de relever les coordonnées en pixel de chacun des points de repère choisis. Pour les points de la diagonale, on considère que le point de repère se situe à l'intersection entre la corde et le marquage à la bombe de peinture.

3.5. Validation du modèle

Afin de valider les critères utilisés pour obtenir les zones, des images provenant des vidéos des expérimentations ont été enregistrées aléatoirement. Parmi ces images, 100 images provenant de la caméra du lot enrichi avant enrichissement, 100 images provenant de la caméra du lot non enrichi et 350 images provenant de la caméra du lot enrichi pendant enrichissement ont été retenues afin de réaliser la validation des détections. Ces images sont réparties sur toute la durée de l'expérimentation et sur toutes les heures de la journée. Si deux images sont trop similaires, une seule des deux images est conservée afin de ne pas faire de doublons. De même, si la qualité de l'image est trop basse ou si les chèvres ne sont pas présentes dans le parc, l'image n'est pas conservée.

Les chèvres ont été comptées selon plusieurs critères : celles détectées par l'algorithme (vrai positif), celles oubliées (faux négatif), celles correctement attribuées à leur zone et celles mal attribuées. Les détections se produisant sur un objet (faux positif) ont aussi été comptées. Afin de déterminer si les animaux étaient correctement attribués à leur zone, un éthogramme a été réalisé (Tableau 2).

Ce comptage a permis de calculer la précision, le *recall* et le F-score du modèle sur l'ensemble des détections ainsi que pour chacune des zones.

La précision mesure la proportion de chèvres prédites avec la bonne activité. En d'autres termes, elle calcule le nombre de chèvres dont l'activité a bien été prédite (Vrai Positif) divisé par l'ensemble des prédictions (Vrai Positif et Faux Positif). Elle est comprise entre 0 et 1 (Figure 7). Un résultat proche de 1 indique que les animaux correctement attribués à une activité donnée ont bien été mis par l'algorithme dans la classe correspondante.

Le *recall* est la proportion de chèvres dont l'activité a été prédite correctement (Vrai Positifs) parmi tous les animaux qui font partie de cette classe (Vrai Positif et Faux Négatif). Il est compris entre 0 et 1 (Figure 8). Un résultat proche de 1 indique que les animaux dont l'activité prédite a été attribuée à une classe donnée appartiennent bien à celle-ci.

Tableau 2 : Éthogramme des comportements pour chacune des zones

Zone	Critères de comportement
Alimentation	Tête passée à travers du cornadis
Eau	Tête dans l'abreuvoir
Pierre à sel	Corps tendu, tête contre la pierre à sel
Râtelier	Corps tendu, tête contre le râtelier
Brosse	Corps et/ou tête contre la brosse
Nouvelle Brosse	Corps et/ou tête contre la brosse
Croix	Animal appuyé contre les parois ou corps dirigé vers les parois
Cabane	Animal appuyé contre les parois, animal dans la cabane, animal sur la cabane
Podium	Animal appuyé contre les parois, animal sur le podium
Cube	Animal appuyé contre les parois, animal sur le cube
Balle à foin	Corps tendu, tête contre la balle à foin
Autre	Animal debout ou couché, à proximité d'aucune des zones d'intérêt

$$\text{précision} = \frac{\text{Vrai Positif}}{\text{Vrai Positif} + \text{Faux Positif}}$$

Figure 7 : Formule de la précision

$$\text{recall} = \frac{\text{Vrai Positif}}{\text{Vrai Positif} + \text{Faux Négatif}}$$

Figure 8 : Formule du recall

$$F - \text{Score} = \frac{2 * \text{Précision} * \text{Recall}}{\text{Précision} + \text{Recall}}$$

Figure 9 : Formule du F-Score

Le F-Score est un score synthétisant les résultats de la précision et du *recall*. Il est compris entre 0 et 1 (Figure 9). Un F-Score proche de 1 indique une très bonne performance du modèle.

Dans le cadre de ce stage, ces indicateurs seront considérés comme médiocre s'ils sont inférieurs à 0,70, acceptable entre 0,70 et 0,80 et très bon s'ils sont supérieurs à 0,80.

Afin de voir plus précisément les erreurs de prédiction de l'algorithme (quelles zones ont été confondues), nous utiliserons des matrices de confusion. Chaque ligne correspond aux zones prédites par l'algorithme et chaque colonne correspond aux zones réelles. Les éléments diagonaux représentent le nombre d'éléments pour lesquels la zone prédite est égale à la véritable zone, tandis que les éléments hors diagonale sont ceux qui sont mal étiquetés. Il est important de préciser que lorsque l'on fait la somme des éléments d'une ligne de la matrice de confusion, on obtient le total des données réelles dans pour cette zone. En revanche, en faisant la somme des éléments d'une colonne, on obtient le total des données qui ont été prédites pour cette zone. Dans la dernière ligne et la dernière colonne, la précision et le *recall* de chaque zone sont indiqués afin de connaître la fiabilité de l'attribution des zones.

3.6. Traitement des données

Les données renvoyées par le modèle, pour chaque vidéo, ont été enregistrées dans un fichier .txt. Une base de données regroupant l'ensemble des fichiers .txt a été réalisée et à cette base de deux colonnes ont été ajoutées : la vitesse des animaux et la distance du plus proche voisin. La vitesse permet d'estimer le niveau d'activité d'un animal (Figure 10).

La distance au plus proche voisin permet de connaître l'organisation sociale du troupeau (Clark P. J. et Evans F. C., 1954 ; Quris *et al.*, 1981). Elle a été obtenue avec la formule suivante où x et y sont les coordonnées des animaux et i le numéro des chèvres (Figure 11).

La manipulation des données, les représentations graphiques ainsi que les analyses statistiques ont été réalisées avec R studio (R Core Team, 2024) à l'aide des packages "data.table", "dplyr" et "ggplot2".

Concernant les analyses statistiques, les données de durées moyennes horaires ont été obtenues en multipliant le nombre de frames durant lesquelles une détection était détectée dans une zone par 12 / 25 (les vidéos étant en 25 fps et les détections ayant été effectuées toutes les 12 secondes) puis en sommant toutes les valeurs obtenues pour une zone. Ces durées ont ensuite été divisées par la durée durant laquelle la zone était présente durant l'expérimentation

$$\text{vitesse} = \frac{\text{Distance euclidienne entre la position } n+1 \text{ et } n}{\text{Durée entre les frames } n+1 \text{ et } n} = \frac{\sqrt{((x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2)}}{T_{n+1} - T_n}$$

Figure 10 : Formule de la durée

$$\text{distance au plus proche voisin} = \min \{ \sqrt{((x_i - x)^2 + (y_i - y)^2)} \text{ pour } i=1,2,\dots,n \}$$

Figure 11 : Formule de la distance euclidienne

afin de pouvoir comparer les deux lots et l'avant/pendant enrichissement.

La normalité des données a été vérifiée grâce au test de Shapiro-Wilk. En cas de données suivant une distribution normale, un test de Student a été réalisé. Si la distribution des données ne suit pas une loi normale, des tests non paramétriques ont été réalisés (test de Wilcoxon car les données sont appariées).

4. Résultats

Les résultats présentés dans cette partie seront exclusivement à l'échelle du troupeau car le tracking des animaux n'a pas été concluant. L'identifiant changeant trop souvent en cas de déplacement, cela n'a pas permis d'avoir un suivi des animaux même sur une courte durée.

4.1. Validation

4.1.1. Validation des détections de chèvres

Les trois conditions expérimentales (lot enrichi (avant la mise en place des enrichissements), lot enrichi (pendant la période d'enrichissement) et lot non enrichi) présentent un F-Score supérieur à 0,80 (Tableau 3). Le modèle détecte donc efficacement les chèvres, quelles que soient les conditions expérimentales.

Le lot non enrichi a une bonne précision (0,94), ce qui signifie que la majorité des éléments identifiés comme des chèvres sont effectivement des chèvres. Cependant, un *recall* égal à 0,80 indique que 20% des chèvres n'ont pas été identifiées comme telles par le modèle (Tableau 3).

Le lot enrichi, avant la mise en place de l'enrichissement, a une bonne précision (0,96), ce qui signifie que la majorité des éléments identifiés comme des chèvres sont effectivement des chèvres. Le *recall* (0,92) étant proche de 1, la plupart des chèvres ont été détectées par le modèle (Tableau 3).

Le lot enrichi, pendant la phase d'enrichissement, a une bonne précision (0,91). Cependant, un *recall* de 0,75 indique que 25% des chèvres n'ont pas été identifiées comme telles par le modèle (Tableau 3).

Tableau 3 : Précision, recall et F-score des différentes conditions expérimentales

	Précision	Recall	F-Score
Lot non enrichi	0,94	0,80	0,86
Lot enrichi (avant mise en place de l'enrichissement)	0,96	0,92	0,94
Lot enrichi (pendant la phase d'enrichissement)	0,91	0,75	0,82

4.1.2. Validation des zones

Quelque soit la matrice de confusion considérée, on peut constater une surreprésentation des catégories Autre et Alimentation.

Pour la matrice de confusion du lot enrichi avant la mise en place des enrichissements (Figure 12), les zones Autre, Alimentation, Eau et Brosse ont une précision et un *recall* très satisfaisant. La zone Pierre à sel a, quant à elle, une précision et un *recall* plus faible que les zones citées précédemment bien qu'ils restent corrects. La zone Râtelier possède une bonne précision mais un mauvais *recall*. Cela signifie que les chèvres détectées dans cette zone sont bien en train d'utiliser le râtelier. Cependant, le modèle ne détecte pas 75% des chèvres utilisant le râtelier. Enfin pour la zone Brosse, le *recall* est bon ce qui signifie que le modèle détecte bien les chèvres utilisant la brosse. Cependant, la précision est basse (0,40) ce qui signifie que le modèle a tendance à surévaluer le nombre de chèvres utilisant la brosse.

Pour la matrice de confusion du lot enrichi pendant la phase d'enrichissement (Figure 13), la précision est acceptable pour toutes les catégories. Le *recall* est bon pour toutes les zones sauf pour celle du râtelier (0,05) et celle de la pierre à sel (0,21). Cela nous indique que le modèle rate quasiment toutes les détections de ces deux zones. Cependant, il est à noter que ces zones ont un faible nombre d'apparition au cours de la validation.

Enfin, pour la matrice de confusion du lot non enrichi (Figure 14), le *recall* est correct pour l'ensemble des catégories. La précision est bonne pour toutes les zones sauf celles du râtelier (0,18) et de la pierre à sel (0,17). Cela signifie que le modèle surévalue la présence des chèvres dans ces deux zones.

Prédiction	Réalité						Precision
	Autre	Alimentation	Eau	Râtelier	Brosse	Sel	
Autre	697	22	3		1	1	96.27%
Alimentation	34	425					92.59%
Eau			14				100.0%
Râtelier				1			100.0%
Brosse					2	4	40.0%
Sel	1			1		7	77.78%
Recall	95.22%	95.08%	82.35%	25.0%	80.0%	58.33%	

Figure 12 : Matrice de confusion du lot enrichi (avant enrichissement) La somme des éléments d'une ligne correspond au total des données réelles dans pour cette zone. La somme des éléments d'une colonne correspond au total des données qui ont été prédites pour cette zone.

Prédiction	Réalité											Precision	
	Autre	Alimentation	Eau	Râtelier	Brosse	Sel	Nouvelle brosse	Croix	Cabane	Podium	Cube		Balle à foin
Autre	1278	4	9	17	8	57	5	51		35	1	3	87.06%
Alimentation	249	1019											80.36%
Eau			49										100.0%
Râtelier				1									100.0%
Brosse	4		1		33								86.84%
Sel	2			1	1	15							78.95%
Nouvelle brosse	3						38			2			88.37%
Croix	19							71					78.89%
Cabane	7								77				91.67%
Podium	25									61			70.93%
Cube	3										13		81.25%
Balle à foin	4			2						7		17	56.67%
Recall	90.18%	99.61%	83.05%	4.76%	78.57%	20.83%	88.37%	58.2%	100.0%	58.1%	92.86%	85.0%	

Figure 13 : Matrice de confusion du lot enrichi (pendant enrichissement)

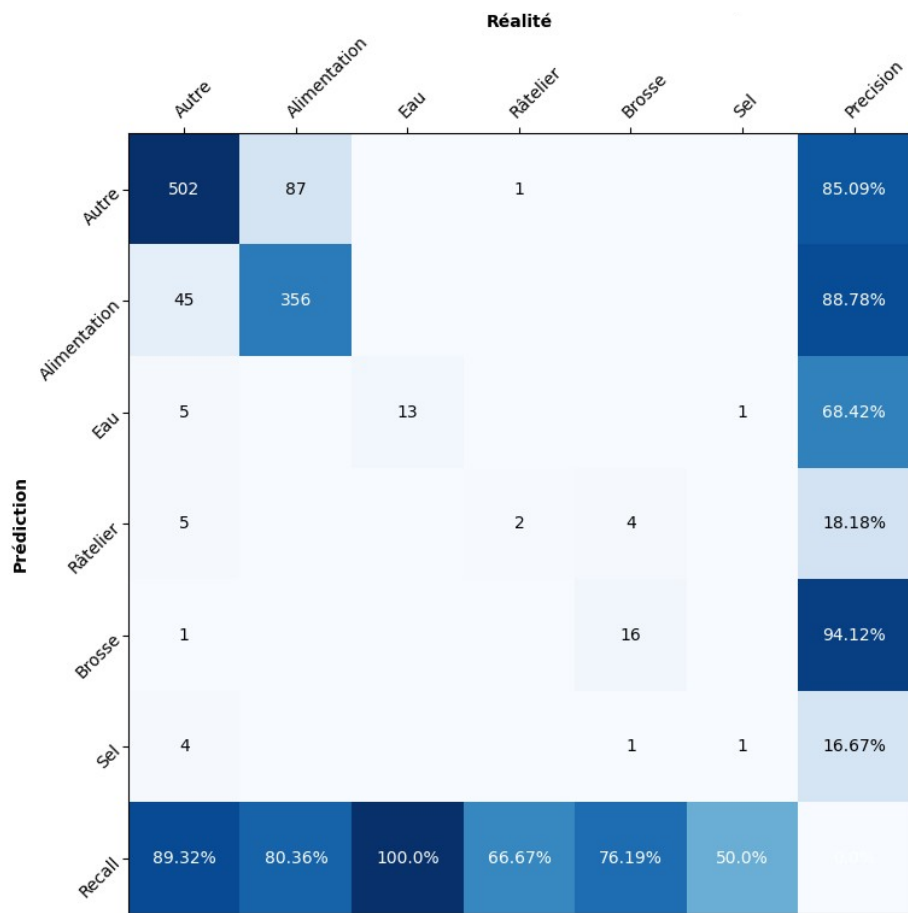


Figure 14 : Matrice de confusion du lot non enrichi

4.2. Dynamique spatiale des lots

Les coordonnées des chèvres, obtenues à l'aide du géoréférencement, ont été utilisées afin de réaliser des cartes représentant la fréquence de détections des animaux dans le parc (Figure 15, 16 et 17). Pour les trois cartes, on peut constater un nombre de détections plus important dans les zones où est distribué l'aliment. Pour les cartes du lot enrichi (avant enrichissement) (Figure 15) et du lot non enrichi (Figure 17), on peut noter la présence de tâches plus sombres situées au niveau du fond du parc. A l'inverse, pour la carte concernant le lot enrichi (pendant enrichissement) (Figure 16), la fréquence de détection est plus homogène.

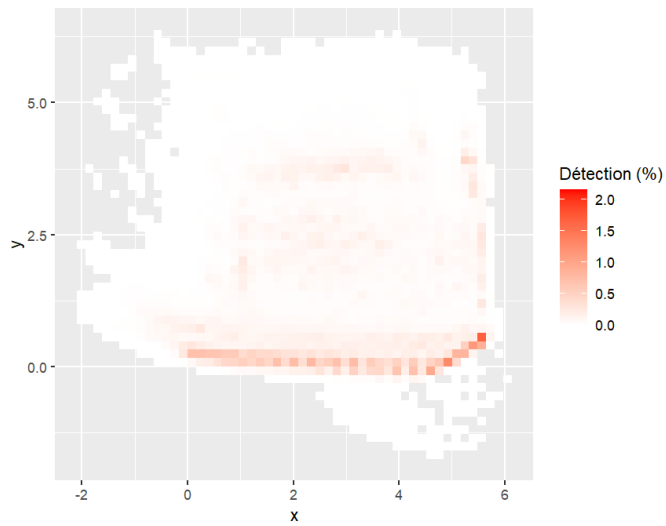


Figure 15 : Carte du pourcentage de détections lot enrichi (avant enrichissement)

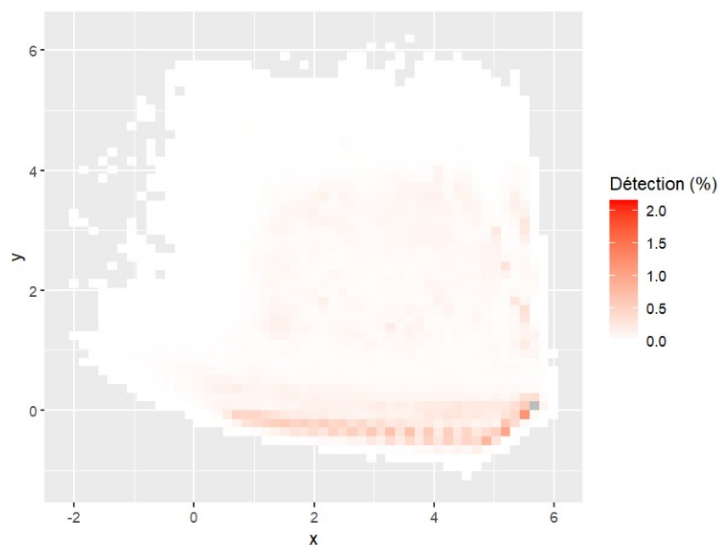


Figure 16 : Carte du pourcentage de détections du lot enrichi (pendant enrichissement)

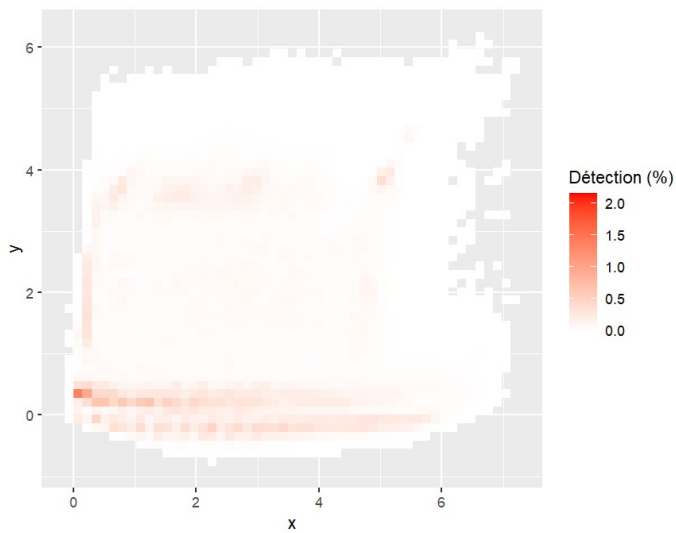


Figure 17 : Carte du pourcentage de détections du lot non enrichi

Concernant la distance au plus proche voisin (Figure 18), on ne constate pas de différences significatives sur le lot enrichi avant et pendant enrichissement (test de Student, $\alpha = 0,05$, $t = 1,9822$, $df = 38,649$, $p\text{-value} = 0,055$).

Lorsque l'on trace la courbe montrant l'évolution de la distance au plus proche voisin entre 7h et 20h (Figure 19), on constate une diminution de la distance entre les chèvres entre 13h et 14h, ce qui correspond à l'heure où l'aliment est distribué.

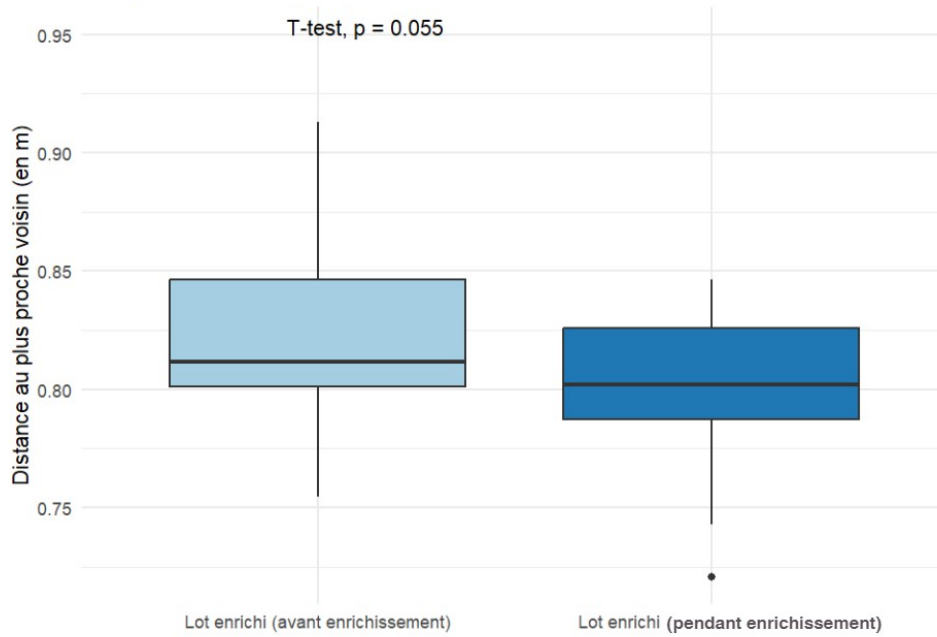


Figure 18 : Comparaison de la distance au plus proche voisin du lot enrichi avant et pendant enrichissement

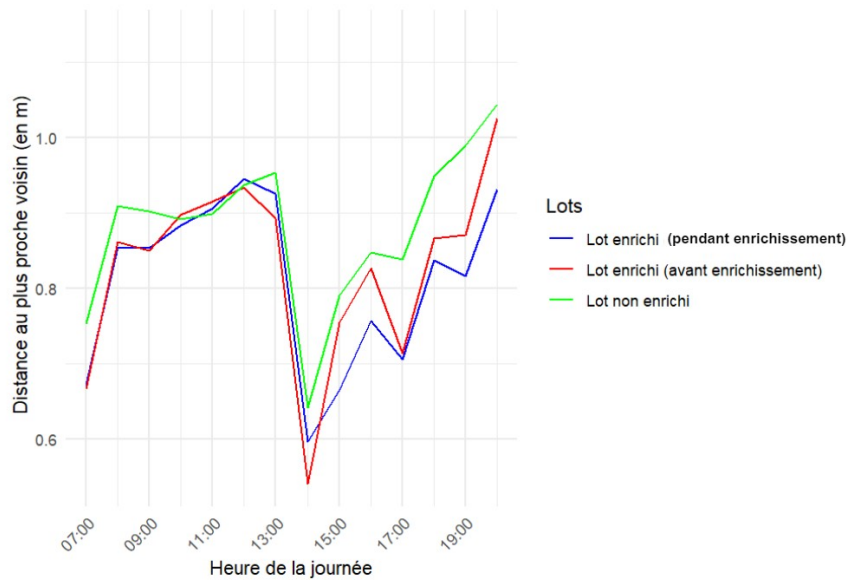


Figure 19 : Distance au plus proche voisin (en m) selon l'heure de la journée

4.3. Dynamique de l'activité des lots

Concernant l'activité des lots (Figures 20 et 21), on constate que les durées moyennes horaires sont plus élevées dans les zones Alimentation et Eau entre 14h et 16h ce qui correspond aux heures où l'aliment est distribué. On constate ensuite une baisse de présence dans ces zones ainsi que dans la zone de la brosse (Figure 25) entre 10h et 13h. Durant cette période, les chèvres se situent plutôt dans les zones Autre, Croix, Cabane et Podium (Figures 23, 27, 28 et 29). Enfin, on constate un pic à 9 h et vers 16h pour les zones de la pierre à sel, de la brosse, de la nouvelle brosse et de la balle à foin (Figures 22, 24, 26 et 31). Ces horaires correspondent à la fin des traites du matin et du soir. Pour le cube (Figure 30), on constate plusieurs pics tout au long de la journée.

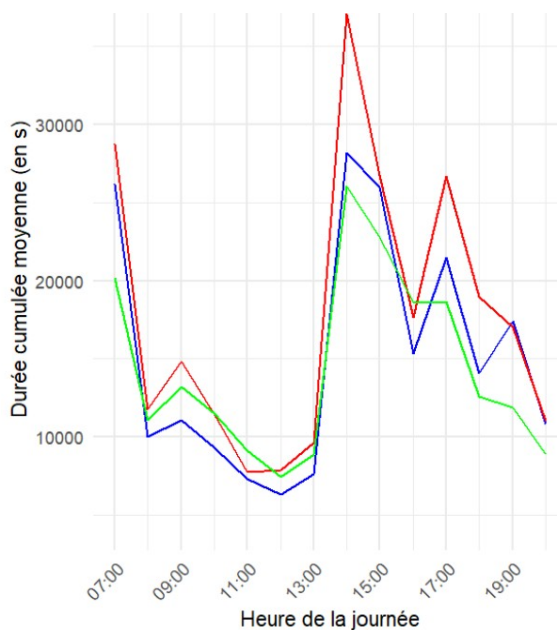


Figure 20 : Durées moyennes horaires pour la zone Alimentation selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement), en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi)

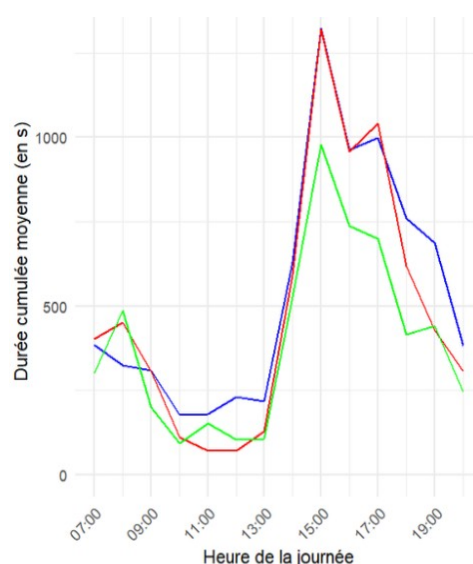


Figure 21 : Durées moyennes horaires pour la zone Eau selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement), en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi)

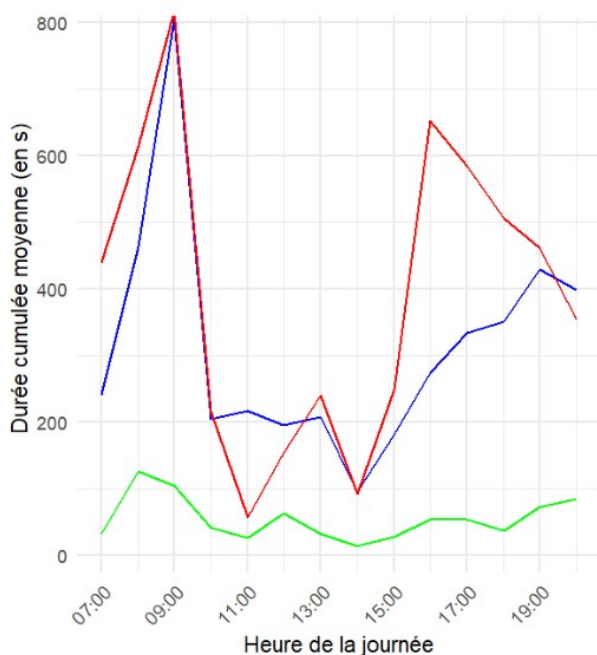


Figure 23 : Durées moyennes horaires pour la zone Pierre à sel selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement), en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi)

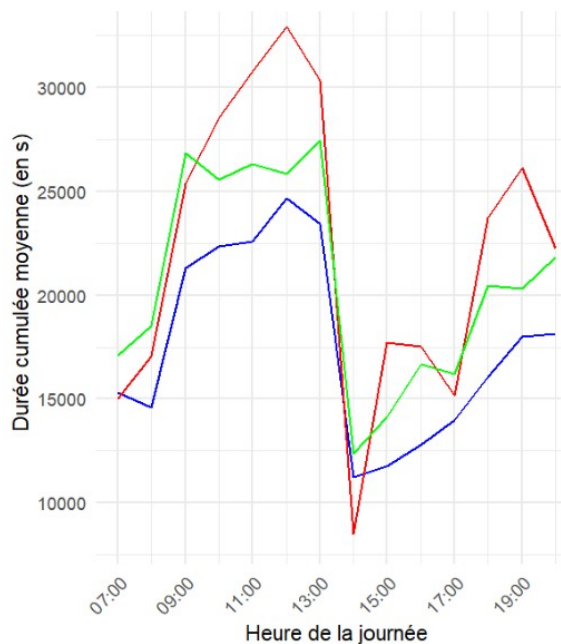


Figure 22 : Durées moyennes horaires pour la zone Autre selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement), en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi)

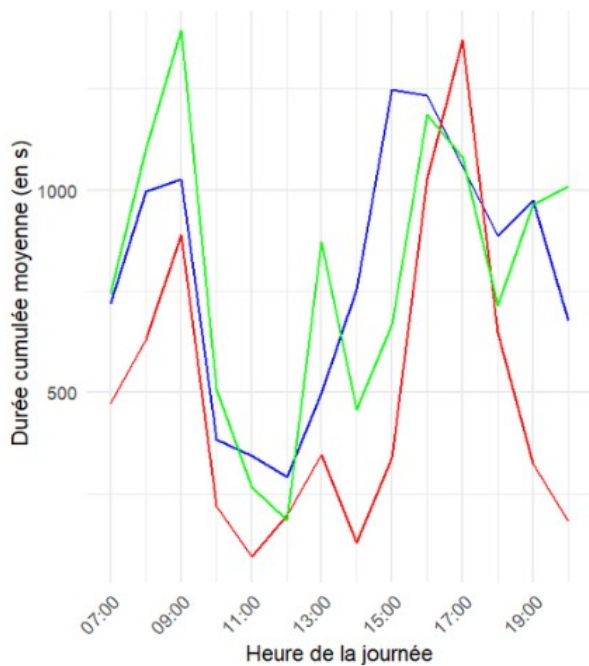


Figure 25 : Durées moyennes horaires pour la zone Brosse selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement), en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi)

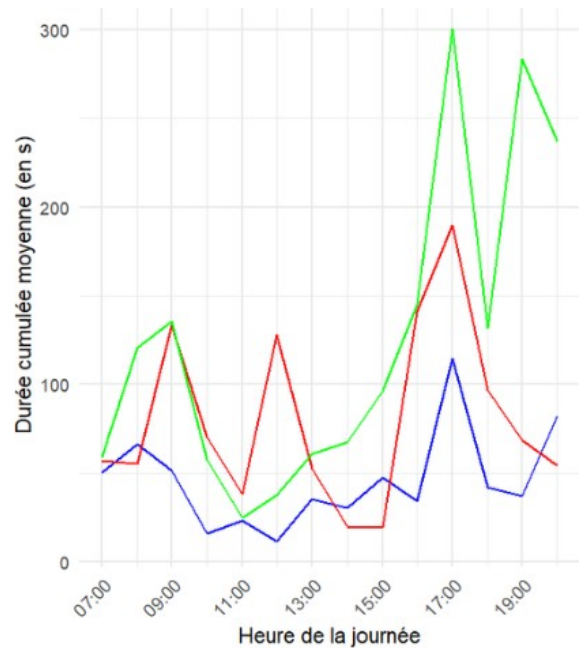


Figure 24 : Durées moyennes horaires pour la zone Râtelier selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement), en rouge lot enrichi (avant enrichissement) et en vert lot non enrichi)

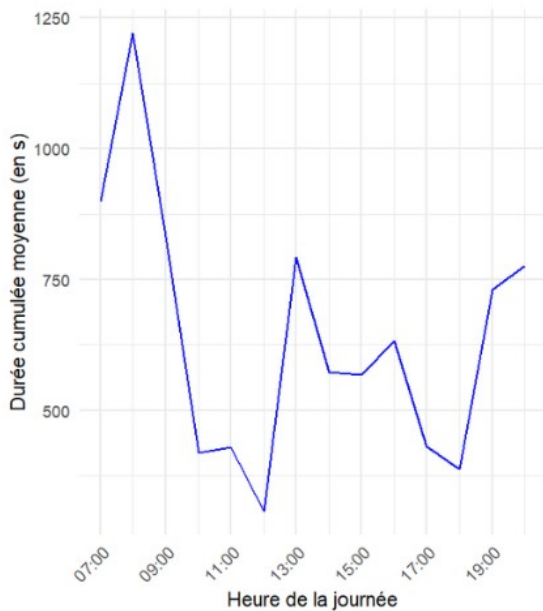


Figure 26 : Durées moyennes horaires pour la zone Nouvelle Brosse selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement))

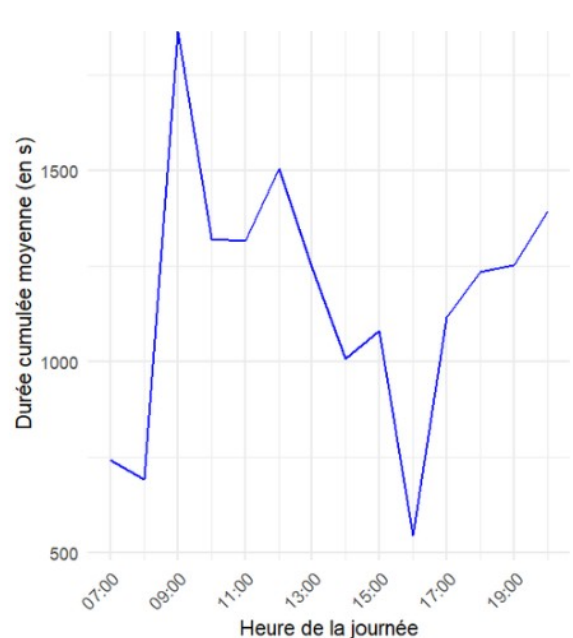


Figure 27 : Durées moyennes horaires pour la zone Croix selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement))

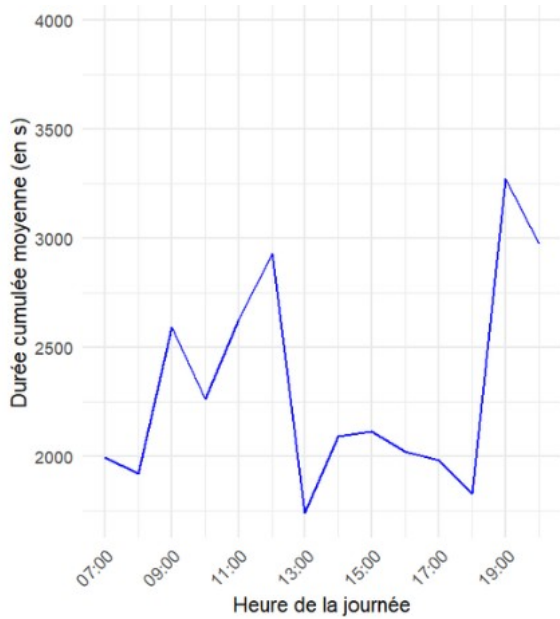


Figure 28 : Durées moyennes horaires pour la zone Cabane selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement))

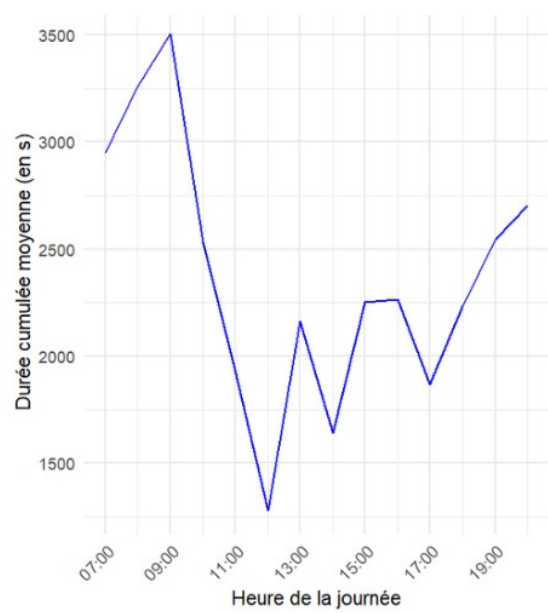


Figure 29 : Durées moyennes horaires pour la zone Podium selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement))

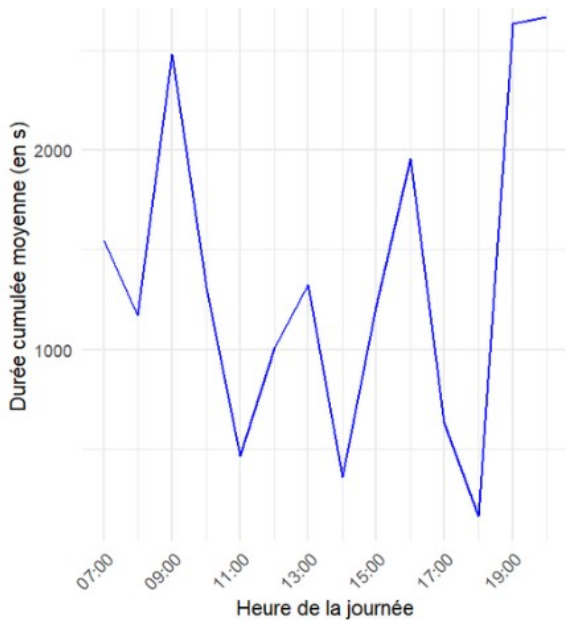


Figure 30 : Durées moyennes horaires pour la zone Cube selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement))

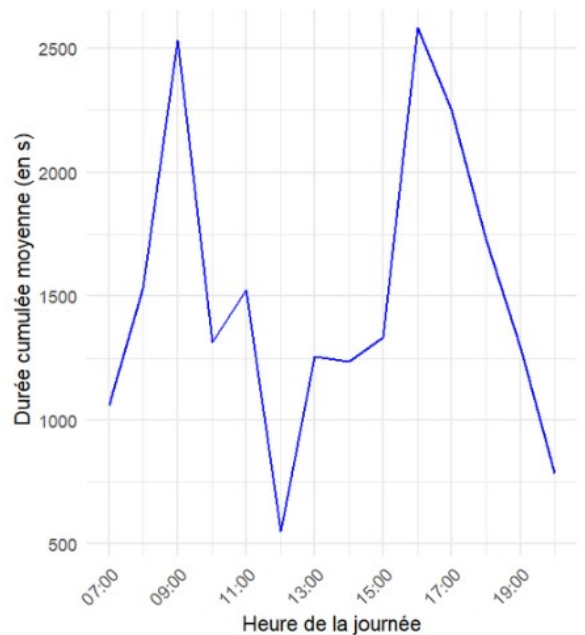


Figure 31 : Durées moyennes horaires pour la zone Balle à foin selon l'heure de la journée (en bleu, lot enrichi (pendant enrichissement))

Concernant la vitesse moyenne des animaux (Figure 32), on constate une diminution de la vitesse entre 7h (heure du retour de la traite) et 12h puis une augmentation entre 12h et 15h (heure de début de traite). De plus, on constate une hausse significative de la vitesse après la mise en place des enrichissements (test de Wilcoxon, $\alpha = 0,05$, $w = 7$, $p\text{-value} = 6,683.10^{-14}$) (Figure 33).

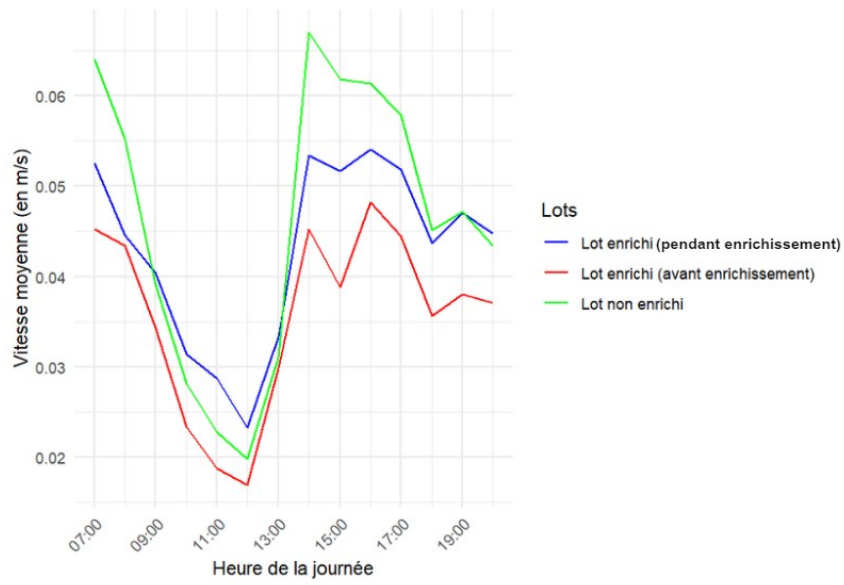


Figure 32 : Vitesse moyenne (en m/s) selon l'heure de la journée

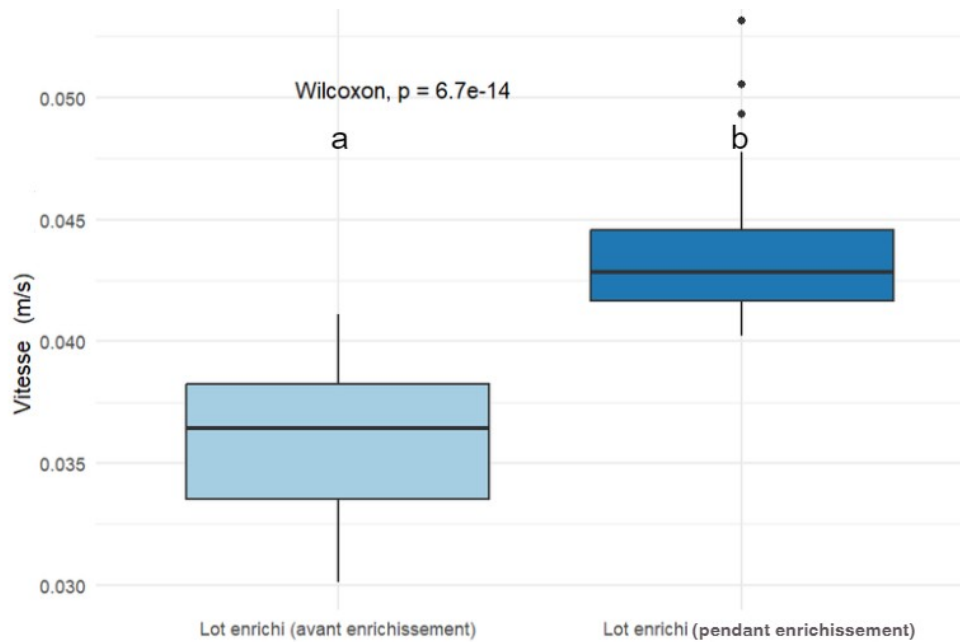


Figure 33 : Comparaison de la vitesse moyenne du lot enrichi avant et pendant enrichissement

Les moyennes des proportions de temps passé dans les zones Alimentation, Eau, Pierre à sel, Brosse et Râtelier sont significativement différentes pour le lot enrichi (avant enrichissement) et le lot non enrichi comme le montre les résultats des tests de Student (Tableau 4). Les animaux du lot enrichi passent plus de temps dans les zones Alimentation, Eau, Pierre à sel, Brosse et Râtelier que les animaux du lot non enrichi (Figures 34 à 38).

Tableau 4 : Présentation des résultats des tests de Student ($\alpha = 0,05$) pour le lot enrichi (avant enrichissement) et non enrichi

	Alimentation	Eau	Pierre à sel	Brosse	Râtelier
t	18,91	11,14	8,9387	3,0293	2,5692
df	21,073	21,409	20,044	21,489	25,184
p-value	$1.066.10^{-14}$	$2,258.10^{-10}$	$1,978.10^{-8}$	0.006269	0,0165

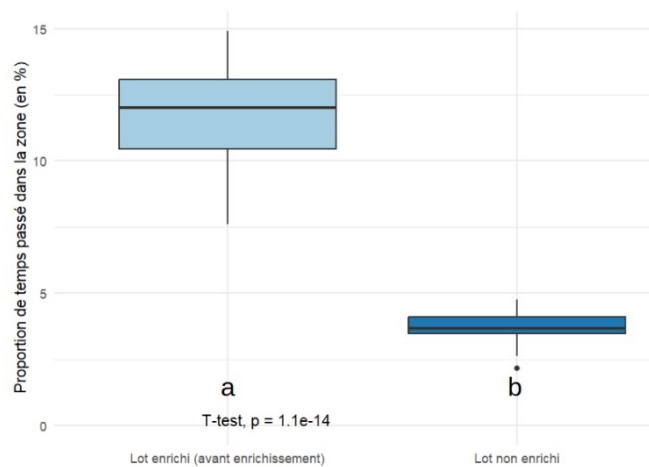


Figure 34 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Alimentation pour le lot enrichi et non enrichi

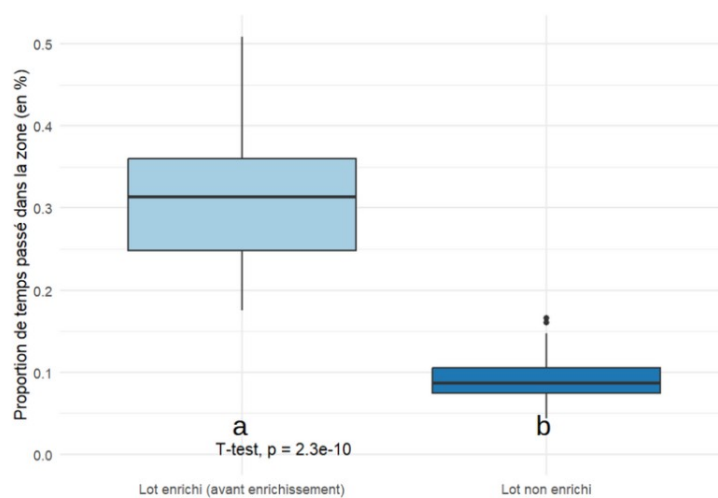


Figure 35 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Eau pour le lot enrichi et non enrichi

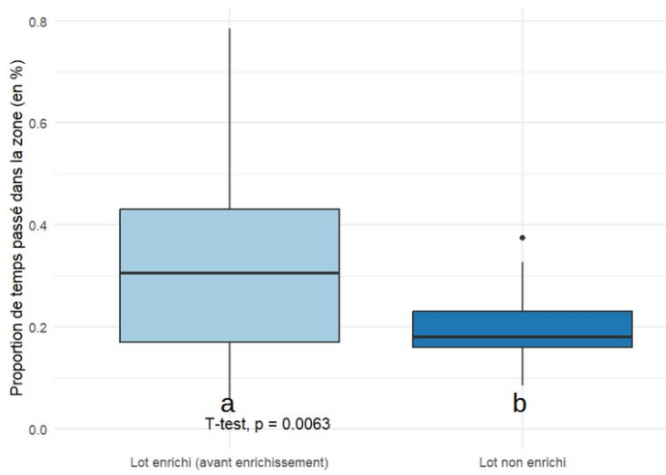


Figure 36 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Brosse pour le lot enrichi et non enrichi

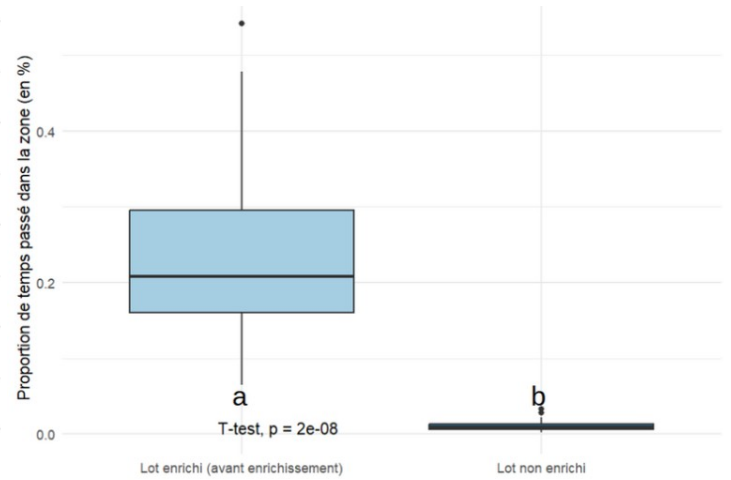


Figure 37 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Pierre à sel pour le lot enrichi et non enrichi

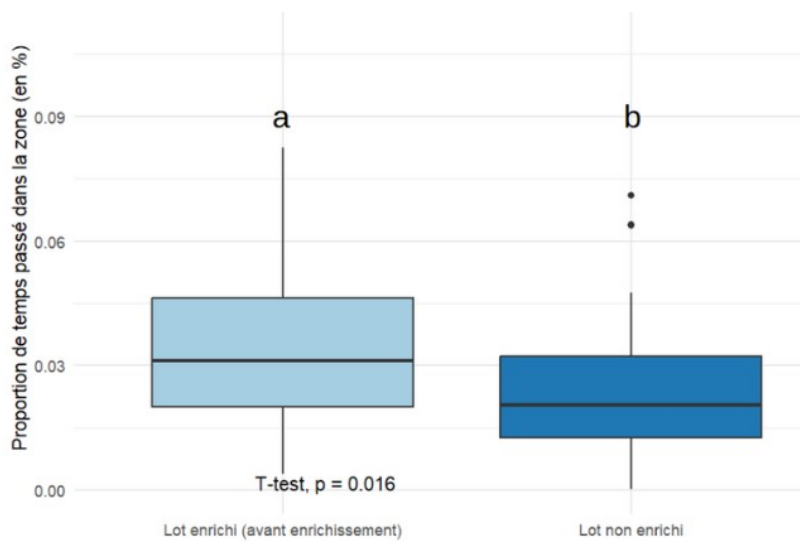


Figure 38 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Râtelier pour le lot enrichi et non enrichi

Les moyennes des proportions de temps passé dans les zones Alimentation, Eau, Pierre à sel et Râtelier sont significativement différentes avant et pendant l'enrichissement, comme le montre les résultats des tests de Student (Tableau 5). La proportion de temps passée dans ces zones par les animaux a diminué après la mise en place des enrichissements (Figures 39, 40, 41 et 43). Seule la moyenne des proportions de temps passé dans la zone Brosse n'est pas significativement différentes entre les deux modalités, ce qui signifie que les animaux ont passé la même proportion du temps dans la zone Brosse en présence ou non d'enrichissement (Figure 42).

Tableau 5 : Présentation des résultats des tests de Student ($\alpha = 0,05$) pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement

	Alimentation	Eau	Pierre à sel	Brosse	Râtelier
t	11,986	4,8397	4,6614	0,10571	4,7543
df	27,436	33,273	25,07	28,713	23,579
p-value	$2,038 \cdot 10^{-12}$	$2,903 \cdot 10^{-5}$	$8,906 \cdot 10^{-5}$	0,9165	$8,091 \cdot 10^{-5}$

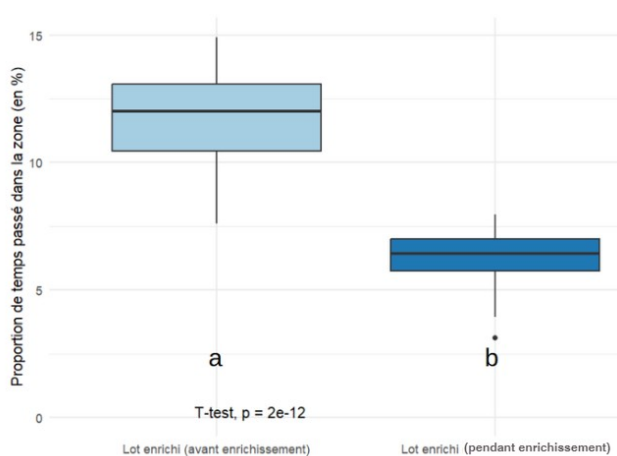


Figure 39 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Alimentation pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement

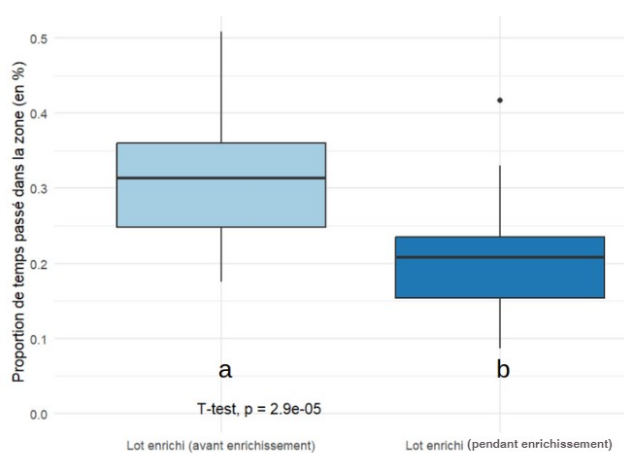


Figure 40 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Eau pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement

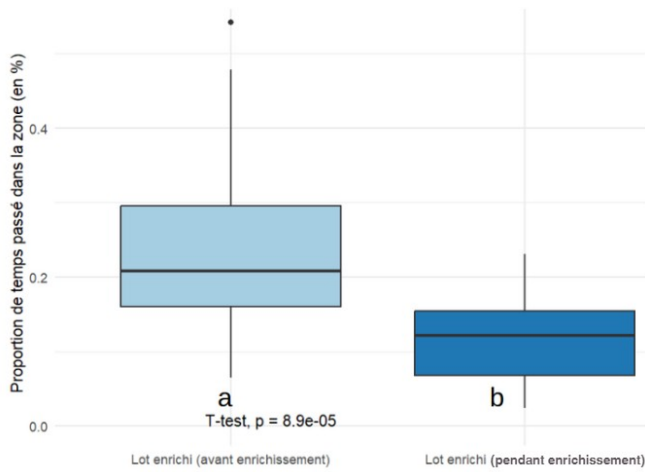


Figure 41 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Pierre à sel pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement

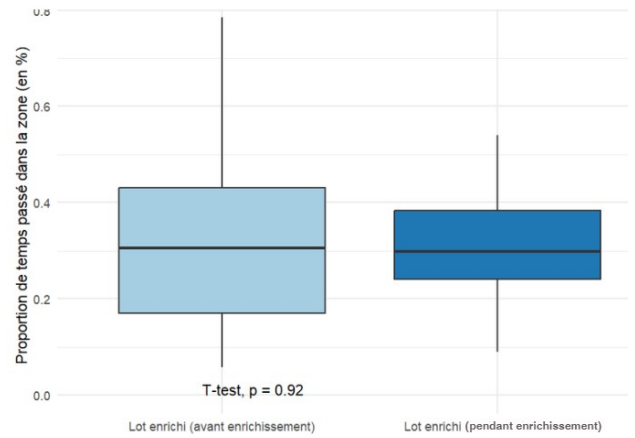


Figure 42 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Brosse pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement

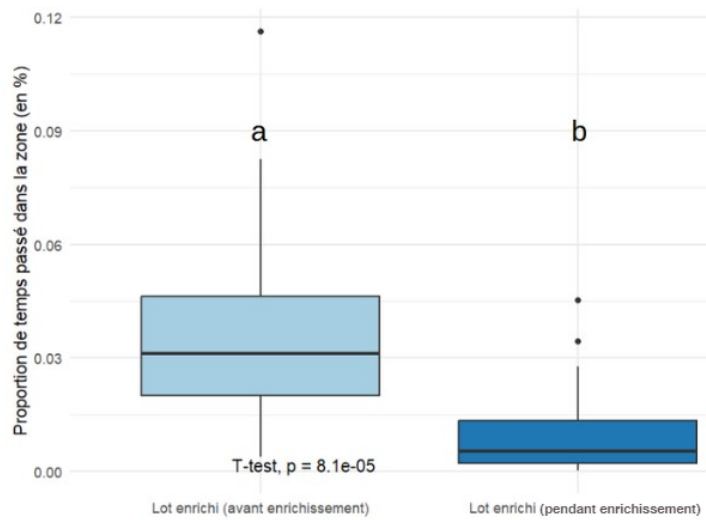


Figure 43 : Comparaison de la proportion du temps passé dans la zone Râtelier pour le lot enrichi avant et pendant enrichissement

5. Discussion, limites et perspectives

5.1. Discussion

5.1.1. Validation

On constate une diminution de l'efficacité du modèle, pour le lot de chèvres enrichies, après la mise en place de l'enrichissement. Tout d'abord, l'augmentation de l'obstruction causée par les enrichissements qui ont été ajoutés dans le parc, rend la détection des chèvres beaucoup plus complexe car celles-ci sont partiellement cachées par les objets. De même, l'entraînement de l'algorithme n'a pas été réalisé avec des images incluant des enrichissements. Lors de ce stage, les annotations d'images ont eu lieu au début du stage, c'est-à-dire avant la phase d'enrichissement, pour gagner du temps. En effet, l'analyse de l'ensemble des vidéos a pris cinq semaines, l'entraînement du modèle et le développement des algorithmes devaient donc se faire dès le début du stage, afin de laisser du temps pour l'analyse et la validation des résultats obtenus. Cette absence d'images provenant de la phase enrichie peut donc perturber l'algorithme car celui-ci n'a pas été entraîné dans un contexte ayant une très forte obstruction liée aux enrichissements.

En ce qui concerne la différence de performance du modèle entre les deux lots, celle-ci peut être liée à l'angle de la caméra. En effet, le placement de la caméra du lot non enrichi a tendance à créer plus d'obstruction que celui du lot enrichi.

Lorsque l'on regarde les matrices de confusion, les zones Alimentation et Autre sont surreprésentées par rapport aux autres zones. Cela est logique car ce sont les comportements les plus réalisés par les chèvres. Le grand nombre de détection dans ces deux zones suppose que les résultats sont plutôt fiables pour ces deux zones. Cependant, pour les autres catégories, il y a assez peu de détections pour chacune des zones donc les résultats obtenus sont moins fiables. Afin d'augmenter la fiabilité de la précision et du *recall* des autres zones, il serait nécessaire de traiter plus d'images lors de la phase de validation des détections.

Pour les trois matrices de confusion, les mauvaises détections concernent principalement les zones du râtelier, de la brosse et de la pierre à sel. Cela s'explique par le fait que les trois objets sont situés à proximité au fond du parc. Or, cette proximité peut créer des cas où les animaux vont être situés devant un des objets (et donc détectés comme utilisant celui-ci) alors qu'ils utilisent un des autres objets. Pour la matrice de confusion du lot enrichi après la mise en place des enrichissements, en plus des échanges cités précédemment, des échanges entre Râtelier et Autre ainsi que Sel et Autre ont été observés. Cela s'explique par le fait qu'en cas de confusion entre deux zones, s'il n'est pas possible de savoir clairement la zone de l'animal, la détection est classée comme Autre.

5.1.2. Dynamiques du troupeau

Pour les trois cartes du pourcentage de détections, on peut constater un nombre de détections plus important dans les zones où est distribué l'aliment, ce qui est cohérent car une grande part de la journée d'une chèvre est dédiée à manger. En effet, un repas dure entre 15 min et 115 min chez la chèvre (Morand-Fehr, Hervieu et Sauvart, 1980) et les chèvres mangent au minimum deux fois par jour en grande quantité et réalisent un certain nombre de petits repas secondaires (Abijaoudé *et al.*, 2000). De plus, beaucoup de chèvres dorment à cet endroit car cette zone est située légèrement en hauteur ce qui offre la possibilité aux chèvres de dormir contre les cornadis (il a été montré que ces deux conditions ont tendance à être plébiscitées par les chèvres pour leur zone de repos (Aschwanden, Keil et Wechsler, 2009)). Or, comme le montre les matrices de confusion du lot enrichi avant et pendant la mise en place de enrichissement, une part des détections dans la zone Alimentation aurait dû être affectée à la zone Autre, zone où les animaux ont tendance à se reposer. On peut donc supposer que le nombre de détections élevé au niveau des cornadis peut aussi être dû aux animaux qui dorment à proximité des cornadis. Pour les cartes du lot enrichi (avant enrichissement) et du lot non enrichi, on peut noter la présence de tâches plus sombres situées au niveau du fond du parc. Cela est logique car c'est au fond du parc que sont installés tous les objets présents dans le parc dans les configurations sans enrichissement, c'est-à-dire le râtelier, la pierre à sel, la brosse et l'abreuvoir. Cependant, l'utilisation de ces objets nécessite que les chèvres restent statiques à proximité de l'objet afin de les utiliser. A l'inverse, pour la carte du lot enrichi (pendant enrichissement), la fréquence de détection est plus homogène, indiquant que les chèvres passent moins de temps statiques au fond du parc par rapport à la période avant la mise en place des enrichissements. Les chèvres auraient donc tendance à plus occuper l'espace en milieu enrichi que dans un milieu non enrichi. Or, l'étude d'Andersen et Bøe (2007) montre que les chèvres préfèrent rester au repos contre une paroi plutôt sans appui. Cela pourrait expliquer pourquoi les chèvres investissent plus le centre du parc en cas de mise en place des enrichissements tels que le podium, la croix ou la cabane, ceux-ci ayant été pensés dans le but de réorganiser l'espace et de créer des zones où les chèvres peuvent se cacher ou s'appuyer.

La diminution de la distance au plus proche voisin ainsi que l'augmentation de la vitesse des animaux entre 13h et 14h sont logiques car c'est aux alentours de cette heure que l'aliment est distribué. Cela provoque un déplacement des chèvres pour s'installer aux cornadis. De même, l'augmentation de la vitesse entre 13h et 14h suivi du maintien à un plateau plus élevé que le reste de la journée peut être expliqué par la présence d'un pic d'activité des chèvres en milieu de journée (Piccione *et al.*, 2008). Les chèvres passent donc plus de temps au repos lors de la matinée, ce qui est cohérent avec les résultats obtenus. En effet, les résultats montrent des durées moyennes horaires élevées pour la zone Autre entre 9h et 14h. De même, les résultats du lot

enrichi (pendant enrichissement) montrent une plus forte utilisation de la croix, de la cabane et du podium le matin après le retour de la traite et avant la distribution d'aliment à 14h. Seul le cube ne suit pas cette dynamique. Cela peut être dû à plusieurs facteurs. Tout d'abord, le cube n'est resté dans le parc que durant trois jours ce qui fait moins de données à analyser que pour les autres enrichissements. De plus, le cube était situé très proche de la zone d'alimentation et celui-ci était utilisé par les chèvres afin d'accéder à l'aliment ce qui peut expliquer les détections en dehors des temps de repos.

On constate que les durées cumulées des zones Alimentation et Eau suivent la même tendance quelles que soit la modalité ou le lot. Cela laisse supposer une corrélation entre l'heure de la prise alimentaire et celle de l'abreuvement, ce qui est en accord avec la littérature existante (Rossi et Scharrer, 1992).

En ce qui concerne l'utilisation des brosses, on constate que la brosse placée dès le début de l'expérimentation est principalement utilisée aux heures de retour de traite et la nouvelle brosse lors du retour de la traite de matin. Il n'existe pas de références bibliographiques concernant les horaires d'utilisation des brosses par les chèvres. Il n'est donc pas possible de savoir si l'usage des brosses fait par les chèvres durant l'expérimentation est similaire à celui d'autres chèvres.

L'utilisation du râtelier est plutôt en fin de journée après le retour de la traite, ce qui pourrait suggérer une prise alimentaire en retour de traite. De même, on constate une utilisation de la balle à foin aux horaires de retour de traite. Or, la prise alimentaire des chèvres est effectuée au cours de plusieurs repas (Abijaoudé *et al.*, 2000). L'utilisation du râtelier ou de la balle à foin pourrait être considérée comme des repas complémentaires par les animaux. Il est toutefois à noter que la balle à foin se situait très proche du portillon du parc. Les détections réalisées à ces heures pourraient donc être dues au passage des chèvres à proximité de la balle à foin plutôt que par son utilisation.

Enfin, l'utilisation de la pierre à sel est plutôt le matin pour les chèvres du lot enrichi et en augmentation après la distribution du repas. Or, il a été montré que les chèvres ont tendance à utiliser la pierre à sel durant leur repas (Morand-Fehr, Hervieu et Sauvart, 1980) ce qui pourrait expliquer l'augmentation de son utilisation après 14h. Cependant, on ne retrouve pas ces variations sur le lot non enrichi.

Le modèle permet toutefois d'obtenir des résultats globalement cohérents avec la littérature existante.

Quelque soit la zone concernée, on constate une différence significative pour la proportion du temps passé dans une zone pour les chèvres du lot enrichi (avant enrichissement) et celles du lot non enrichi. Cette différence peut indiquer que le comportement des deux lots est différent. Cela est cohérent avec les résultats obtenus pour les vitesses des chèvres. En effet, la vitesse est plus élevée dans le lot non enrichi que dans le lot enrichi (avant enrichissement). Il n'y a donc pas

le même niveau d'activité entre les deux lots. Cependant, il est aussi possible de penser que cette différence entre les deux lots est due à la méthode utilisée. En effet, la performance du modèle n'est pas équivalente entre les deux parcs, possiblement à cause de l'angle de caméra utilisé et du géoréférencement.

Une hausse significative de la vitesse est observée après l'introduction des enrichissements. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les chèvres interagissent avec les nouveaux éléments présents dans le parc.

En ce qui concerne la distance au plus proche voisin, on ne constate pas de différence significative avant et après la mise en place d'enrichissements. Ce résultat est en désaccord avec la littérature existante. En effet, dans l'étude d'Aschwanden, Keil et Wechsler, (2009), la majorité des chèvres ont une distance au plus proche voisin se situant entre 50cm et 1m ce qui est cohérent avec les résultats que nous avons obtenus (la distance au plus proche voisin obtenue est en moyenne entre 80cm et 85cm). Cependant, cette étude indique que cette distance devrait diminuer après la mise en place d'enrichissement car les enrichissements cloisonnant l'espace (tels que le podium, la croix ou encore la cabane) cachent les chèvres de leurs congénères ce qui a tendance à diminuer les comportements agonistiques et donc à assurer une meilleure cohésion du troupeau.

Après la mise en place des enrichissements, on a pu constater une diminution significative du temps passé dans les zones alimentation, eau, pierre à sel et râtelier. On peut supposer une meilleure stimulation des chèvres et donc une tendance à moins aller dans ces zones par ennui. Cependant, afin de savoir si la diminution de la prise alimentaire est réelle, il serait intéressant de quantifier la quantité de fourrage ingérée. En effet, la méthode utilisée ici ne permet de connaître que le temps passé dans une zone. Nous n'avons donc pas d'information sur l'activité réelle effectuée dans la zone. Or, comme l'ont montrées les matrices de confusion, la zone Alimentation est confondue majoritairement avec la zone Autre, zone au centre du parc et dans laquelle les chèvres dorment. Il est donc possible que cette baisse du temps passé dans les zones Alimentation, Eau, Pierre à sel et Râtelier soit en fait liée au repos au des chèvres. Après la mise en place des enrichissements, les chèvres passeraient donc moins de temps à dormir contre les barrières du parc (là où sont situées les zones en question) et privilégieraient le repos au milieu du parc contre les enrichissements. Cette idée est en accord avec les cartes représentant la fréquence de détections des animaux dans le parc. En effet, on constate sur celle-ci une répartition des chèvres qui est plus homogène pendant la période d'enrichissement.

Le niveau d'utilisation de la brosse reste constant avant et après l'enrichissement, indiquant qu'il n'y a pas eu de changement dans l'utilisation de la brosse mise en place dès le début de l'enrichissement. On aurait pu s'attendre à ce que les chèvres délaissent l'ancienne brosse après l'installation de la nouvelle, soit en raison de l'effet de nouveauté (apparition d'un objet inconnu

dans le milieu), soit parce que la nouvelle brosse, moins usée, pourrait offrir une meilleure qualité de brossage. Il est toutefois à noter que l'activité de brossage a globalement augmenté après la mise en place de l'enrichissement. En effet, les chèvres ont commencé à utiliser la nouvelle brosse en complément de l'ancienne.

5.2. Limites et Perspectives

Plusieurs limites peuvent être mises en évidence pour cette expérimentation.

Lors de la mise en place de l'expérimentation, l'angle de caméra choisi et le nombre élevé d'animaux présents dans les parcs créent de l'obstruction. Il pourrait donc être judicieux de changer le placement en la positionnant, par exemple, sur le plafond au centre du parc (Saraswathi *et al.*, 2020 ; Siriani *et al.*, 2022). De plus, la diminution de l'obstruction pourrait avoir un effet favorable sur le tracking des animaux car celui-ci est directement impacté par la qualité des détections. De même, lors du choix des enrichissements, il pourrait être pertinent de diminuer le nombre d'enrichissement présents simultanément dans le parc afin de limiter les cas de détections dans plusieurs zones. En effet, l'attribution d'une zone est décidée en fonction du nombre de pixel présent dans chacune des deux (la zone ayant le plus de pixel en commun avec la détection est celle à laquelle on attribue la détection). Or, le nombre de pixel par zone n'est pas un critère suffisamment fiable pour déterminer la zone de l'animal car celui-ci peut, par exemple, s'étirer pour accéder à un objet alors qu'il est situé devant un autre. Il faut donc éloigner au maximum les objets et éviter que différents objets soient dans le même alignement (comme il n'y a pas de notions de profondeurs au sein des matrices, on ne peut pas savoir si l'animal utilise un objet situé au premier plan ou s'il utilise celui situé au fond du parc). De même, certains des éléments considérés comme fixes ont été déplacés de quelques dizaines de centimètres durant l'expérimentation (lors du paillage du parc par exemple). Cela a conduit à tracer des zones plus grandes autour des objets ce qui augmente le risque que les animaux soient dans plusieurs zones à la fois. Afin que les éléments ne bougent plus et/ou soient replacés exactement au même endroit, il pourrait être intéressant de les fixer si cela est possible ou de tracer un espace délimitant leur emplacement (au mur par exemple). Si la fixation de l'enrichissement n'est pas possible, il pourrait être envisageable d'entraîner YOLO à détecter les enrichissements. De même, il pourrait être intéressant de choisir des enrichissements ne provoquant pas d'obstruction (pas d'enrichissement trop volumineux, trop haut ou permettant à un animal de rentrer dedans) afin de limiter ce phénomène.

Lorsque l'on ajoute trop d'éléments dans le parc (animaux et/ou enrichissement), la détection de YOLO se détériore (faux positif sur des enrichissements, oublis de chèvres). Cela pourrait être dû à l'absence d'images en contexte d'enrichissement et au faible nombre d'images provenant de la chèvrerie lors de l'entraînement de l'algorithme. En effet, la majorité des images provenaient de CherryChèvre, qui est une base de données regroupant des images de chèvres en

extérieur.

D'autres limites ont été constatées au moment du codage de la partie permettant d'attribuer les zones aux détections. Tout d'abord, la définition des zones est faite dans le même script Python que la détection. Si l'on veut modifier les zones pour essayer différentes configurations, cela oblige à refaire les détections. Or, la détection est une étape coûteuse en calcul et donc longue. Il pourrait donc être judicieux de séparer ces deux parties en deux scripts afin de réaliser une première base de données contenant toutes les détections puis dans un second temps attribuer aux détections leur zone. De même, afin de faciliter le stockage des données, il pourrait être intéressant de réduire le poids des fichiers vidéos. Dans le cadre de cette expérimentation, les vidéos avaient 25 images par seconde. Or, l'algorithme n'utilise qu'une image toutes les 12 images pour réaliser les détections. Il serait donc judicieux d'extraire des vidéos ayant seulement une ou deux images par seconde.

Une autre limite concerne le géoréférencement car celui-ci est peu précis ce qui empêche de comparer les deux lots pour les distances au plus proche voisin. Il serait judicieux d'utiliser une méthode plus robuste que la corde pour effectuer les mesures. De même, un meilleur placement de caméra pourrait également limiter les phénomènes de distorsion de l'image et donc faciliter le géoréférencement.

Conclusion

En conclusion, cette expérimentation a cherché à déterminer si l'intelligence artificielle pouvait être utilisée pour détecter automatiquement les comportements des chèvres sur aire paillée et observer les effets des enrichissements sur leur comportement. Plusieurs hypothèses ont été explorées : premièrement, que l'intelligence artificielle est capable de détecter et de suivre individuellement les chèvres dans cet environnement ; deuxièmement, que les comportements des chèvres sont effectivement influencés par la mise en place d'enrichissements et enfin, que la distribution spatiale des chèvres dans le parc est modifiée par ces enrichissements.

Les résultats obtenus lors de cette expérimentation nous ont permis de constater que la dynamique spatiale du lot enrichi est modifiée après la mise en place d'enrichissement. De même, le temps passé dans les différentes zones est modifié après la mise en place d'enrichissement ce qui traduit une modification du comportement des chèvres. On constate aussi une différence du niveau d'activité des deux lots. Enfin, on constate que l'on retrouve bien la routine des chèvres, avec des temps calmes le matin, un pic d'activité autour de la distribution d'aliment et un niveau d'activité plus élevé l'après-midi par rapport au matin. L'intelligence artificielle peut être utilisée efficacement dans un contexte de chèvres vivant en bâtiment, même si le dispositif actuel nécessite encore quelques améliorations. De plus, ce stage aura permis d'identifier les éléments clés pour une utilisation optimale de l'intelligence artificielle dans ce contexte.

Pour améliorer les futures analyses comportementales, il serait pertinent d'améliorer la

détection des chèvres en réduisant les obstructions. Pour cela, il pourrait être judicieux de réduire la taille du troupeau et de modifier l'emplacement des caméras. De même, il serait intéressant de répartir plus efficacement les enrichissements dans l'ensemble du parc, afin d'éviter qu'ils ne soient concentrés en un seul endroit. Une possible perspective pour ce travail serait d'appliquer cette approche aux enregistrements vidéo nocturnes afin d'obtenir une vision plus complète de la routine des chèvres, incluant leur comportement durant la nuit. De même, lors de l'expérimentation, les enrichissements pouvant être déplacés par les animaux n'ont pas été pris en compte. Il pourrait donc être intéressant de modifier la méthode utilisée lors de ce stage afin de quantifier les interactions qu'ont les animaux avec ceux-ci car ils constituent aussi un enrichissement du milieu.

Enfin, associer cette méthode d'observation avec des techniques classiques d'éthologie permettrait de valider et de renforcer la fiabilité des résultats obtenus, en croisant les données issues de ces deux approches complémentaires.

Bibliographie

- Abijaoudé J. A., Morand-Fehr P., Tessier J., Schmidely P. et Sauvart D.**, 2000. Contribution of main and secondary meals to the daily intake of stall-housed dairy goats in mid lactation. Dans : Ledin I. (ed.), Morand-Fehr P. (ed.) *Sheep and Goat Nutrition: Intake, Digestion, Quality of Products and Rangeland*. Cahiers Options Méditerranéennes. 52, p. 33-37.
- Aharon N., Orfaig R. et Bobrovsky B.-Z.**, 2022. BoT-SORT: Robust Associations Multi-Pedestrian Tracking. *Arxiv Cornell University*. DOI : <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.1465>
- Andersen H. M., Dybkjær L. et Herskin M. S.** 2014. Growing pigs' drinking behaviour: number of visits, duration, water intake and diurnal variation. *Animal*, 8(11), p. 1881-1888. DOI : 10.1017/S175173111400192X
- Andersen I. L. et Bøe K. E.**, 2007. Resting pattern and social interactions in goats—The impact of size and organisation of lying space. *Applied Animal Behaviour Science*, 108, p. 89-103. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.10.015>
- ANSES.** 2015. *Avis de l'ANSES Saisine n° « 2013-SA-0180 »*. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2013sa0180.pdf> (Consulté le 10/04/2024)
- ANSES.** 2018. *Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au « Bien-être animal : contexte, définition et évaluation »*. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2016SA0288.pdf#page15> (Consulté le 10/04/2024)
- ArcGIS ressource**, 2024. *Géoréférencement et systèmes de coordonnées* <https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles/026n0000000s000000.htm> (Consulté le 30/05/2024)
- Aschwanden J., Gygax L., Wechsler B. et Keil N. M.**, 2009. Loose housing of small goat groups: Influence of visual cover and elevated levels on feeding, resting and agonistic behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*, vol 119, p. 171-179. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.04.005>
- Aschwanden J., Keil N. M. et Wechsler B.**, 2009. *Détention des chèvres en stabulation libre en petits groupes : Moins d'agressions grâce à une meilleure structuration*. https://www.google.com/url?q=https://www.researchgate.net/publication/326403070_Detention_des_chevres_en_stabulation_libre_en_petits_groupes_Moins_d%2527agressions_grace_a_une_meilleure_structuration&sa=D&source=docs&ust=1725566433336048&usq=AOvVaw3o8ENa6Zoc357roJejlOZH (Consulté le 20/08/2024)
- Attzs M. N. J., Mahendrakar T., Meni M. J., White R.T. et Silver I.**, 2023. Comparison of Tracking-By-Detection Algorithms for Real-time Satellite Component Tracking. *IEEE*. <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5751&context=smallsat>
- Battini M.**, 2015. *Animal Welfare Indicators (AWIN) welfare assessment protocol for goats*. https://www.researchgate.net/profile/Monica-Battini/publication/275341689_AWIN_welfare_assessment_protocol_for_goats/links/5538edb00cf247b8587d8697/

[AWIN-welfare-assessment-protocol-for-goats.pdf?](#)

[origin=publication_detail& tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uRG93bmVvYWQlLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvb2I9fQ#page44](#) (Consulté le 03/08/2024)

Barwick J., Lamb D. W., Dobos R., Welch M. et Trotter M., 2018, Categorising sheep activity using a tri-axial accelerometer, *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, p. 289-297 DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.007>.

Benaissa S., Tuytens F. A. M., Plets D., de Pessemier T., Trogh J., Tanghe E., Martens L., Vandaele L., Van Nuffel A., Joseph W. et Sonck B. 2019. On the use of on-cow accelerometers for the classification of behaviours in dairy barns. *Res Vet Sci*. Aug;125:425-433. DOI : 10.1016/j.rvsc.2017.10.005.

Berthelot M., Andrade A. , Delalande M. , Botreau R. , Deiss V., Mialon M.-M. , Baudry C. et Paraud C., 2023. Effets de l'enrichissement du milieu sur le comportement, la croissance et la santé des chevrettes avant sevrage. *52ème colloque de la Société Française pour l'Etude du Comportement Animal (SFECA)*, Tours, France.

DOI : <https://hal.inrae.fr/hal-04210370>

Billah M., Wang X., Yu J. et Jiang Y., 2022. Real-time goat face recognition using convolutional neural network, *Computers and Electronics in Agriculture*, 194, 106730, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106730>.

Blokhuis H.J., 2008. International cooperation in animal welfare: the Welfare Quality® project. *Acta Vet Scand*, 50 (Suppl 1), S10. DOI : <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-S1-S10>

Bloomsmith M.A., Brent L. Y. et Schapiro S. J., 1991. Guidelines for developing and managing an environmental enrichment program for nonhuman-primates. *Laboratory Animal Science*, 41(4), p. 372-377. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1658487/>

Boissy A., Manteuffel G., Bak Jensen M., Oppermann Moe R., Spruijt B., Keeling L.J., Winckler C., Forkman B., Dimitrov I., Langbein J., Bakken M., Veissier I. et Aubert A. 2007. Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. *Physiol Behav*. 92(3): p. 375-397. DOI : 10.1016/j.physbeh.2007.02.003.

Bonneau M., Vayssade J.-A., Troupé W. et Arquet R., 2019. Goats monitoring at the pasture scale combining neural network and time-lapse cameras. European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF), Aug 2019, Cork, Ireland. <hal-02737985>

Botreau R., Mialon M.-M., Berthelot M., Deschrevel L. , Bruno Meunier B. et Caillat H., 2022. Goats' preferences for four types of brushes and impact on their welfare. 26. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants. *Idele; INRAE*, p. 569-572. DOI : <https://hal.inrae.fr/hal-03952675>

Botreau R., Lesimple C., Brunet V. et Veissier I., 2023. Review : Environmental enrichment in ruminants and equines : Introduction. *EURCAW Ruminants & Equines. European Union Reference*

Centre for Animal Welfare.

<https://www.eurcaw-ruminants-equines.eu/wp-content/uploads/2023/04/REV-Ruminants-Equines-2023-01-EN-Environmental-enrichment-in-ruminants-and-equines-Introduction.pdf> (Consulté le 10/04/2024)

Brambell R., 1965. Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. *Command Paper 2836, Her Majesty's Stationery Office*, London, 85p.

Broom D. M., 1987. *Applications of neurobiological studies to farm animal welfare*. In: *Biology of stress in farm animals: An integrated approach*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, p. 101-110.

Casey-Trott T. M. et Widowski T. M., 2018. Validation of an accelerometer to quantify inactivity in laying hens with or without keel-bone fractures. *Animal Welfare*, 27, p. 103-114.

DOI : 10.7120/09627286.27.2.103

Centre national de référence pour le bien-être animal, 2024. *S'informer sur le bien-être animal*. <https://www.cnr-bea.fr/sinformer-sur-le-bien-etre-animal/> (Consulté le 05/05/2024)

Commission Européenne, 2015. *Eurobaromètre spécial 442. Attitudes des Européens à l'égard du bien-être animal*. <https://webgate.ec.europa.eu/ebsm/api/public/deliverable/download?doc=true&deliverableId=54782> (Consulté le 10/04/2024)

Commission Européenne, 2023. *Une enquête Eurobaromètre montre à quel point le bien-être des animaux est important pour les Européens* https://luxembourg.representation.ec.europa.eu/actualites-et-evenements/actualites/une-enquete-eurobarometre-montre-quel-point-le-bien-etre-des-animaux-est-important-pour-les-2023-10-19_fr (Consulté le 10/04/2024)

Clark P. J. et Evans F. C., 1954. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations. *Ecology*, 35 (4),p. 445-453.
DOI : <https://doi.org/10.2307/1931034>

De Almeida et al., in prep. In Botreau R. *et al.*, 2023. Review : Environmental enrichment in ruminants and equines : Introduction. *EURCAW Ruminants & Equines. European Union Reference Centre for Animal Welfare*.

<https://www.eurcaw-ruminants-equines.eu/wp-content/uploads/2023/04/REV-Ruminants-Equines-2023-01-EN-Environmental-enrichment-in-ruminants-and-equines-Introduction.pdf> (Consulté le 10/04/2024)

Duncan I. J. H., 2005. Science-based assessment of animal welfare: farm animals. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 24, (2), p.483-492

Dutta A., Gupta A. et Zisserman A., 2024. *VGG Image Annotator (VIA)* <https://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/software/via/> (Consulté le 10/04/2024)

European Cooperation in Science and Technologie (COST), 2024. *CA21124 - LIFT: Lifting farm animal lives – laying the foundations for positive animal welfare (LIFT)*

<https://www.cost.eu/actions/CA21124/#:~:text=Project%20Description%20MoU,-Description,the%20study%20of%20negative%20experiences> (Consulté le 20/04/2024)

Farm Animal Welfare Council. 2012. FAWC updates the five freedoms. *Veterinary Record*, 131, 357.

Flint M. et Murray P.J., 2001. Lot-fed goats - the advantages of using an enriched environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(4), p. 473-476.

DOI : <https://doi.org/10.1071/EA99119>

Friard O. et Gamba M. BORIS: a free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods in ecology and evolution*, 7(11): p. 1325–1330. DOI : [10.1111/2041-210X.12584](https://doi.org/10.1111/2041-210X.12584)

Gea Farm Technologies, 2024. *CowView The smart way of mobile herd managing.*

<https://www.centralagsupply.com/wp-content/uploads/2017/08/>

[CowView Brochure EN 0315 tcm11-21890.pdf](https://www.centralagsupply.com/wp-content/uploads/2017/08/CowView_Brochure_EN_0315_tcm11-21890.pdf) (Consulté le 06/06/2024)

Gomes K. A. R., Valentim J. K., Lemke S. S. R., Dallago G. M., Ricardo Cruz Vargas R. C. et da Costa Paiva A. L., 2018. Behavior of Saanen dairy goats in an enriched environment. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40. DOI : <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.42454>

Greiveldinger L., Veissier I. et Boissy A., 2009. Behavioural and physiological responses of lambs to controllable vs. uncontrollable aversive events. *Psychoneuroendocrinology*, 34, p. 805-814. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.10.025>

Guarino M. et Berckmans D., 2015. Precision Livestock Farming '15. *European Conference on Precision Livestock Farming*, Milan, Italie. 871p. ISBN 9788890975325.

Guo Y., Wang X., Han M., Xin J., Hou Y., Gong Z., Wang L., Fan D., Feng L. et Han D., 2023. Detection and Localization of Albas Velvet Goats Based on YOLOv4. *Animals*, 13, (20), 3242; <https://doi.org/10.3390/ani13203242>

Hlimi A., El Otmani S., Elame F., Chentouf M., Rachid El Halimi R. et Youssef Chebli Y., 2024. Application of Precision Technologies to Characterize Animal Behavior: A Review. *Animals*, 14(3). DOI : <https://doi.org/10.3390/ani14030416>

Hughes B. O., 1976. Preference decisions of domestic hens for wire or litter floors. *Applied Animal Ethology*, 2 (2), p. 155-165. DOI : [https://doi.org/10.1016/0304-3762\(76\)90043-2](https://doi.org/10.1016/0304-3762(76)90043-2)

Hussain, 2023. YOLO-v1 to YOLO-v8, the Rise of YOLO and Its Complementary Nature toward Digital Manufacturing and Industrial Defect Detection. *Machines*, 11, (7), p.677 DOI : <https://doi.org/10.3390/machines11070677>

IBM Cloud Education. 2020. *Comment fonctionnent les réseaux neuronaux ?.*

https://www.ibm.com/fr-fr/cloud/learn/neural-networks#toc-comment-fo-2K_pocjN

INRAE, 2024. *Project SOUNDWEL : Toward a tool for farmers to evaluate welfare states of pigs: measuring vocal indicators of emotions.* <https://www.soundwel-project.eu/> (Consulté le 21/06/2024)

Jiang M., Rao Y., Zhang J. et Shen Y., 2020. Automatic behavior recognition of group-housed

goats using deep learning, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol 177.

DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105706>

Lawrence A. B., Vigors B. et Sandøe P. 2019. What Is so Positive about Positive Animal Welfare?—A Critical Review of the Literature. *Animals*, 9(10), 783.

DOI : <https://doi.org/10.3390/ani9100783>

Lee J., Jin L., Park D. et Chung Y., 2016. Automatic recognition of aggressive behavior in pigs using a kinect depth sensor. *Sensors*, 16(15). DOI : <https://doi.org/10.3390/s16050631>

Lencioni G. C., de Sousa R. V., de Souza Sardinha E. J. , Corrêa R. R. et Zanella A. J., 2021. Pain assessment in horses using automatic facial expression recognition through deep learning-based modeling. *PLoS ONE*, 16, (10). DOI : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258672>

Lu Y., Mahmoud M. et Robinson P., 2017. Estimating Sheep Pain Level Using Facial Action Unit Detection. In: *2017 12th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017)*, Washington D.C., USA. DOI : 10.1109/FG.2017.56

Luescher U. A., McKeown D. B. et Dean H., 1998. A cross-sectional study on compulsive behaviour (stable vices) in horses. *Equine Veterinary Journal*, 30, (S27), p.14–18.

DOI : <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1998.tb05138.x>

Mandel R., Whay H.R., Klement E. et Nicol C.J., 2016. Invited review: Environmental enrichment of dairy cows and calves in indoor housing. *Journal of Dairy Science*, 99(3), p. 1695–1715. DOI : <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9875>

Meshabaz R. A., Hussein N. J., Mersham M. A. et Mhamed, M. S. 2017. Effect of Using Two Music Types on Non-Pregnant Non-Lactating Arabi Ewes Behaviour As a Tool for Welfare Improvement. *Science Journal of University of Zakho*, 5(4), 301–306. DOI : <https://doi.org/10.25271/2017.5.4.412>.

Morand-Fehr P., Hervieu J. et Sauvant D., 1980. Contribution à la description de la prise alimentaire de la chèvre. *Reprod. Nutr. Dévelop.* 20 (5B), p. 1641-1644.

DOI : <https://doi.org/10.1051/rnd:19800907>

Mounier L. (Coord.), 2021, Le bien-être des animaux d'élevage — Évaluer le bien-être, éditions Quae, 72p.

Nawroz A. K., Dereen O. R., Dana O. I. et Hardi F. M., 2021. Effect of environmental enrichment on behaviours and welfare of meriz goat. *Assiut Veterinary Medical Journal*, vol. 67, p. 11-18.

https://journals.ekb.eg/article_196989_87553325dcbe8d66b527b9594bbcd211.pdf

Noldus, 2024. *The Observer XT*

<https://www.noldus.com/observer-xt?>

[https://www.noldus.com/observer-xt?hsa_acc=5401040478&hsa_cam=1016207978&hsa_grp=1331509230483553&hsa_ad=&hsa_src=o&hsa_tgt=kwd-83219745590809:loc-66&hsa_kw=observer%20xt&hsa_mt=p&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&msclkid=2f270d0df9e41298b3096bd70cb49c4c&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=H%7COBS%7CBranded%20\(E%7CP\)](https://www.noldus.com/observer-xt?hsa_acc=5401040478&hsa_cam=1016207978&hsa_grp=1331509230483553&hsa_ad=&hsa_src=o&hsa_tgt=kwd-83219745590809:loc-66&hsa_kw=observer%20xt&hsa_mt=p&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&msclkid=2f270d0df9e41298b3096bd70cb49c4c&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=H%7COBS%7CBranded%20(E%7CP))

- [%20-%20EU&utm_term=observer%20xt&utm_content=Observer%20XT](#) (Consulté le 05/05/2024)
- Orihuela A., Mota-Rojas D., Velarde A., Strappini-Asteggiano A., de la Vega L. T., Borderas-Tordesillas F. et Alonso-Spilsbury M.**, 2018. Environmental enrichment to improve behaviour in farm animals. *CABI Reviews*. DOI : <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201813059>
- Piccione G., Giannetto C., Casella S. et Caola G.**, 2008. Circadian Activity Rhythm in Sheep and Goats Housed in Stable Conditions. *Folia Biologica (Kraków)*, 56 (3-4), p. 133-137. DOI: https://doi.org/10.3409/fb.56_3-4.133-137
- Prunier A., Tallet C., Lagarrigues G., Sakri O., Audrey Vidal A., Coulon Lauture F., Brulais S., Godin C. et Labyt E.** 2019. Vers une détection automatisée des comportements délétères des porcs en élevage. 51. Journées de la Recherche Porcine, Feb 2019, Paris, France. fhal-02097194f <https://hal.science/hal-02097194/document>
- Pu J., Yu C., Chen X., Zhang Y., Yang X. et Li J.** 2022. Research on Chengdu Ma Goat Recognition Based on Computer Vision. *Animals* , 12,(14), p.1746. DOI : <https://doi.org/10.3390/ani12141746>
- Quris R., Gautier J.-P., Gautier J.-Y. et Gautier-Hion A.**, 1981. Organisation spatio-temporelle des activités individuelles et sociales dans une troupe de *Cercopithecus cephus*. *Revue d'Écologie*, 35 (1), p.37-53. DOI : [hal-01320896](https://doi.org/10.1016/0031-9384(92)90067-C)
- R Core Team.** 2024. *R: a language environment for statistical computing*. <https://www.R-project.org/> (Consulté le 17/08/2024)
- Rasmussen E. B., Newland C. M. et Hemmelman E.**, 2020. The Relevance of Operant Behavior in Conceptualizing the Psychological Well-Being of Captive Animals. *Perspectives on Behavior Science*, 43(3), p. 617-654. DOI : <https://doi.org/10.1007/s40614-020-00259-7>
- Rault J. L., Hintze S., Camerlink I. et Yee J. R.**, 2020. Positive welfare and the like: distinct views and a proposed framework. *Frontiers in veterinary science*, p. 370. DOI : <https://doi.org/10.3390/ani9100783>
- Redmon J., Divvala S., Girshick R. et Farhad A.** 2016. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. Dans : Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, p. 779-788. DOI : <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>
- Rossi R. et Scharrer E.**, 1992. Circadian patterns of drinking and eating in pygmy goats. *Physiology & Behavior*, 51 (5), 1992, p. 895-897. DOI : [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(92\)90067-C](https://doi.org/10.1016/0031-9384(92)90067-C)
- Schütz A. K., Schöler V., Krause E. T., Fischer M., Müller T., Freuling C. M., Conraths F. J., Stanke M., Homeier-Bachmann T. et Lentz H.H.K.** 2021. Application of YOLOv4 for Detection and Motion Monitoring of Red Foxes. *Animals* ,11, p.1723. DOI : <https://doi.org/10.3390/ani11061723>
- Siriani A. L. R., Kodaira V., Mehdizadeh S. A., Nääs I. A., de Moura D. J. et Pereira D. F.**, 2022. Detection and tracking of chickens in low-light images using YOLO network and Kalman

filter. *Neural Comput & Applic*, 34, p. 21987-21997.

DOI <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07664-w>

Saraswathi S., Seong H. C., Dong H. L., Jihwan P. et Sunil C., 2020. Automatic Posture Detection of pigs on real-time using YOLO framework. *JRTI*, 5 (6). ISSN: 2456-3315

Stachurska A., Pięta M., Kloc A., Bocian K. et Cebera M., 2013. Behavioural response to the toy in adult horses of various breeds, sexes and ages. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio EE Zootechnica*, 31(4), p.61-67. ISSN : 0239-4243.

Terven J., Córdova-Esparza D.-M. et Romero-González J.-A., 2023. A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. *Mach. Learn. Knowl. Extr.*, 5, (4), p.1680-1716 DOI : <https://doi.org/10.3390/make5040083>

The GIMP Development Team. 2019. *GIMP*. Retrieved from <https://www.gimp.org>

Tölü C., Göktürk S. et Sava T., 2016. Effects of Weaning and Spatial Enrichment on Behavior of Turkish Saanen Goat Kids. *Asian-Australas J Anim Sci*, 29(6), p. 879–886. DOI : [10.5713/ajas.15.0597](https://doi.org/10.5713/ajas.15.0597)

Ultralytics, 2024. *Ultralytics YOLOv8 Home*. <https://docs.ultralytics.com/#where-to-start> (Consulté le 25/04/2024)

van Erp-van der Kooij E. et Rutter S. M., 2020. Using precision farming to improve animal welfare. *CABI Reviews*, 15. DOI : <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202015051>

Vayssade J.-A., Arquet R., Troupe W. et Bonneau M. 2023a. CherryChèvre: A fine-grained dataset for goat detection in natural environments. *Sci Data* 10, 689. DOI : <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02555-8>

Vayssade J.-A., Godard X. et Bonneau M., 2023b. Wizard: Unsupervised goats tracking algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 209. DOI : <10.1016/j.compag.2023.107831>. <hal-04095526>

Veissier I., Boissy A., Nowak R., Orgeur P. et Poindron P., 1998. Ontogeny of social awareness in domestic herbivores. *Applied Animal Behaviour Science*, 57(3), p. 233-245. DOI : [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(98\)00099-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(98)00099-9)

Veissier I., Kling-Eveillard, F., Mialon M.-M., Silberberg M., De Boyer Des Roches A., Terlouw C., Ledoux D., Meunier B. et Hostiou N. 2019. Élevage De précision Et Bien-être En élevage : La révolution numérique De l'agriculture Permettra-T-Elle De Prendre En Compte Les Besoins Des Animaux Et Des éleveurs ?. *INRAE Prod. Anim.*, 32, p.281-290.

Wilson S. C., Mitlöhner F. M., Morrow-Tesch J., Dailey J. W. et McGlone J.J., 2002. An assessment of several potential enrichment devices for feedlot cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 76(4), p. 259-265. DOI : [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00019-9)

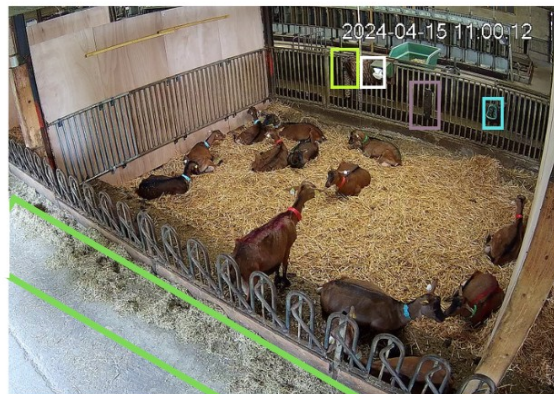
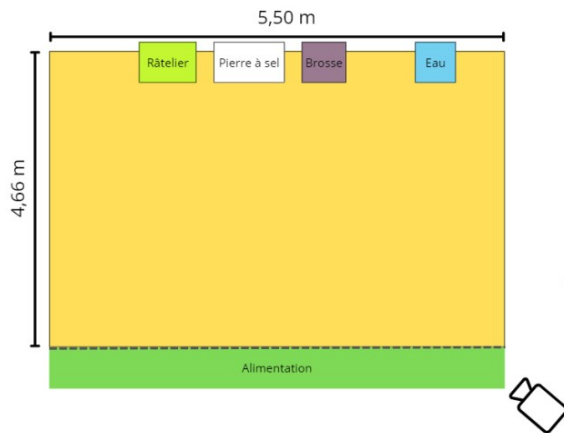
Zhang Y., Sun P., Jiang Y., Yu D., Weng F., Yuan Z., Luo P., Liu W. et Wang X. 2021. ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box. *Arxiv Cornell University*. DOI : <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.06864>

Zobel G. et Nawroth C., 2020. Current state of knowledge on the cognitive capacities of goats and its potential to inform species-specific enrichment. *Small Ruminant Research*, vol 192. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106208>.

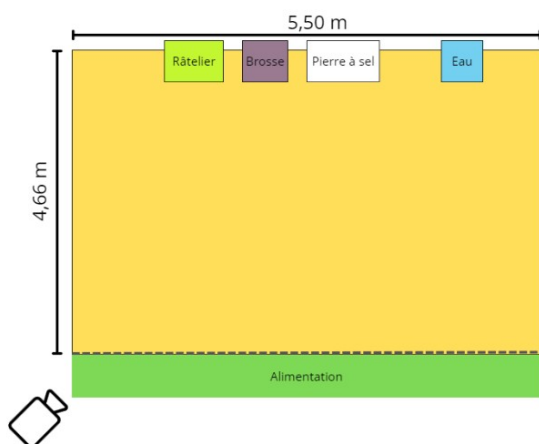
Annexe

Plan des parcs pour les lots enrichi (avant et pendant enrichissement) et non enrichi

Plan lot enrichi : sans enrichissement



Plan lot non enrichi



Plan lot enrichi : Enrichissement

