

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE BATNA1-BATNA-
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES
ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES



THESE

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière

Sciences agronomiques

Option

Gestion des ressources naturelles et de l'environnement

Présentée Par:

Lirya BOUZERIBA

THEME

**PARAMETRES DETERMINANT LES EMISSIONS POLLUANTES,
GAZ ET PARTICULES, DES ELEVAGES DE POULES
PONDEUSES DANS LA REGION DE BATNA**

JURY	Grade	université
Président : Kamel MASMOUDI	Maitre de conférences	Université Batna 1
Rapporteur : Rachid Adjroudi.	Maitre de conférences	Université Batna 1
Examineur : Mouhamed BELOUM	Professeur	Université Batna 1
Examineur : Ilham CHACHAOUA	Maitre de conférences	Université Batna 1
Examineur : Amir AGABOU	Maitre de conférences	Université Constantine 1
Examineur : Charaf BENSARI	Maitre de conférences	Université Constantine 1

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2019-2020

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse, Monsieur *Rachid Adjroudi*. Je le remercie de m'avoir encadrée, orientée et aidée. Vos conseils avisés et remarques toujours constructives, ont contribué à alimenter ma réflexion. Trouvez ici l'expression de mon profond respect et ma sincère gratitude.

A notre président de thèse, Monsieur *Kamel MASMOUDI* qui ma fait l'honneur d'accepter la présidence de jury de thèse, qu'il me soit permis de vous adresser mon hommage respectueux. A mon jury de thèse, Madame *Ilham CHACHAOUA*, Monsieur *Mouhamed BELOUM*, Monsieur *Amir AGABOU*, Monsieur *Charaf BENSARI*, qui mon fait l'honneur de participer à ce jury, veuillez bien accepter le témoignage de mon profond respect.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur *Larbi HUICHI*, qui a pris le temps de discuter de mon sujet. Chacun de ces échanges m'a aidée à faire avancer mon analyse statistique. Un grand merci également à Madame *Hind Chaouekhoine*, pour avoir eu la patience de répondre à mes innombrables questions, partie analyse. Un remerciement particulier à Madame *Safia Khlif*, de m'avoir supportée, moi et mes poules, durant de longues périodes successives d'élevage et de préparation des expérimentations.

Merci également à toute l'équipe d'étudiants en Evaluation Et Protection De l'Environnement, qui ont participé à ce travail par de longues journées passées au laboratoire et des sorties sur terrain pas toujours faciles. Mes pensées vont notamment à *Hadjer Mourad, Hanfer Yasser, Amel Aifa, Manssouri Soumaia, Messoud, Amel Issa Mebrek, Akram Abdelaziz, Wahiba Aoura, Sana Arbi Bey, Manaa, Lounansa, Kadri, Fellahi, Bachir, Ghaném, Khassam, Semmoun, Smail, Belferag Zébouchi, Zegrir.*

J'aimerais exprimer ma gratitude à tous les chercheurs et spécialistes ; *Pierre Emanuel Bournet, Paul Robin, Mélynda Hassouna, Bertnan Meda, Nouria AKKAL*, qui ont pris le temps de contribuer à cette étude à travers des échanges constructifs lors des stages à *l'UMR SAS INRA, Rennes* et à *l'EPHOR d'Agro Campus Ouest, Angers*. Merci d'avoir partagé votre expérience.

Enfin, je tiens à témoigner toute ma gratitude à ma *petite Maman* et à *Yacine*, qui mon soutenue et encouragée dans mes études durant toutes ces années. Merci pour votre patience et soutien inestimable.

***A PAPA, TROP VITE PARTI,
J'AVAIS ENCORE BESOIN DE TOI,
J'ESPERE QUE TU ES FIER DE TA FILLE.***

***A MES TROIS PETITS POUSSINS,
LYRIAM, ANSEM ET ALI-BEY
A QUI JE SOUHAITE UN PARCOURS LABEL, TREEEEEEES LOIN DES CAGES CONVENTIONNELLES...***

***A la source de toute connaissance,
Il ya une idée,
Une pensée,
Puis l'expérience vient confirmer l'idée.***

Claude Bernard.

***La théorie, c'est quand on sait tout et que rien ne fonctionne.
La pratique, c'est quant tout fonctionne et que personne ne sait pourquoi.
Ici, nous avons réuni théorie et pratique : Rien ne fonctionne... et
personne ne sait pourquoi !***

Albert Einstein.

RESUMES

RESUME

La région de Batna est située au Nord-est Algérien, avec un climat semi-aride, est leader dans la production d'œufs de consommation avec 23% des élevages de poules pondeuses à l'échelle nationale et 1705 bâtiments recensés officiellement en 2017. Malgré le caractère intensif du secteur, l'évaluation des émissions atmosphériques à partir de ces élevages reste imprécise voir inexistante. Pour estimer ces émissions, nous avons tout d'abord réalisé une enquête sur les systèmes d'élevage de poules pondeuses en cage de la région. En considérant trois rubriques : le bâtiment et ces équipements, les paramètres de l'élevage et les pratiques d'élevage. L'étude menée a permis de distinguer trois classes de systèmes d'élevage. La première classe est minoritaire, définit un système performant et respectant les normes d'élevage. La seconde, fait la transition entre les deux ; elle offre néanmoins le plus petit espace disponible par poule et le taux de mortalité le plus élevé de la région. La troisième classe, caractérisée par des élevages de petite taille et des équipements modestes, représente plus de la moitié des fermes de la région. La réalisation de mesures des températures, de l'humidité et de la luminance en différents endroits et à différentes hauteurs montre que ces paramètres de l'ambiance interne, augmentent de l'avant vers l'arrière des bâtiments et fluctuent fortement aux trois hauteurs de 1m, 1.5m et 2 m.

Nous avons également procéder au montage de dispositifs expérimentaux pour pouvoir vérifier l'émission de l'ammoniac et des particules à partir de l'animal. Les essais étaient réalisés en conditions semi-contrôlées, où des poules étaient logées dans des cages individuelles. Pour la mesure de l'ammoniac nous avons capté l'air de la cloche, sous laquelle se trouve la poule que nous avons fait barboter dans une solution acide. Les particules émises lors du picorage sont retenues par un boîtier spécifique. Des concentrations d'ammoniac, variant entre 0.1 et 1.37 ppm, ont été enregistrées. Des quantités de particules de l'ordre de 0.01g/ poule/ jour ont été mesurées.

Mots Clés : Poules Pondeuses, Systèmes D'élevage, Climat, Typologie, Ammoniac, Particule, Déjection, Alimentation, Piégeage.

SUMMARY

The region of Batna north-eastern Algeria, with a semi-arid climate, is a leader in egg production with 23% of laying hens nationwide and 1705 buildings officially registered in 2017. Despite the intensive nature of the sector, the assessment of atmospheric emissions from these farms remains unclear or even non-existent. To estimate these emissions, we first conducted a survey of the cage hen breeding systems in the region. This categorization lists three items; the building and these equipments, the parameters of the breeding and the practices of breeding. The study led to distinguish three classes of livestock systems. The first is a minority, but defines a powerful system and respectful of the usual production norms. The second class makes the transition between the two; it nevertheless offers the smallest available space per hen and the highest mortality rate in the region. The third class, characterized by small farms and modest equipment, represents more than half of the farms in the region. The measurement of temperatures, humidity and luminance at different places and at different heights shows that these parameters of the internal atmosphere increase from the front to the rear of the buildings and fluctuate strongly at the three heights 1 m, 1.5 m and 2 m.

We have also installed experimental devices to verify the emission of ammonia and particles from the animal. The tests were conducted in semi-controlled conditions, where hens were housed in individual cages. For the ammonia measurement, we captured the air from the bell, under which the hen is located, which we bubbled in an acid solution. The individual cages are equipped with capture boxes for the measurement of particles during the feeding. Ammonia concentrations varying between 0.1 and 1.37 ppm and particle amounts of the order of 0.01 g / hl / day were measured.

Key words: Laying hens, Breeding systems, Climate, Typology, Ammonia, Particle, excreta, Feeding, Trapping.

الملخص :

تعد منطقة باتنة الواقعة في شمال شرق الجزائر، ذات المناخ شبه الجاف، رائدة في إنتاج البيض ، حيث تضم 23 % من مزارع تربية الدواجن المنتشرة في جميع أنحاء الوطن. كما تعد 1705 مبنى مدرج رسميا في عام 2017. على الرغم من الطابع المكلف لهذا القطاع، إلا أن تقييم الانبعاث الملوثة للغلاف الجوي من المزارع الموجودة في هذه المنطقة لا يزال في خطواته الأولى. لتقدير هذه الانبعاث، أجرينا أولا دراسة إحصائية لأنظمة الدجاج البياض في الأقاليم. يعتمد هذا التصنيف على ثلاثة خصائص، المبنى و معداته ، الطرق المعتمدة في تسييره و كل ما يخص معايير التربية. مكنت الدراسة من التمييز بين ثلاثة فئات من النظم الزراعية. الأولى، تمثل الأقلية، و تعتبر نظام عالي الأداء، يحترم معايير تربية الدواجن. تعتبر الفئة الثانية فئة انتقالية بين الاثنتين. تتميز بأصغر مساحة متاحة للدجاجة و أعلى معدل وفيات في المنطقة. أما الفئة الثالثة تتميز بالمزارع الصغيرة و المعدات المتواضعة و تمثل أكثر من نصف مزارع المنطقة. يظهر قياس درجات الحرارة، الرطوبة و الإضاءة في مواقع مختلفة و على مختلف الارتفاعات، أن بيانات المناخ الداخلي تزداد من الأمام إلى الخلف للمباني و تتقلب بشدة عند الارتفاعات الثلاثة 1م، 1م، 5م و 2م.

بالإضافة إلى هذه الدراسة الإحصائية، قمنا بتركيب أجهزة تجريبية للتحقق من انبعاث غاز الأمونيا و الجسيمات المتشكلة على مستوى الحيوان. أجريت هذه التجارب في ظل ظروف خاضعة لشبه رقابة ، حيث ، تم وضع الدجاج في أقفاص فردية . يتم قياس الأمونيا ، وفقا لعملية النقاط الفقاعات في محلول حمضي . كما تم وضع الدواجن في أقفاص فردية مزودة بصناديق النقاط الجسيمات المنبعثة أثناء النقر . تم تسجيل تركيزات الأمونيا التي تتراوح من 0.1 الى 1.37 ppm . كما تم قياس الجسيمات بمقدار 0.01 غ/ دجاجة / يوم.

الكلمات المفتاحية : دجاج البياض ، أنظمة التربية ، التصنيف ، الأمونيا ، الجسيمات ، فضلات ، الغذاء ، محاصرة .

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

Remerciements

Résumés

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Liste des annexes

INTRODUCTION PROBLEMATIQUE

PARTIE 1

PROBLEMATIQUES ENVIRONNEMENTALES LIEES AUX SYSTEMES D'ELEVAGE DE VOLAILLES.

CHAPITRE 1

LES CONDITIONS DES STRUCTURES D'ELEVAGE ET DE LEUR GESTION

Introduction.....	4
1 Le concept de système d'élevage	4
2 Les caractéristiques des structures d'élevage	5
2.1 Techniques d'aménagement du bâtiment	5
2.1.1 L'emplacement du bâtiment	5
2.1.2 La structure d'un bâtiment	7
2.1.3 L'isolation du bâtiment	8
2.1.4 Les ouvrants	10
2.2 Les équipements des bâtiments	11
2.2.1 Les batteries	11
2.2.2 La ventilation	13
2.2.3 Le refroidissement	14
2.2.4 Le chauffage.....	15
3. Les conduites d'élevage	15
3.1 Gestion de l'alimentation	15
3.2 Gestion de la lumière.....	17
3.3 Gestion des effluents	18
4. Les animaux élevés	19

CHAPITRE 2

INFLUENCE DES SPECIFICITES DES SYSTEMES D'ELEVAGES SUR LES EMISSIONS POLLUANTES EN AVICULTURE

Introduction.....	21
1 Les principales émissions polluantes engendrées par les élevages avicoles	21
1.1 Les sources d'émission des particules en élevage avicole.....	21

1.1.1	L'aliment.....	21
1.1.2	Les matières fécales.....	22
1.1.3	Les animaux.....	23
1.1.4	Le bâtiment	24
1.2	Les paramètres influençant la formation de particules dans les élevages avicole.....	24
1.2.1	La température et l'humidité relative.....	25
1.2.2	Le programme lumineux utilisé	25
1.2.3	La ventilation.....	26
1.2.4	La météorologie et la région climatique.....	26
1.2.5	Les activités opérées dans le bâtiment	27
1.3	Les postes d'émission de l'ammoniac en élevage avicole	28
1.3.1	La formation de l'ammoniac (NH ₃)	28
1.3.1.1	Processus de dégradation biochimique de l'acide urique et formation de NH ₃	28
1.3.1.2	Les facteurs de variation	31
2.	Les effets des caractéristiques du bâtiment et des conditions d'ambiance sur les émissions polluantes	31
3.	Les effets de la stratégie d'alimentation sur les émissions polluantes	33
4.	Les effets de la gestion des effluents sur les émissions polluantes	34
5.	L'influence des paramètres du climat intérieur sur les performances des animaux....	35
5.1	L'influence de la température sur les performances des poules.....	35
5.2	L'influence de l'humidité sur les performances des poules.....	36
5.3	L'influence de la lumière sur les performances des poules.....	37
6.	Les estimations actuelles des émissions polluantes en bâtiment d'élevage avicole	38
6.1	Les méthodes d'estimations des particules.....	39
6.1.1	La méthode gravimétrique.....	39
6.1.2	La méthode optique.....	40
6.1.3	Les méthodes aérodynamiques.....	40
6.1.4	Les méthodes électriques.....	40
6.2	Les méthodes d'estimations des émissions de l'ammoniac.....	40
7	Approche par compartiment	42
7.1	L'intérieur du bâtiment.....	43
7.2	L'extérieur du bâtiment.....	45
	Conclusion.....	46
	Références bibliographiques.....	48

PARTIE 2

CARACTERISATION DES SYSTEMES D'ELEVAGE DE POULES PONDEUSES DANS LA WILLAYA DE BATNA.

CHAPITRE 1

CADRE DE L'ETUDE

Introduction	61
1 Le secteur avicole de la wilaya de Batna	62
2 La filière de la poule pondeuse dans la wilaya de Batna	63

2.1	La répartition spatiale des bâtiments d'élevage de poules pondeuses	64
2.2	La capacité des bâtiments d'élevage de poules pondeuse de la région	65

CHAPITRE 2

TYPOLOGIE DES SYSTEMES D'ELEVAGE LOCAUX DE POULES PONDEUSES

Introduction	67
1. Matériel et méthode	67
1.1. La localisation des bâtiments concernés par l'enquête	67
1.2. La présentation du questionnaire utilisé	68
1.3. Le déroulement de l'enquête	70
1.4. La stratégie d'analyse	70
2. Résultats	71
2.1. Aperçu global sur les systèmes locaux.....	71
2.2. Les conditions des systèmes d'élevages de poules pondeuses en cages dans la région de Batna	75
2.3. La typologie des systèmes d'élevage de poules pondeuses de la région de Batna	78
2.4. Analyse en composantes principales avec introduction des variables qualitatives.	82
2.5. La variabilité de certains paramètres selon les différents groupes (classes) de bâtiments.....	84
2.6. Les relations entre les paramètres (variables) qui spécifient les systèmes d'élevage existants.....	89
2.6.1. Les paramètres des bâtiments	89
2.6.2. Les paramètres des pratiques d'élevage.....	89
2.6.3. Les paramètres de l'élevage	91
3. Discussion	94
3.1. La description des bâtiments	94
3.2. Les pratiques d'élevage	95
3.3. La description de l'élevage	98
Conclusion	99
Références bibliographiques.....	101

CHAPITRE 3

PARAMETRES DU CLIMAT DANS LES BATIMENTS D'ELEVAGE LOCAUX DE POULES PONDEUSES

Introduction	106
1. Les paramètres du climat à l'intérieur des bâtiments.....	108
1.1. La température	108
1.2. L'humidité.....	108
1.3. La lumière.....	109
2. L'influence des paramètres du climat.....	109
2.1. L'influence de la température sur les émissions de gaz.....	109
2.2. L'influence de l'humidité sur les émissions de polluants.....	110
2.3. L'influence de la lumière sur les émissions de polluants.....	110
3. Etude des paramètres du climat dans les bâtiments de poules pondeuses à Batna...	112
3.1. Matériel et méthode.....	112

3.1.1	Matériel.....	113
3.1.2	Méthode.....	116
3.2	Résultats.....	118
3.2.1	La distribution des paramètres du climat intérieur pour l'ensemble des bâtiments.....	118
3.2.1.1	Les paramètres du climat pour tous les bâtiments.....	118
3.2.1.2	Les relations entre les paramètres du climat et les autres variables.....	121
3.2.2	La distribution des paramètres du climat intérieur pour chaque bâtiment.....	123
3.3	Discussion.....	132
3.3.1	La distribution des paramètres du climat intérieur pour l'ensemble des bâtiments.....	132
3.3.2	Relation entre les paramètres du climat et d'autres variables.....	132
3.3.3	La distribution des paramètres du climat intérieur pour chaque bâtiment.....	132
	Conclusion	135
	Références bibliographiques.....	136

PARTIE 3

ESTIMATION DES EMISSIONS D'AMMONIAC ET DE PARTICULES

INTRODUCTION.....	138
-------------------	-----

CHAPITRE 1

ESTIMATION DES EMISSIONS DE PARTICULES EN CONDITIONS, D'ELEVAGE INDIVIDUEL, SEMI-CONTROLEES

Introduction.....	139
1 Matériel et méthode.....	140
1.1 Matériel	140
1.1.1 Matériel biologique	140
1.1.2 Dispositif expérimental	141
1.1.2.1 Description des cages.....	141
1.1.2.2 Matériel utilisé pour le captage de particules.....	142
1.1.2.3 Matériel utilisé dans la pesée des particules captées.....	145
1.1.2.4 Matériel utilisé dans la détermination de la granulométrie.....	145
1.1.2.5 Matériel utilisé pour la mesure de température et de l'humidité ambiante.....	145
1.2 Méthodes	146
1.2.1 Conduite d'élevage	146
1.2.2 Mesure des paramètres d'ambiance	146
1.2.3 Mesure de la granulométrie de l'aliment	146
1.2.4 Réalisation du captage des particules	146
2 Résultats	150
2.1 Les résultats obtenus à partir des deux premiers boîtiers.....	150
2.1.1 Les paramètres d'ambiance de la première période de l'expérimentation.....	150
2.1.2 La comparaison des poids des particules captées par les deux boîtiers de la première période	151
2.2 Les résultats obtenus à partir du troisième boîtier.....	151
2.2.1 La granulométrie de l'aliment présenté aux poules	151
2.2.2 La variation des paramètres d'ambiance ; température et humidité relative durant la deuxième période de l'expérimentation	153
2.2.3 Les particules émises lors du picorage par poule et par jour.....	

2.2.3.1	L'analyse des quantités de particules émises lors du picorage selon l'emplacement des cages au sein du laboratoire	154
2.2.3.2	L'analyse des quantités de particules captées lors du picorage selon les cages considérées individuellement.....	158
2.2.4	Le poids réel des particules émises lors du picorage	161
2.2.5	La caractérisation des particules, PM, récupérées à partir des boîtiers de captage et des boîtiers témoins.....	163
3	Discussion.....	164
	Conclusion	168
	Références bibliographiques.....	170

CHAPITRE 2

ESTIMATION DES EMISSIONS D'AMMONIAC EN CONDITIONS SEMI-CONTROLEES

	Introduction.....	172
1	Principe de la mesure d'ammoniac par piégeage acide.....	173
1.1	La solution acide de piégeage.....	173
1.2	Réaction acido-basique	174
2.	Matériel et méthode.....	175
2.1	Matériel	176
2.1.1	Matériel biologique	176
2.1.2	Dispositif expérimental.....	176
2.2	Méthode	179
2.3	Traitement des données.....	182
3.	Résultats.....	182
3.1	La variation des concentrations d'ammoniac	182
3.2	La variation des concentrations d'ammoniac en fonction des cages considérées individuellement.....	183
3.2.1	Statistiques descriptives.....	183
3.2.2	Analyse de la variance (ANOVA) à un facteur contrôlé des concentrations d'ammoniac en fonction des cages considérées individuellement.....	184
3.3	La variation des concentrations d'ammoniac en fonction des essais.....	184
3.3.1	Statistiques descriptives.....	184
3.3.2	Analyse de la variance (ANOVA) à un facteur contrôlé des concentrations d'ammoniac en fonction des essais.....	185
3.4	La variation des paramètres d'ambiance, la température et l'humidité relative, durant les 14 essais.....	187
3.4.1	La variation des quantités de l'ammoniac captées en fonction des paramètres du climat	188
3.4.2	Influence des paramètres d'ambiance sur les concentrations.....	190
4.	Discussion.....	191
	Conclusion.....	194
	Références bibliographiques.....	195
	Conclusion et perspectives.....	197
	Annexes.....	201

LISTE DES TABLEAUX

TITRE DU TABLEAU	Page
Tableau 1. Les dimensions requises pour les bâtiments d'élevage de poules pondeuses en fonction de la taille des bandes.....	8
Tableau 2. Exemples de dimensions des bâtiments habituellement utilisées en Algérie...	8
Tableau 3. Les matériaux utilisés dans la conception de la toiture des bâtiments	9
Tableau 4. Les matériaux utilisés dans l'isolation des toitures.....	10
Tableau 5. Les caractéristiques de quelques modules de batteries en Algérie.....	12
Tableau 6. Les performances zootechniques liées à la variation des programmes lumineux.....	18
Tableau 7. Pratiques courantes d'évacuation des fientes en Algérie.	19
Tableau 8. Les variables contribuant à la construction des deux premiers axes de l'ACP.	77
Tableau 9. Principales contributions des systèmes d'élevages aux axes.....	79
Tableau 10. Principales caractéristiques des trois classes de bâtiments de poules pondeuses dans la région de Batna.	85
Tableau 11. Equations de régressions des relations entre les variables caractérisant les élevages locaux.....	93
Tableau 12. Les Caractéristiques des bâtiments sites des mesures des températures, des humidités relatives et de la luminosité	115
Tableau 13. Statistiques descriptives des paramètres moyens du climat interieur pour l'ensemble des batiments.	118
Tableau 14. Les Corrélations significatives entre les variables	121
Tableau 15. Synthèse de la régression linéaire multiple de la variable dépendante température interne.....	122
Tableau 16. Synthèse régression multiple de la variable dépendante Humidité relative interne.....	122
Tableau 17. Synthèse régression multiple de la variable dépendante éclairage.....	123
Tableau 18. Les paramètres statistiques des températures selon les bâtiments.....	125
Tableau 19. Les paramètres Statistiques des humidités relatives selon les bâtiments.....	127
Tableau 20. Les Paramètres Statistiques de l'éclairage selon les bâtiments.....	130
Tableau 21. La variation des fractions dans l'aliment.....	152
Tableau 22. Statistiques descriptives des quantités moyennes des particules captées par les boitiers qui composent chaque groupe.....	155
Tableau 23. Analyse de la variation des quantités de particules émises en fonction de l'emplacement des cages au sein du laboratoire.	157
Tableau 24. Comparaison des quantités moyennes des particules émises en fonction de l'emplacement des cages au sein du laboratoire.....	157
Tableau 25. Analyse de la variation des quantités de particules captées par les boitiers témoins en fonction de l'emplacement des cages au sein du laboratoire.....	158
Tableau 26. Comparaison des valeurs moyennes des quantités de particules captées par les boitiers témoins en fonction de l'emplacement des cages au sein du laboratoire.....	158
Tableau 27. Analyse de la variance des quantités de particules captées par cage.....	160
Tableau 28. Comparaison des valeurs moyennes des quantités de particules captées en fonction des cages considérées individuellement	160
Tableau 29. Analyse de la variation des quantités de particules captées par les boitiers	

témoins en considèrent les cages individuellement.....	161
Tableau 30. Comparaison des valeurs moyennes des quantités de particules captées par les boitiers témoins en considèrent les cages individuellement.....	161
Tableau 31. Statistique descriptives des quantités moyennes de particules déduites par jour	162
Tableau 32. Analyse de la variation des quantités de particules déduites.....	163
Tableau 33. Comparaison des valeurs moyennes des quantités de particules déduites.....	163
Tableau 34. Estimation des particules captées par picorage en élevage de poules pondeuses de la région..	166
Tableau 35. Débit des pompes utilisées dans l'expérimentation.	179
Tableau 36. Statistiques descriptives des concentrations d'ammoniac lors des 14 essais..	182
Tableau 37. Statistiques descriptives des concentrations d'ammoniac (ppm) mesurées dans chaque cage durant les 14 essais.....	183
Tableau 38. L'analyse de la variation des concentrations d' NH_3 mesurées dans chaque cage lors des 14 essais.	184
Tableau 39. Comparaison des valeurs moyennes des concentrations d'ammoniac des cages considérées individuellement.	184
Tableau 40. Statistiques descriptives des concentrations d'ammoniac en fonction des essais.....	185
Tableau 41. L'analyse de la variation des concentrations d' NH_3 mesurées lors des 14 essais.....	186
Tableau 42. Comparaison des concentrations moyennes des concentrations d'ammoniac mesurées par essais.....	186
Tableau 43. Statistiques descriptives des paramètres d'ambiances, températures et humidité lors des essais.....	187
Tableau 44. Les corrélations entre les différents paramètres et les concentrations d'ammoniac.....	190
Tableau 45. Analyse de la variance de la variable dépendante NH_3	190
Tableau 46. La synthèse de la régression linéaire multiple de la variable dépendante NH_3	191

LISTE DES FIGURES

TITRE DE LA FIGURE	Page
Figure 1. Orientation du bâtiment ; a : par rapport aux vents dominants, b : par rapport à l'ensoleillement	6
Figure 2. Types de batteries avec des cages conventionnelles ; à gauche, conception compacte, à droite, conception en marches d'escalier	12
Figure 3. Sources des émissions de particules en bâtiment d'élevages de poules pondeuses et les principaux paramètres influençant les émissions.	27
Figure 4. Equilibres physico-chimiques de la volatilisation de l'ammoniac et les facteurs susceptibles de les déplacer.....	28
Figure 5. Les points d'échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.....	43
Figure 6. Compartimentation du système d'élevage.....	45
Figure 7. La localisation des bâtiments d'élevage des différentes filières avicoles dans la région de Batna.....	63
Figure 8.	64
a. Pourcentage de bâtiments d'élevage de poules pondeuses par daïra	
b. Nombre de bâtiments d'élevage de poules pondeuses par daïra	
Figure 9. La répartition spatiale des bâtiments d'élevage de poules pondeuses dans la wilaya de Batna.....	65
Figure 10. La capacité des bâtiments d'élevage de poules pondeuses dans les daïras de la wilaya de Batna durant l'année 2017.	66
Figure 11. Les communes sites des bâtiments enquêtés.....	68
Figure 12. Les grandes rubriques abordées par le questionnaire de l'enquête	69
Figure 13. Etats des structures d'élevage.	73
Figure 14. La gestion de l'aliment.....	74
Figure 15. Cercle de corrélation obtenu à partir de l'analyse en composantes principales sur les caractéristiques des systèmes d'élevage des poules pondeuses dans la région de Batna.....	76
Figure 16. La projection des systèmes d'élevage de poules pondeuses sur les deux premiers axes des composantes principales	79
Figure 17. Arbre hiérarchique représentant la distribution des trois classes de systèmes d'élevages.....	81
Figure 18. La projection des variables qualitatives illustratives sur le plan des deux premiers axes.....	83
Figure 19. La distribution des surfaces (a), du nombre de batteries (b) et du nombre de cages (c) des bâtiments des trois classes.....	86
Figure 20. La distribution du nombre d'ampoules (a), de la durée de l'éclairage (b), la surface des humidificateurs (c) et du nombre d'extracteurs (d) des bâtiments des trois classes.....	87
Figure 21. La distribution de l'effectif initial (a), l'espace disponible par poule (b), la ration journalière (c) et le taux de mortalité (d) dans les trois classes de bâtiments	88
Figure 22. Sites des différents bâtiments d'étude.....	113
Figure 23. Schémas des positions des mesures effectuées dans le bâtiment.....	117
Figure 24. La distribution des températures (°C), des humidités relatives (HR%) et de l'éclairage (lux) dans l'ensemble des bâtiments	118
Figure 25. Distribution longitudinale, transversale et en hauteur des paramètres du climat intérieur dans l'ensemble des bâtiments.....	120

Figure 26. La distribution des températures intérieures dans chaque bâtiment.....	125
Figure 27. La distribution des humidités relatives dans chaque bâtiment.....	128
Figure 28. La distribution de la lumière intérieure dans chaque bâtiment.....	131
Figure 29. Le premier boîtier de captage des particules d'aliment lors du picorage.	142
Figure 30. Le deuxième boîtier de captage des particules d'aliment lors du picorage.....	143
Figure 31. Le troisième boîtier de captage des particules d'aliment lors du picorage.....	144
Figure 32. Schéma représentant la localisation des cages dans le laboratoire.....	149
Figure 33. La variation des paramètres d'ambiance de la première période de l'expérimentation (première partie).	150
Figure 34. La variation des paramètres d'ambiance de la première période de l'expérimentation (deuxième partie).	150
Figure 35. Poids des particules captées par les deux premiers boîtiers.	151
Figure 36. La granulométrie de l'aliment présenté aux poules.....	152
Figure 37. La variation des fractions allant de 28µm à 500µm de diamètre.	152
Figure 38.	153
a. La variation des températures durant la deuxième période de l'expérimentation	
b. La variation des humidités durant la deuxième période de l'expérimentation	
Figure 39. Evolution du poids moyen des particules captées par les 16 cages durant l'expérimentation.....	154
Figure 40. La distribution des poids moyens des particules captées lors du picorage selon l'emplacement des cages au sein du laboratoire (par groupe de cages).....	156
Figure 41. La distribution des poids moyens des particules captées par les boîtiers témoins selon l'emplacement des cages au sein du laboratoire (par groupe de cages).	156
Figure 42. La distribution des poids moyens des particules captées lors du picorage par cages.....	159
Figure 43. La distribution des poids moyens des particules captées par les boîtiers témoins.....	159
Figure 44. Le poids, déduit, des particules obtenues par picorage.	162
Figure 45. La granulométrie des particules récupérées à partir des 16 boîtiers de captage	164
Figure 46. La granulométrie des particules récupérées à partir des 16 boîtiers témoins...	164
Figure 47. Schéma du dispositif expérimental utilisé pour le captage de l'ammoniac.....	178
Figure 48. La variation des concentrations d'ammoniac durant les 14 essais dans les trois cages.....	182
Figure 49. La distribution des concentrations d'ammoniac en fonction des cages considérées individuellement.....	183
Figure 50. La variation des concentrations moyennes d'ammoniac, des 3 cages, à chaque essai.....	186
Figure 51.	188
a. La variation moyenne de la température, des 3 cages, à chaque essai	
b. La variation moyenne de l'humidité, des 3 cages, à chaque essai	
Figure 52. Variation du NH ₃ selon la température du début de l'essai	189
Figure 53. Variation du NH ₃ selon la température à la fin de l'essai.....	189
Figure 54. Variation du NH ₃ selon l'humidité du début de l'essai.....	189
Figure 55. Variation du NH ₃ selon l'humidité à la fin de l'essai.....	189

LISTE DES PHOTOS

N°	TITRE DE LA PHOTO	Page
1	Équipement de la cage d'élevage.....	142
2	Les cages avant la mise en place des boitiers de captage.....	144
3	L'emplacement des deux boitiers d'une cage.....	144
4	Les caches utilisés dans le dispositif.....	144
5	Les différents types de boitiers de captage utilisés lors de l'expérimentation.....	145
6	L'emplacement du premier boitier.....	147
7	L'Agencement du deuxième dispositif.....	147
8	L'emplacement des boitiers et du cache en plastique lors de la deuxième période de l'expérimentation.....	148
9	Les cages d'élevage (rangés des groupes 1 et 4).....	149
10	La Cage utilisée dans le piégeage de l'ammoniac surmontée du cache en plastique.....	177
11	Le matériel utilisé dans le captage de l'ammoniac.....	178
12	Le dispositif expérimental d'estimation de l'ammoniac.....	179
13	L'emplacement des pompes de renouvellement de l'air des cages.....	180

LISTE DES ANNEXES

N° TITRE DE L'ANNEXE

1. La contribution des variables aux deux premiers axes.
2. La contribution des individus aux deux premiers axes.
3. Introduction de variables qualitatives supplémentaires.
4. Différences significatives des performances de la poule et des paramètres du climat du bâtiment pour les différentes saisons.
5. Facteurs environnementaux ayant un impact sur la production animale.
6. **6a.** Variation surfacique de la température.
6b. Variation longitudinale de la température.
7. **7a.** Variation surfacique de l'humidité.
7b. Variation longitudinale de l'humidité.
8. **8a.** Variation surfacique de la lumière.
8a. Variation longitudinale de la lumière.

PARTIE 1

PROBLEMATIQUES ENVIRONNEMENTALES LIEES AUX SYSTEMES D'ELEVAGE DE VOLAILLES

CHAPITRE 1

LES CONDITIONS DES STRUCTURES D'ELEVAGE ET DE LEUR GESTION

Introduction

Les caractéristiques du bâtiment d'élevage conditionnent fortement l'état de santé et les performances zootechniques des animaux (Meda, 2011). Sa conception doit respecter des règles d'élevage en terme d'isolation, de ventilation et d'équipements suffisants, tout en restant économique et en créant des conditions, d'ambiance interne, indépendantes du milieu extérieur (Alloui, 2006). Par ailleurs, les rythmes actuels de production et la demande croissante en produits animaux génèrent une nouvelle organisation des systèmes de production (Hassouna et Eglin, 2015). Une évolution qui s'est accompagnée d'une amplification considérable des flux biologiques, avec notamment un accroissement des émissions de gaz vers l'atmosphère (Robin et al, 2010).

1. Le concept de système d'élevage

Le système d'élevage forme une composition complexe d'éléments en interaction (Méda, 2011). C'est un concept qui sert à établir un diagnostic accédant à des propositions d'axes et de moyens d'intervention pour le développement de l'élevage (Cheradi, 1997). Il est constitué d'un ensemble d'éléments, techniques et pratiques, effectués en vue de valoriser des ressources en interaction dynamique. La mise en œuvre est organisée par l'homme dans un espace donné et avec des conditions présentant une compatibilité avec ses objectifs et avec les contraintes du milieu (Landais, 1992 ; Lhoste, 2001).

La diversité des systèmes de production en aviculture, résulte entre autres des différentes combinaisons d'espèces animales (poulet, pintade, dinde), de souches génétiques au sein d'une même espèce (ROSS, COBB, ISA), de stades physiologiques (reproducteurs, poulettes, pondeuses), de modes de logement (ventilations naturelle ou mécanique), de types d'effluent (fumiers à base de paille, à base de copeaux, lisiers, fientes) et de modes de production (claustration, Label Rouge, Biologique) (Ponchant et al, 2013).

Trois types d'éléments construisent un système d'élevage ; il s'agit tout d'abord de l'éleveur, centre de décision, qui contribue en tant qu'organisateur des conduites d'élevage (Yakhlef, 2001). Il s'agit également des ressources disposées en un ensemble de conditions de productions. Enfin, l'animal élément central et caractéristique du système d'élevage.

L'analyse et l'évaluation des unités de production en utilisant les approches des «systèmes d'élevage» passent à travers l'accès aux logiques des éleveurs, ainsi qu'à travers l'établissement des liens entre les fonctionnements biologiques (animaux) et la gestion de la production (Dedieu et al. 2008). En outre, pour une catégorie de bâtiment et une espèce animale, les émissions dépendent des pratiques de l'éleveur (régulation de l'ambiance par le couplage du chauffage et de la ventilation), des équipements (pipette, abreuvoir, fosse profonde, tapie ventilé) et des conditions climatiques (Ponchant et al, 2013).

2. Les caractéristiques des structures d'élevage

L'influence des pratiques d'élevage sur les émissions rend nécessaire la caractérisation d'un grand nombre de bâtiments. La description doit inclure des informations détaillées sur le système de logement et sa gestion (Pedersen et al, 2002). Des éléments tels que la construction du bâtiment (capacité, longueur, largeur), le système de ventilation (emplacement et capacité), ou encore les ouvrants qui permettent l'entrée et la sortie d'air (Yongxing et al, 2012), le système de chauffage et/ou de refroidissement, le type de sol (solide /lattes, matériaux du sol), le type de litière (quantité, gestion, application), les déjections (gestion et traitement), l'alimentation (gestion et composition) doivent être pris en compte (VERA, 2011). La description doit également inclure des détails sur la catégorie animale ; espèce, race, poids, taille du troupeau, espace fourni par animal.

2.1 Techniques d'aménagement du bâtiment

2.1.1 L'emplacement du bâtiment

L'implantation et l'orientation du bâtiment doivent être réfléchies et requièrent un certain nombre de critères. De préférence un emplacement loin des zones urbaines et des zones humides (Debbeche, 2010), implanté dans un endroit sec mais bien drainé (Rahan, 2016). Associé aux caractéristiques locales tels que le climat, la topographie et la végétation environnante (Miwa et al, 2006 ; ITAVI, 2009), l'emplacement du bâtiment nécessite la déviation des obstacles susceptibles de créer des perturbations d'air (collines ou cuvettes) pour limiter l'exposition aux vents dominants (IFIP, 2013). Son orientation doit le protéger des vents forts tout en permettant une bonne aération (Rahan, 2016). Elle joue un rôle important dans la détermination des conditions microclimatiques présentes à l'intérieur. Elle doit être choisie en fonction de deux critères :

- La direction des vents dominants ; de préférence orientée selon un axe perpendiculaire à l'axe du bâtiment (Figure 01a), un angle de 90° entre ce dernier et l'axe des vents dominant permettrait une meilleure ventilation, (ITAVI, 2003 ;

Ayachi, 2010). Le but étant de réduire les déperditions thermiques liées à l'exposition du bâtiment aux vents dominants. Une forte exposition à ces vents augmenterait la déperdition thermique par les parois de 10% et contribuent de ce fait, au refroidissement du bâtiment (IFIP, 2013). De plus, lorsqu'on construit une série de bâtiments, il faut veiller à ce que le vent ne souffle pas directement l'un dans l'autre, puisque l'évacuation d'air vicié peut constituer un facteur de contamination (Alloui, 2006 ; Boughaba, 2012), ou encore, gêner le bon fonctionnement de la ventilation (Rahan, 2016). Il est d'usage, de laisser un espacement minimum de 30 mètres entre deux bâtiments avec mise en place d'une haie arbustive entre les deux bâtiments, ceci permettra de diminuer la charge microbienne de l'air (ITAVI, 2009).

- Le mouvement du soleil est le deuxième critère à prendre en considération pour choisir l'orientation du bâtiment. En effet, les bâtiments doivent être orientés selon un axe Est-Ouest (Figure 01b), de façon à ce que les rayons du soleil ne pénètrent pas à l'intérieur du bâtiment (Derail et Bastianelli, 2002). Cette orientation, a pour conséquence de diminuer l'effet des hautes températures sur les poules, notamment dans les bâtiments ouverts répandus en zone à climat chaud, où la ventilation est naturelle (Daghir, 2008).

Lorsque ces deux conditions ne sont pas compatibles, la position par rapport aux vents sera privilégiée (Rahan, 2016). En Algérie l'orientation doit être Nord-Sud (Djerrou, 2006 ; Soufi, 2008) pour éviter l'exposition aux vents du Nord froids en hiver et aux vents du Sud chauds en été.

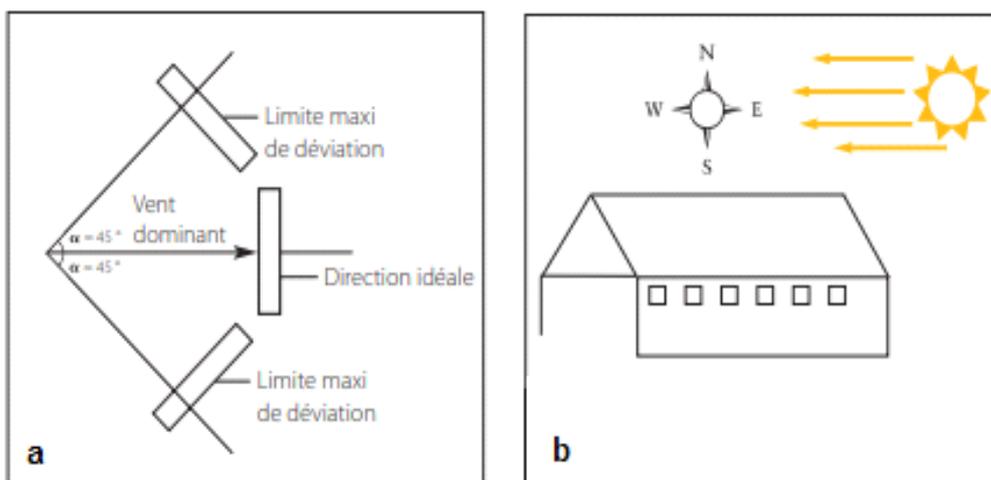


Figure 01. Orientation du bâtiment ; a : par rapport aux vents dominants, b : par rapport à l'ensoleillement (Lohmann, 2018).

2.1.2 La structure du bâtiment

La conception du bâtiment doit répondre aux exigences des oiseaux en matière d'ambiance. Le surpeuplement a de graves conséquences sur la croissance pondérale, l'incidence de pathologies et les émissions toxiques comme le NH_3 (Dayon, 1997).

Dimensions des bâtiments

La surface du bâtiment est fonction de la durée, de la période d'élevage et du type de production (ITAVI, 2009). Elle est également conditionnée par l'effectif de poules qu'on veut y élever. Ainsi, il ne faut pas dépasser la densité de 10 sujets/m² à l'âge adulte, (Dayon, 1997). En effet, une densité maximale de 7 poules/m² de surface au sol en bâtiment est conseillée ; 6 poules/m² sont préconisées en élevage biologique, 7 poules/m² en élevage de pondeuse labels Rouges et pour les poules en plein air, il faut compter 1 ha de parcours pour 2000 poules, avec un terrain doté d'une partie ombragée, accessible aux poules toute la journée (ITAVI, 2009). Dans les zones à températures élevées il est recommandé un minimum de 400 cm²/sujet pour les élevages de poulettes en cages, pendant toute la durée de production, avec un idéal variant entre 450 et 650 cm²/sujet, afin d'éviter les mortalités par hyperthermie (Lohmann, 2018). Cette surface est en moyenne de 450 cm²/sujet en Algérie (Rahan, 2016). Selon le même auteur, les normes d'élevage recommandées durant la phase de ponte dans le cas d'un élevage au sol, sont de 6 à 8 sujets/m².

Outre le fait que les dimensions du bâtiment dépendent essentiellement de l'effectif de la bande à loger, la nature du terrain est également un élément déterminant dans la construction de poulaillers. Opter pour des constructions larges, de 15 m par exemple, en raison d'un terrain accidenté, nécessite des toits en "pagode" ou équipés de véritables "cheminées" (Petit, 1991). Si la largeur de moins de 08 m est envisagée, il sera possible de réaliser une toiture avec une seule pente. A l'inverse, si la largeur est égale ou supérieur à 08 m, il faudra un bâtiment avec un toit à double pente (Dayon, 1997). De plus, il faut prendre en considération que la largeur du bâtiment est directement liée aux possibilités d'une bonne ventilation, plus on élargit le bâtiment plus on prévoit d'avantage de moyens d'aération (Djerou, 2006). Quant à la longueur du bâtiment, elle est surtout fonction de la taille des bandes. A titre d'exemple, une longueur de 50 mètres, permet d'avoir un poulailler de 400m² pouvant atteindre 2000 poules pondeuses. Le (Tableau 01), illustre les normes à respecter, les dimensions sont établies de façon à ne pas dépasser une densité de 5 poule/m².

Tableau 01. Les dimensions requises pour les bâtiments d'élevage de poules pondeuses en fonction de la taille des bandes.

Surface en m ²	Elevage de poule pondeuse	Largeur (l)	Longueur (L)
50	250	5	10
100	500	6	17
200	1000	7	30
500	2500	8	62.5
750	3750	10	75
1000	5000	10 ou 12	83-100

(Rahan, 2016).

En Algérie, lorsqu'il s'agit d'élevage de poules pondeuses en batterie, on parle d'unité, allant de 2 400 poules et moins et jusqu'à 60 000 poules et plus, les dimensions d'un bâtiment sont en fonction de la taille du cheptel et de l'équipement utilisé. Le (Tableau 02) présente les caractéristiques de quelques unités couramment utilisés en Algérie. Selon ce tableau la densité varie entre 9 et 14 poules par m², ce qui dépasse largement les valeurs de densité conseillées.

Tableau 02. Exemples de dimensions des bâtiments habituellement utilisées en Algérie.

Capacité	Surface totale en (m ²) magasin compris	Dimensions en (m)		
		Longueur	Largeur	Hauteur
2400 pondeuses	262.00	40	6	3
4800 pondeuses	482.40	40	12	3
10240 pondeuses	723.50	54	13	3

(Rahan, 2016)

2.1.3 L'isolation du bâtiment

L'isolation est un critère essentiel dans un bâtiment, son but est de rendre l'ambiance de ce dernier la plus indépendante possible des conditions climatiques extérieures (Nicolas, 2007). Elle permet de maintenir un certain équilibre thermique (Meda, 2011), par diminution des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur via l'interposition d'un matériau (IFIP, 2013). Elle permet également la réduction de la condensation d'eau, en diminuant les écarts de températures dans le bâtiment (Le Menec, 1988). De plus, elle limite la puissance de l'installation de chauffage, ainsi que la consommation d'énergie (Meda, 2011 ; IFIP, 2013).

L'isolation concerne le sol et les parois (ITAVI, 2001). Ces dernières, doivent être étanches et isolées, tout en ayant une ventilation adéquate pour évacuer la vapeur d'eau, le gaz carbonique

et l'ammoniac (ITAVI, 2009). Elles doivent être soutenues par un revêtement extérieur de couleur clair reflétant les rayons solaires (ITAVI, 2001; Amand et Gobin, 2004). En élevage avicole un isolant doit résister au feu et à l'humidité et aux dégâts des rongeurs (Nicolas, 2007).

- **Les murs**

L'isolation des murs est obtenue grâce à un mur double séparé par une couche d'air, ou par un mur simple renforcé d'un isolant (Rahan, 2016). Différentes matières sont utilisées dans la conception des murs, le plus souvent ils sont conçus en parpaings ou en briques, dans ce cas les constructions sont solides et isolantes. Revêtus de l'extérieur en crépis au mortier, ce qui les rend plus étanches. A l'intérieur, le plâtre, crépissage des murs, diminue le taux hygrométrique, de plus il fournit une surface lisse qui permet un chaulage facile et uniforme, éloignant l'agglomération de poussières et contaminants biologique.

D'autres matières isolantes sont également utilisées ; le Fibrociment, Eternit, est le plus employé, mais nécessite une double paroi, le contreplaqué facile à poser mais coûte cher, le ciment et le béton qui retiennent l'humidité atmosphérique, mais qui sont également coûteux (Djerou, 2006). On peut également mentionner les feuilles d'aluminium, en double paroi, dont l'intérieur est rempli de laine de verre qui sert à isoler les températures (Belaid, 1993).

- **La toiture**

Selon la puissance du vent, l'efficacité de la ventilation et la largeur du bâtiment, la toiture peut être pourvue d'une simple pente, d'une double pente, ou elle peut être en pagode (Petit, 1991; Dayon, 1997), munie de gouttières pour évacuer les eaux de pluies (Djerou, 2006) (ITAVI, 2009). Divers matériaux peuvent rentrer dans sa conception, le (Tableau 03) résume les matériaux les plus couramment utilisés en Algérie.

Tableau 03. Les matériaux utilisés dans la conception de la toiture des bâtiments.

Matériaux	Avantages	Inconvénients
Tuiles	bonne isolation	coûteuse.
Panneau sandwich	pouvoir isolant excellent	coûteux
Tôles ondulées	bon marché	trop chaude en été et froide en hiver nécessite une isolation.
Papier goudronné	bon marché	mauvaise conservation (3 ans).
Plaques plastifiées ondulées	différentes couleurs, légères, faciles à poser	prix assez élevé.

(Rahan, 2016).

La toiture représente 65 à 70% de la surface totales des parois (Nicolas, 2007), elle est responsable de 70% des déperditions calorifiques en bâtiment d'élevage, son isolation est

indispensable (Nicolas, 2007), surtout lorsqu'on est dans des régions à climat dur (très froid l'hiver ou très chaud l'été). En zones méditerranéennes, il est préférable d'avoir un toit isolé, pour éviter des rayonnements excessifs sur les animaux (ITAVI, 2009). L'isolation est fonction des matériaux isolants et de leurs caractéristiques thermiques. Elle se place soit au niveau de la sous-toiture, soit au niveau du sous-plafond (Rahan, 2016). Divers matériaux sont utilisés dans l'isolation de la toiture, le (Tableau 04) énumère les plus utilisés.

Tableau 04. Les matériaux utilisés dans l'isolation des toitures.

Isolants	Particularités
Laines de bois liège	Isolation thermique, on rapport qualité prix imputrescible, étanche, isolation phonique et thermique
Fibre minérale (laine de verre et laine de roche)	efficaces pour l'isolation thermique et acoustique à moindre prix.
Polyéthylène expansé	Utilisé dans les Panneau sandwich
Polyéthylène extrudés	Sensible aux attaques de rongeurs
Mousses de polyuréthane	adhérence sur la plupart des matériaux : béton, plâtre, brique. qualités isolantes et phoniques sont excellentes.

(Belaid, 1993 ; Nicolas, 2007)

- **Le sol**

Différents types de sols existent ; bétonné, terre battue, en bois carré, bambou (FAO, 2010). Ils doivent être faciles à décaper et lavables, celui en terre battue est jugé plus confortable que le sol bétonné plus difficile à réchauffer (ITAVI, 2009).

Pour éviter les remontées d'eau de l'extérieur vers l'intérieur du bâtiment, il est recommandé de surélever le sol de la salle d'élevage par rapport au sol extérieur (ITAVI, 2009) ; au minimum, une élévation de 20 cm, qui présente une double pente de 1 % vers l'intérieur (Drouin et Amond, 2000). En outre, l'isolation du sol se fait avec des semelles de gros cailloux surélevées par rapport au niveau du terrain (Alloui, 2005).

2.1.4 Les ouvrants

- **Les portes**

Un poulailler doit comprendre deux portes sur la façade de sa longueur (Djerou, 2006). Des portes de 2 m de longueur, et de 3 m de largeur en deux vantaux sont à préconiser. Ces dimensions sont utiles en vue de l'emploi d'engins tels que les tracteurs ou les remorques utilisés dans la gestion de l'aliment, des déjections, ou dans le conditionnement et l'évacuation des œufs.

- **Les fenêtres**

Avec une surface de 10 % par rapport à la surface totale du bâtiment, avec le bord inférieur à 1,5 m du sol, les dimensions des fenêtres conseillées pour les bâtiments à ventilation statique sont de 1,50 m de longueur, 0,7 m de largeur, soit une surface de fenêtre de 1,05 m², avec une ouverture en vasistas et placées de préférence en quinconce (Djerou, 2006).

Il est indispensable que les fenêtres soient placées en vis-à-vis sur les deux longueurs opposées du bâtiment pour qu'il y ait appel d'air, imposant ainsi une bonne ventilation statique. De plus, griller les fenêtres, s'avère utile afin d'éviter la pénétration des insectes et des oiseaux (Djerou, 2006).

2.2 Les équipements des bâtiments

L'aménagement rationnel des locaux avicoles nécessite des indications très précises en ce qui concerne l'équipement intérieur (ITAVI, 2001).

2.2.1 Les batteries

L'impact de différents types de cages sur le bien-être, la santé, les performances zootechniques, la qualité des œufs, la propreté des cages est largement démontré, d'où l'interdiction de cages conventionnelles et leur remplacement par des systèmes alternatifs tel que les cages aménagées (Guinebretière et al, 2011). Ces indications en vigueur en Europe, ne sont pas forcément appliquées ailleurs. En Algérie, deux types de batteries de ponte avec cages conventionnelles prédominent (Figure 02):

- Batterie de conception compacte (forme H), système compact avec trois, quatre ou cinq étages, elle répond aux besoins en matière de santé animale, de capacité de ponte et du respect de l'environnement.
- Batterie avec conception en marche d'escalier (forme A), avec deux ou trois étages conçue spécialement pour les climats tropicaux ; elle fait appel à la ventilation naturelle et assure une production rationnelle d'œufs. Ces cages peuvent accueillir jusqu'à 7 poules par cage, avec une surface disponible allant de 420 à 490 cm² par poule.

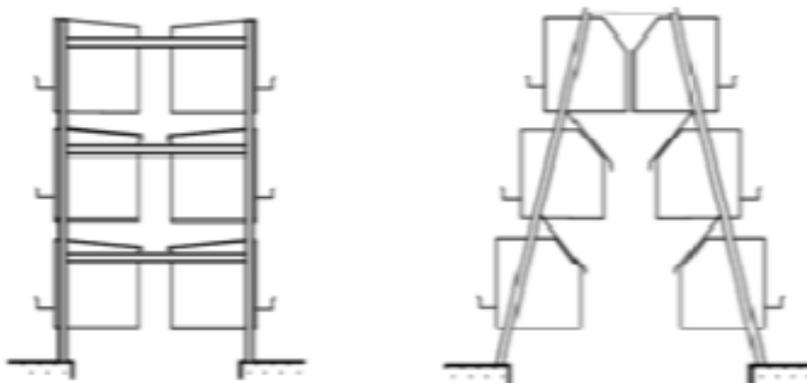


Figure 02. Types de batteries avec cages conventionnelles ; à gauche, conception compacte, à droite, conception en marches d'escalier (Commission Européenne, 2003).

Le (Tableau 05) récapitule les caractéristiques de quelques modules de batteries avec éléments d'alimentation et de ramassage d'œufs couramment utilisées en Algérie. Cet équipement ne présente pas une grande variabilité, excepté l'automatisation de la distribution de l'aliment et du ramassage d'œufs en élevage à capacité supérieur à 10 000 sujets.

Tableau 05. Les caractéristiques de quelques modules de batteries en Algérie.

caractéristiques	Capacité en nombre de sujets		
	2 400	4 800	10 240
Nombres de rangées	2	4	4
Nombres d'étage	2	2	2
Système d'alimentation	Manuel ou par chariot	Idem que 2 400	Par chariot alimenté d'un silo situé hors bâtiment
Ramassage des œufs	Manuel ; collecte au niveau de la gouttière	Idem que 2 400	Manuel ou automatique (tapis roulant)

(Rahan. M, 2016)

Les systèmes en cages ont l'inconvénient de priver les poules d'exprimer leurs comportements naturels à cause de l'espace réduit par individu. A l'intérieur des cages, les poules pondeuses doivent disposer idéalement de 750 cm²/poule de la superficie de la cage, dont 600 cm² de surface utilisable. Selon Windhorst (2017), l'espace disponible par poule dans les systèmes conventionnels peut varier entre 430 cm² et 560 cm². Cette surface diminue jusqu'à 450 cm²/poules en Algérie (Rahan, 2016), sans distinction entre surface totale et surface utilisable, à raison de 4 poules dans une cage de 40 cm par 45 cm. Une enquête réalisée en zone steppique (wilaya de M'sila) a révélé une densité moyenne de 8 poulets/m² (Mahmoudi, 2015). Sachant qu'une densité de 5 poules par cage de 40 par 45cm soit 380cm²/poule inflige une perte de production de 2 à 3 œufs, une baisse de la consommation de 3,5 g/sujet/jour et un taux de mortalité élevé de 2% (Picard et al, 1994), Plus la densité est

faible, meilleure est la croissance et le développement nécessaire pour une bonne ponte dans des conditions de climat chaud (Lohmann, 2018).

Il est à noter que la hauteur de la cage autre que celle au-dessus de la surface utilisable doit faire au moins 20 cm en tout point et que la superficie totale de toute cage ne peut être inférieure à 2 000 cm².

- **Les mangeoires**

Afin de permettre un accès suffisant des poules aux mangeoires, celles-ci doivent être assez longues, utilisables sans restriction et offrant en principe 12 cm par animal. La dimension des mangeoires en longueur varie selon la taille des poules ; en Algérie, il est d'usage d'utiliser seulement 8 à 10 cm d'accès à la mangeoire (Rahan, 2016).

- **Les abreuvoirs**

Pour approvisionner les poules en eau saine et potable, il est recommandé d'utiliser des systèmes de pipettes goutte-à-goutte ou d'abreuvoirs à tétine. Ces systèmes sont installés soit à l'arrière des cloisons, entre deux cages, soit en façade. Dans le cas où des coupelles sont placées sous les abreuvoirs, l'eau gaspillée est récupérée, ce qui contribue à l'obtention de fientes sèches (Sauveur, 1991). Le système d'abreuvement doit être approprié dans chaque cage, compte tenu de la taille du groupe. Dans le cas des abreuvoirs à raccords, chaque poule doit pouvoir accéder à au moins, deux pipettes ou deux coupelles. D'une manière générale, les cages sont conçues pour laisser à chaque sujet un accès minimum aux coupelles ou aux pipettes, avec 2,5 cm d'abreuvoir par sujet dans chaque cage (Lohmann, 2018).

Les poules boivent beaucoup dans les pays tropicaux. Il faut un volume d'eau équivalent à trois fois le volume de la provende. L'eau doit être changée quotidiennement, les abreuvoirs en plastiques sont recommandés, car ils sont faciles à nettoyer.

La zone abreuvoir est caractérisée par une teneur importante en humidité, d'autant plus que les abreuvoirs peuvent fuir, ou ne sont pas tous équipés de récupérateurs. (CORPEN, 2006).

2.2.2 La ventilation

Les mouvements d'air dans les bâtiments d'élevage, sont assurés par une entrée d'air (volet) pratiquée sur un côté du bâtiment, soutenue par un ou plusieurs ventilateurs du côté opposé. La dimension de l'entrée d'air et le nombre de ventilateurs dépendent de la dimension du bâtiment, de la nature et de l'envergure de l'élevage (Roch et al, 2013).

Le rôle primordial d'un système de ventilation étant de faire entrer suffisamment d'air frais à l'intérieur du bâtiment, apport d'oxygène, de maintenir une certaine température et des niveaux acceptables d'humidité, de gaz, de poussière et d'odeurs (Choinière et Munroe, 1993).

Toutefois, pendant la saison froide, le système de ventilation à lui seul est très souvent insuffisant pour maintenir des conditions idéales de qualité de l'air (Choinière et Munroe, 1993).

Deux systèmes de ventilation sont à préconiser, les deux peuvent coexister (Zhang, 1998) ; il s'agit de ventilation statique, assurée par les ouvrants, ou de ventilation dynamique, assurée par des extracteurs ou les brasseurs d'air.

- La ventilation naturelle ou statique, fait pénétrer l'air neuf par des entrées d'air placées sur les côtés du bâtiment et l'air vicié est évacué par le toit via un lanterneau (Le Menec, 1988). Le bâtiment doit être orienté correctement par rapport aux vents dominants pour éviter les désordres de ventilation et utiliser l'énergie du vent. Dans le cas contraire (pignon plein vent) on peut observer des troubles de ventilation liés aux circuits d'air défaillants. Ces phénomènes risquent de provoquer une hétérogénéité de la ventilation sur la zone d'élevage, des renouvellements d'air inadaptés (insuffisances ou excès) ou des chutes d'air froid sur les animaux (IFIP, 2013 ; ITVI, 2013).
- La ventilation mécanique ou dynamique, renouvelle l'air à l'aide de ventilateurs type « extracteurs », placés au faitage (extraction par cheminée), ou sur les parois du bâtiment (avec les entrées d'air à un bout et de larges ventilateurs de l'autre, soit un bâtiment où les ventilateurs et les entrées d'air sont répartis sur toute la longueur) (Le Menec, 1988).

Il faut veiller à ce que les vents dominants ne contrarient pas l'action des ventilateurs. Dans le cas où cette orientation n'est pas possible, il reste possible de positionner les ventilateurs face aux vents dominants tout en les protégeant par des capots adaptés ou des dispositifs brise-vent (IFIP, 2013 ; ITVI, 2013).

2.2.3 Le refroidissement

Durant les grandes chaleurs, la ventilation et l'isolation ne seront pas suffisantes, d'où l'utilité d'un système de refroidissement. L'utilisation d'humidificateur refroidisseur 'pad-colling', de nébulisation 'brumisation', ou encore l'arrosage du sol ou de la toiture (ITAVI, 2009) s'avèrent alors nécessaires. Le 'pad-colling' est un procédé largement utilisé dans les zones à climat chaud. Habituellement, les bâtiments du type tunnel, ont des ventilateurs en bout de

bâtiment et le 'pad-cooling' sur le côté. ils doivent être proportionnels aux extracteurs installés.

Dans le cas de l'utilisation d'un système de refroidissement évaporatif, il est important de ne pas sous-dimensionner la ventilation par rapport à la quantité d'eau mise en œuvre pour refroidir l'air. En effet, un débit d'air trop faible pourrait entraîner une augmentation de l'hygrométrie à l'intérieur du bâtiment pouvant aller jusqu'à saturation de l'air ambiant. Il peut permettre des abaissements de température de plus de 10°C lorsque l'air est très sec et que les gouttelettes sont suffisamment fines (Guingand et al, 2010).

Amand et Gobin, (2004), énumère différents systèmes de refroidissement utilisé en aviculture ;

- Aspersion d'eau dans l'entrée d'air ; un système qui peut être réalisé à faible coût, mais qui gaspille de l'eau et assure un faible refroidissement.
- Pulvérisation intérieur moyenne pression ; un système assurant un refroidissement moyen, mais représente un bon rapport qualité prix.
- Brumisation ; un système avec fort refroidissement, mais qui est sensible à la qualité de l'eau.
- Filtre humide, un système avec fort refroidissement peu sensible à la qualité de l'eau, mais sensible à l'accumulation de pathogènes.

2.2.4 Le chauffage

L'installation de chauffage dans un bâtiment doit permettre de maintenir une température située dans la zone de confort thermique des animaux et homogène dans la zone de vie des oiseaux. En pratique le chauffage permet :

- De mettre le bâtiment à bonne température pour le démarrage des volailles, près de 30°C sont recommandées, et 20°C à partir de la 6^{ème} semaine (Quemeneur, 1988).
- De compenser les baisses de température liées au fonctionnement de la ventilation et aux pertes par les parois (selon l'isolation du bâtiment).
- De réchauffer l'air intérieur du bâtiment en période humide, afin de favoriser la volatilisation de l'eau et son évacuation par la ventilation.

3. Les conduites d'élevage

3.1 Gestion de l'alimentation

Le plan de rationnement varie selon la souche, les conditions d'ambiance, le type et le nombre d'équipement, le type du bâtiment et la technicité de l'éleveur. L'alimentation doit se faire à intervalle régulier, cette fréquence évolue selon l'âge. Ainsi, l'alimentation des poules doit se

faire deux fois par jour. En outre, elle doit se tenir à des heures fixes. L'idéal serait donc de répartir l'heure du repas en deux demi-journées : le premier se fera vers 7 h du matin tandis que le second se tiendra aux alentours de 15 h. Les poules pondeuses peuvent être alimentées à volonté si les conditions d'ambiances ne sont pas contrôlées (Ghmirou, 2016). Si les paramètres d'ambiance sont contrôlés le rationnement apparaît bénéfique. En Algérie, la ration journalière présentée en début de ponte est de 85 à 90g /poule. Cette ration est augmentée de 5g par semaine jusqu'à atteindre les 120 à 130 g/poule à 28 ou 29 semaines (Rahan, 2016). Elle est de 100 à 150g à partir de la 20^{ème} semaine (Roch et al, 2013) ; elle augmente progressivement de 56 à 100 g (Larbier et Leclerq, 1992).

Pour supporter un niveau maximum de production d'œufs, la ration journalière suit deux systèmes d'alimentation (Ghmirou, 2016) :

- Augmentation/Réponse ; l'augmentation de la quantité de la ration distribuée qui entraînera la réponse de la poule par élévation de la production.
- Réponse/Diminution ; la diminution de la ration doit suivre la diminution de la ponte sans causer une baisse de ponte (réduire 0,6 grammes /sujet/jour, 4 à 6 semaines jusqu'à ce que le taux de ponte commence à diminuer).

L'aliment passe donc de la formule croissance à la formule ponte. Il faut tenir compte de sa valeur énergétique ; plus d'énergie réduit la consommation, moins d'énergie l'augmente (Lohmann, 2016). Dans la pratique, on peut préconiser une concentration énergétique selon l'âge des sujets comprise entre 2 700 à 2 900 Kcal et 2 600 à 2 800 Kcal (Larbier et Leclerq, 1992) et 2 750 à 2 800 (Lohmann, 2016).

La structure (granulométrie) de l'aliment entre également en jeu ; une structure trop grossière favorise la consommation alors qu'une structure trop fine la réduit (Lohmann, 2016).

La gestion de l'aliment implique également la manutention et les facilités de stockage. Si l'aliment est livré en sacs, un stockage au frais et au sec est nécessaire. Les hangars ou entrepôts de stockage doivent rester clos et régulièrement désinfectés. Si l'aliment est livré en vrac dans des silos, ceux-ci doivent être régulièrement nettoyés et vérifiés à l'intérieur.

En ce qui concerne la consommation d'eau, tout dépend de l'espèce et de l'âge des oiseaux (Roch et al, 2013). En zone de confort, entre 20 et 25°C, la consommation d'eau est deux fois supérieure que celle de l'aliment. En période de canicule, la consommation d'eau peut tripler, voire quadrupler ; selon l'âge et la race, la poule consomme de 50 à 500 ml/jour (Roch et al, 2013).

3.2 Gestion de la lumière

Dans la plupart des systèmes modernes de production de volailles, l'éclairage est très soigneusement contrôlé pour maximiser la productivité (ITAVI, 2009; Duncan, 2010). C'est un puissant facteur exogène dans le contrôle de nombreux processus physiologiques et comportementaux (Olanrewaju et al, 2006). En effet, le cycle de reproduction de la plupart des oiseaux est sous l'effet de plusieurs facteurs d'environnement dont le principal est la photopériode (Ghmirou, 2016). La lumière peut être utilisée comme outil de gestion pour optimiser la croissance des poulets, l'âge de la maturité sexuelle, le poids des œufs et la production d'œufs chez les poules pondeuses dans divers milieux (Guillou, 1988 ; Hy-Line International, 2015). La lumière est un outil, qui peut être manipulé à l'aide de divers programmes d'éclairage (Duncan, 2010), Le type de programme lumineux varie selon la souche et la nature du bâtiment (clair ou obscur) (Ghmirou, 2016). Il y a trois aspects de l'éclairage à considérer (Olanrewaju et al, 2006; Duncan, 2010) :

- Le niveau d'illumination ; intensité.
- La longueur d'onde de la lumière.
- La photopériode (ou la durée du jour).

De ces trois aspects, l'intensité lumineuse et la durée sont des facteurs qui sont habituellement considérés (Olanrewaju et al, 2006). Il est même conseillé d'utiliser un minuteur et un variateur d'intensité pour respecter un programme lumineux en durée et en intensité.

La durée journalière de l'éclairage ne doit pas baisser ; en âge de ponte et il est conseillé 16 heures de lumière par jour (ITAVI, 2009), dès la 18^{ème} semaine jusqu'à la fin de la production, entre 11 et 14 heure/jour (Lohmann, 2016) et entre 15 et 16 heure /jours (Adjroudi et Bouzeriba, 2017).

Afin de profiter d'une bonne qualité de vie, toutes les poulettes devraient avoir une lumière d'au moins 20-25 lux (Duncan, 2010), de 10 à 15 lux (Lohmann, 2016) et jusqu'à 40 lux (Rahan, 2016).

Le principe de base des programmes d'éclairage pour les poules pondeuses est : (Lohmann, 2016)

- De ne pas augmenter la durée de l'éclairage pendant l'élevage
- De ne pas réduire la durée de l'éclairage pendant la période de ponte.

Il peut être appliqué sans réserve dans les poulaillers obscurs. Il est donc possible d'adapter le démarrage en ponte aux besoins de l'exploitation, en réduisant plus ou moins la durée de

l'éclairage pendant l'élevage et en l'augmentant au moment de la ponte. En outre, il est important d'uniformiser l'éclairage dans un bâtiment en respectant $3\text{wt}/\text{m}^2$.

Par ailleurs, selon le type de programme d'éclairage appliqué, on a une variation de l'âge d'entrée en ponte, du poids des œufs et de la production en œufs. En effet, différentes performances zootechniques sont liées à la variation de programmes lumineux, le (Tableau 06) illustre ces variations.

Tableau 06. Les performances zootechniques liées à la variation des programmes lumineux.

Types de programme	Maturité sexuelle	Poids des œufs	Nombres d'œufs
King	Précoce	faible	Important
Décroissant-croissant	Tardive	Gros calibre	Moins élevé
Intermédiaire	Ni précoce ni tardive	Moyen	Moyen

(Ghmirou, 2016).

3.3 Gestion des effluents

Il existe une forte hétérogénéité dans les caractéristiques des déjections qui est liée aux pratiques d'élevage ; on parle alors, de type de bâtiment, de gestion de la litière et/ou d'évacuation des déjections, même si on est en présence de la même espèce (Béline, 1998). Dans le cas des fientes, déjection spécifique aux poules pondeuses, les différents systèmes d'évacuation sont déterminants de la qualité et la siccité de la fiente ou du lisier (Quideau, 2010). Si on veut établir une hiérarchie et classer les procédés d'évacuation, suivant la teneur en matière sèche (MS) de la fiente qu'ils engendrent, on obtient la série suivante :

- Flushing : 10 - 15 % de MS.
- Racleur : 15 - 20 % de MS.
- Tapis : 25 - 35 % de MS.
- Tapis ventilé : 35 - 45 % de MS.

Plusieurs systèmes utilisent des fosses pour collecter les fientes des animaux. Lorsque les fosses sont profondes les fientes peuvent être évacuées au bout d'un an environ, en fin d'élevage. Par contre, si les fosses sont peu profondes les fientes peuvent être évacuées plus ou moins régulièrement à l'aide de racleurs. En revanche, dans le cas où les fientes sont évacuées à l'aide de systèmes avec tapis, la fréquence évacuation serait alors, de plusieurs fois par semaine (Méda, 2011).

Une fois évacuée du bâtiment, l'emplacement de l'aire de stockage doit être pensé : éloigné des bâtiments, à l'écart des animaux, des aliments, des litières et des parcours, à une distance minimale variant entre 35 et 500 m, selon (ITAVI, 2016) ;

- Si les fientes ont un taux de matière sèche supérieur à 35%, le stockage doit se faire sous hangar ou sur une plateforme couverte avec un mur de 1,5 m de haut minimum, étanche sur 3 côtés.
- S'il y a séchage des fientes et le taux de matière sèche est supérieur à 65%, le stockage sous hangar ou au champ doit être réalisé avec une bâche imperméable à l'eau et perméable aux gaz.

En Algérie, la variation des moyens d'évacuation reste restreinte, limitant ainsi les conduites en termes de gestion des fientes. Selon (Rahan, 2016) cette gestion peut être récapitulée dans le (Tableau 07).

Tableau 07. Pratiques courantes d'évacuation des fientes en Algérie.

Effectif (Poules)	2 400	4 800	10 240
Evacuateur des fientes	Récupérées sur un film en plastique ou sur une légère couche de paille	Idem 2 400	Les fientes tombent dans des fosses, puis entraînées au bout du bâtiment par des racleurs, ensuite évacuées à l'extérieur du bâtiment par un autre racleur transversal

(Rahan, 2016).

4. Les animaux élevés

La poule domestique, *Gallus gallus domesticus*, est élevée au cours de ces dernières décennies de façon intensive pour ses caractéristiques de production. Toutefois, ni la domestication de la poule, ni la sélection génétique n'ont pu supprimer en elle les comportements vitaux (Mahmoudi, 2015) ; lorsqu'il s'agit, de prendre un bain de sable, de gratter le sol, de s'étirer, de pondre et de construire des nids dans un lieu préservé, la poule ne change pas son comportement si la possibilité se présente (Götz, 2013). En revanche, lorsque le système d'élevage ne le permet pas; cas d'élevage en cages par exemple, ces comportements se manifestent sous formes réduites (Vonesch, 2007). L'inconvénient des systèmes en cages est celui d'offrir un espace réduit par individu, aspect considéré comme une source de souffrance pour les poules et nuit à leur bien-être (Freire et Cowling, 2013).

La poule domestique, se décline sous plusieurs souches, parmi celles-ci on peut citer ;

- La souche ISA Brown qui est reconnue mondialement pour sa conversion alimentaire exceptionnelle qui est de 2.1 kg d'aliment pour 1kg de poids vif de la poule. Elle s'adapte bien aux différents climats et systèmes de logement. De plus elle est caractérisée par une taille optimale des œufs à coquilles fortes.

- La souche LOHMANN Brown est connue pour une excellente viabilité et pour ces performances qui peuvent atteindre 429 œufs par cycle par poule.

Dans de bonnes conditions une poule pondeuse est capable de produire plus de 310 œufs par an tout en maintenant un indice de conversion de 1kg d'œufs pour 2kg d'aliment (Lohmann, 2016). Néanmoins, dans les régions chaudes moins équipées, les standards de production sont rarement ou pas obtenus. Les températures infligent un stress de chaleur, qui survient quand les animaux ont des difficultés à équilibrer la production et la perte de chaleur corporelle. En effet, les poules sont des animaux homéo-thermiques, elles maintiennent une température corporelle constante de 40 à 42°C et physiologiquement, elles n'ont pas de glande pour la transpiration qui leur permettent de lutter contre la chaleur.

Dans le cas des pondeuses, la température ambiante optimum se situe entre 18 °C et 24 °C. En réalité, La température ambiante idéale dépend de l'âge des animaux, elle baisse avec l'âge de ceux-ci, elle varie de 34 à 30°C lors de la première semaine pour baisser jusqu'à 20°C à partir de la 6^{ème} semaine. En dessous de 10 à 12°C la consommation des animaux augmente à raison de 1 à 1.5 g d'aliment par 1°C (Picard et al, 1993). En revanche, sous des températures élevées il y a baisse de la consommation, diminution du calibre des œufs, baisse de ponte, dégradation de la qualité de la coquille et augmentation de la mortalité (Lohmann, 2016). Quand la température ambiante augmente, la perte de chaleur par la respiration est essentielle si l'humidité relative n'excède pas 70 %. Avec des températures au-delà de 42°C, il faut prendre des mesures d'urgence afin d'éviter une forte mortalité.

CHAPITRE 2

INFLUENCE DES SPECIFICITES DES SYSTEMES D'ELEVAGES SUR LES EMISSIONS POLLUANTES EN AVICULTURE

Introduction

Compte tenu de la demande toujours grandissante en viande et produits dérivés, on assiste actuellement à une augmentation des productions animales d'une manière générale et celle de l'aviculture d'une manière particulière. Cette croissance de production animale s'est faite avec l'intensification des élevages, qui a engendrée l'accroissement des émissions polluantes vers l'atmosphère (Hassouna et Eglin, 2015). On considère actuellement que près de la moitié de la masse apportée par l'alimentation et l'eau de boisson utilisée dans les élevages, est perdue sous forme gazeuse au cours de la production animale et de la gestion des effluents (Robin et al, 2010).

1. Les principales émissions polluantes engendrées par les élevages avicoles

Les élevages en bâtiment avec leurs structures d'entreposage des déjections contribuent pour une large part aux émissions de gaz, d'odeur et de poussière vers l'atmosphère. L'aviculture, dans une moindre mesure, produit du méthane (CH_4) et du protoxyde d'azote (N_2O), en revanche, l'ammoniac, composé volatil polluant et odorant, est le principale gaz produit par le secteur (CITEPA, 2010). L'aviculture, serait responsable de 9% des émissions de méthane, de 6% des émissions de protoxyde d'azote et de 15% des émissions d'ammoniac liées à l'élevage (CORPEN, 2006). Par ailleurs, l'élevage avicole produit des particules fines (Wathes et al, 1997; Carey et al, 2004; Roumeliotis et Heyst, 2008) et contribue considérablement aux émissions de poussières secondaires (Aarnink et Ellen, 2007). La majorité des particules est mise en suspension au niveau des bâtiments et jusqu'à 50 % de l'ammoniac y sont volatilisés (ADEME, 2012). Ce gaz est considéré comme un précurseur de particules secondaires qui se forment après condensation de plusieurs composés chimiques présents dans l'air (Carey et al, 2004 ; Roumeliotis et Heyst, 2008 ; ADEME, 2012).

1.1 Les sources d'émission des particules en élevage avicole

Plusieurs sources sont impliquées dans la génération des particules de poussières dans l'élevage de poules pondeuses en bâtiment avec des proportions diverses.

1.1.1 L'aliment

Une étude d'Aarnink et al (1999) a admis une contribution limitée de l'alimentation aux poussières en suspension dans l'air des poulaillers. Par contre Godbout (2008), attribue de 80

jusqu'à 90% de la poussière chez les poudeuses élevées en cage, à une origine alimentaire. L'alimentation des poules, engendre des quantités de poussières importantes lors de la manutention, de la préparation des rations et de la distribution (Maghirang et al, 1995). Les poussières proviendraient principalement du tégument des graines et leur formation est tributaire de la teneur en eau et en matières grasses de l'aliment (Aarnink et Ellen, 2007). De même, leurs émissions diminueraient avec le taux d'humidité de la ration (Cambra-Lopez et al, 2010 ; Méda et al, 2011).

Elles sont également liées à la forme de l'aliment présenté aux poules (farines, miettes, granulés) (Méda et al, 2011 ; Picars et al, 2013). Les poules poudeuses sont surtout nourries de repas qui génèrent beaucoup plus de poussière que les granulés (Aarnink et Ellen, 2007). Toutefois, certains ingrédients des aliments pour animaux entraînent une production de poussière plus élevée que d'autres ; les aliments composés principalement de maïs engendreraient moins de poussière que ceux contenant majoritairement du sorgho ou du blé (Heber et al, 1988), de même, l'orge générerait plus de poussière que le maïs (Thaler et al, 2002).

L'équipement d'alimentation (de distribution ou de manutention) peut également contribuer à la formation de poussière ; dans les systèmes d'alimentation automatiques, une grande quantité de poussière peut être en suspension dans l'air lorsque les aliments tombent de l'auge ou du distributeur (Li et al, 1993). Ce gaspillage par renversements d'aliments est probablement un paramètre important contribuant à la production de poussière provenant de l'aliment. Les aliments sur le sol peuvent être broyés par piétinements en particules plus petites et peuvent être en suspension dans l'air (Aarnink et Ellen, 2007). Par ailleurs, une importante augmentation des émissions de particules est notée après la distribution de l'aliment, qui s'élève encore plus aux passages répétés des chariots, distributeur d'aliment, couissant le long de la batterie (Rousset et al, 2014).

Il est à noter que la fraction minérale des particules dans un bâtiment d'élevage avicole pouvait provenir de l'aliment. En effet, le calcium provenant de l'alimentation était le composant de poussière inorganique le plus courant, mais le magnésium, le cuivre, le fer, le plomb et le zinc étaient d'autres composants d'alimentation trouvés également dans la poussière aéroportée (Bruce et al, 2015).

1.1.2 Les matières fécales

Les matières fécales séchées sont une source importante de particules dans les bâtiments d'élevage. Les facteurs d'émission de particules, notamment les PM₁₀, dans les bâtiments de

poules pondeuses varient selon le type de déjections; ils seraient plus élevés pour les fumiers que pour les fientes (Gerep, 2014). Les fientes sèches émettraient jusqu'à 8% de particules de poussières dans les bâtiments d'élevage avicole (Mostafa, 2012). Le tout réside dans le taux de matière sèche des matières fécales. Un taux qui dépend de la variation de la vitesse de l'air au niveau des surfaces émettrices (fientes). Il est de ce fait, étroitement lié à l'ambiance interne du bâtiment, à la température et à la ventilation (Mostafa, 2012) ainsi qu'à la fréquence d'évacuation des fientes.

(Aarnink et al, 1999), ont rapporté une contribution importante de la poussière cristalline à la poussière en suspension dans l'air des bâtiments avicoles, il s'agirait de poussière provenant probablement de cristaux minéraux formés à partir de composants urinaires.

1.1.3 Les animaux

L'animal est une source importante de poussière, 2 à 12% des particules de poussière dans les bâtiments d'élevages avicoles proviennent des animaux eux-mêmes. Ces poussières dériveraient de leurs squames cutanées, du duvet ou des plumes (Djerou, 2006 ; Cambra-Lopez et al, 2010).

Les quantités libérées sont relatives à la fois au nombre d'animaux et à leurs poids (Armand, 2005 ; Mostafa, 2012). Elles sont également relatives à l'activité de l'animal, qui, elle-même, est tributaire du génotype des poules pondeuses (Ellen et Drost, 1997). En outre, la poussière devient principalement aérienne en raison de l'activité des animaux qui génère de grandes quantités de poussières à partir d'aliments, des matières fécales et de la litière (Aarnink et Ellen, 2007).

Les mouvements des animaux provoquent des turbulences d'air autour d'eux et dispersent les particules décantées, entraînant une augmentation de la concentration en particules (Takai et al, 1998).

De même, la densité de peuplement a un effet important sur la production et l'émission de poussières, du fait qu'elle affecte justement l'activité des animaux, mais elle affecte également la température des poules ; augmentant ainsi la concentration de micro-organismes présents dans l'air (Sauter et al, 1981).

D'autre part, la production de poussière augmente avec l'âge et le poids des oiseaux (Redwine et al, 2002 ; Al-homidan et al, 2003). Jusqu'à la sixième semaine de croissance les concentrations d'aérosols respirables dans les poulaillers augmenteraient avec l'augmentation du poids des oiseaux. (Grub et al, 1965 ; Yoder et al, 1988). La cause principale de cette élévation est probablement due à l'accroissement de la surface des différentes sources de

poussière avec l'augmentation du poids des animaux ; on entend par là, la quantité d'aliments, les matières fécales ou encore la surface de la peau des poules (Gustafsson, 1999 ; Aarnink et Ellen, 2007).

Il est à noter que les processus conduisant à la formation de poussière à partir de l'animal et ceux par lesquels la poussière soient en suspension dans l'air, sont deux phénomènes distincts, le dernier est principalement causé par l'activité animale (Aarnink et Ellen, 2007). Des activités telles que les battements d'ailes, le picorage ou le nettoyage de la peau sont des mouvements opérés en continu par la poule et qui peuvent mettre en suspension les particules formées lors de différents processus.

1.1.4 Le bâtiment

La quantité de poussière dans l'air des bâtiments d'élevage est fortement influencée par le système de logement (Seedorf et al, 1998 ; Ellen, 2000 ; Michel, 2003). Des études indiquent que l'élevage de poules pondeuses en volières présentent systématiquement des concentrations plus élevées de poussières en suspension, comparés aux systèmes de cages, où les poules ont peu ou pas accès aux litières (Takai et al, 1998 ; Bruce et al, 2015). Le type de bâtiment et la méthode de gestion de fumier, fait également varier les émissions de particules notamment les PM₁₀ (Costa et Guarino, 2009).

Quant à la nature des particules, qui proviennent de la structure des bâtiments, elle est tributaire des matériaux de construction qui les composent. Ces derniers sont responsables de la majeure partie de la fraction minérale des particules produites à l'intérieur, qui peuvent d'ailleurs être issues, aussi, du milieu extérieur (Yauschew, 2013). L'extérieur du bâtiment peut donc constituer une source de poussière, lorsque l'étanchéité de celui-ci n'est pas conforme, notamment au niveau des entrées d'air. Le transfert des poussières se fait alors, de l'extérieur vers l'intérieur du bâtiment (Lim, 2003).

1.2 Les paramètres influençant la formation de particules dans les élevages avicoles

Plusieurs facteurs agissent sur la concentration des particules dans l'atmosphère des bâtiments de production avicole ; la température de l'air, l'humidité relative de l'air, le taux de ventilation, l'activité des animaux, la densité de peuplement, l'espèce et l'âge des oiseaux, le type et la structure d'aliment, la méthode d'alimentation (Cambra-López et al, 2010). Toutefois, c'est la combinaison de certains d'entre eux qui fait varier les niveaux de poussières produites (Wathes et al, 1997).

1.2.1 La température et l'humidité relative

Des études menées en poulaillers ont montré que les températures totales et l'humidité relative avaient une influence considérable sur les concentrations de particules totales (Vucemilo et al, 2008).

L'évolution des quantités de particules émises révèlent que l'augmentation des quantités est accompagnée d'une diminution de l'humidité (Grub et al, 1965). En effet, une humidité relative de 70% ou plus, peut contribuer à de faibles concentrations de particule en raison d'une humidité d'équilibre élevée (Takai et al, 1998). Ainsi, Une humidité relative inférieure à 60%, en particulier avec une température ambiante froide, favorisent une augmentation du nombre de particule en suspension dans l'air (Djerou, 2006). Ce constat peut être expliqué par le fait que toute diminution de l'humidité de l'air est accompagnée de son assèchement, ce qui engendre une élévation des poussières dans l'air ambiant des bâtiments. Toutefois, l'humidité relative peut affecter la capacité d'éliminer les particules des surfaces où elles se trouvent (celles-ci restent collées aux surfaces), ainsi que la viabilité des micro-organismes en suspension dans l'air.

La température de l'air est le facteur qui a la plus grande incidence sur la qualité de l'air. En effet, elle influence directement, par ventilation, la teneur de la matière sèche des fientes qui favorise l'augmentation des émissions de poussière (CORPEN, 2006). Grub et al, (1965) ont décrit une faible production de poussière à 10 °C, cette quantité augmente au maximum entre 15,6 °C et 21 °C, et diminue lorsque la température approchait les 37,3 °C. Les petites différences entre la température extérieure et intérieure sont normalement associées à des taux de ventilation plus élevés, ce qui montre une fois de plus une forte influence des vitesses de ventilation sur les concentrations des poussières (Al-homidan et al, 2003 ; Zhao et al, 2009).

1.2.2 Le programme lumineux utilisé

La lumière et son intensité sont d'autres facteurs environnementaux importants dans la production de particules. Il est même admis que l'application de programmes d'éclairage, entraîne des changements dans les concentrations de particules (Ellen et al, 2000). Cette influence de la lumière est associée à l'augmentation de l'activité des oiseaux observée pendant les périodes de lumière. De nombreuses études ont démontré que dans les bâtiments d'élevage des poules pondeuses, la production de poussière matérialisée en l'augmentation significative de la concentration d'aérosol dans l'air des bâtiments, était plus élevée durant l'éclairage que dans l'obscurité. (Yoder et al, 1988 ; Van wicklen, 1989 ; Qi et al, 1992). L'alternance du jour et de la nuit, plus que le programme lumineux, semble augmenter les

concentrations de particules dans les bâtiments de poules pondeuses, en raison d'une activité plus intense pendant le jour, (Wathes et al, 1997 ; Takai et al, 1998). En résumé, un lien étroit entre le programme d'éclairage, l'activité de l'animal et la concentration de particules, est largement établi (Calvet, 2008).

1.2.3 La ventilation

L'un des facteurs qui détermine, dans une large mesure, les concentrations et les émissions de particules dans les bâtiments d'élevage est le taux de ventilation (Qi et al, 1992 ; Cambra-López, 2010). Positivement liée à la température et négativement à l'humidité relative (Li, 2005), la ventilation conditionne la répartition des particules dans l'espace aérien des bâtiments d'élevage (Cambra-López et al, 2010). Plutôt conçus pour contrôler la température et l'humidité, les systèmes de ventilation, de part ces deux paramètres, influence les concentrations de particules, notamment en hiver, où elles sont plus élevées suite au faible taux de ventilation (Zhang, 2004).

Toutefois, une augmentation du taux de ventilation ne conduit pas forcément à une réduction proportionnelle de la concentration de poussière dans les bâtiments d'élevage (Gustafsson, 1999). Ce qui semble être causé, principalement par un faible taux de sédimentation des particules lorsqu'il est associé à des taux de ventilation élevés. La sédimentation est valable pour les plus grosses particules. Pour les particules plus petites, qui sont moins facilement en suspension dans l'air lorsqu'elles sont collées aux surfaces, une fois dans l'air, elles se déplacent facilement avec le flux d'air (Aarnink et Ellen, 2007).

1.2.4 La météorologie et la région climatique

Les conditions météorologiques constituent l'un des paramètres qui influencent la variabilité des facteurs d'émission de particules dans les bâtiments d'élevages avicole, il s'agit bien sûr, de variations journalières, mais il s'agit inévitablement de variations saisonnières (Sun et al., 2010), où le taux de ventilation est intimement lié au climat ou à la saison. En raison des taux de ventilation plus élevés en été par rapport à l'hiver, on peut s'attendre à de faibles concentrations et à des taux d'émission élevés en été, tandis qu'on peut s'attendre à des concentrations élevées et à des taux d'émission faibles en hiver (Redwine et al, 2002).

Plusieurs études se sont penchées sur la question ; il en ressort des concentrations massiques en poussière, généralement plus élevées en hiver qu'en été (Hinz et Linke, 1998 ; Takai et al. 1998 ; Al-homidan et al, 2003). En revanche, Costa et Guarino (2009) rapportent que les facteurs d'émission de PM₁₀ sont plus élevés en période chaude (printemps-été) qu'en période froide (automne-hiver). Dans le même contexte, Qi et al, (1992) attribuent les taux de

formation de PM à la ventilation renforcée en période chaude, qui crée une turbulence accrue et augmente la suspension de particules dans l'air du bâtiment.

1.2.5 Les activités opérées dans le bâtiment

Les tâches accomplies quotidiennement dans les bâtiments d'élevage de poules pondeuses, telles que le ramassage des œufs, les activités de nettoyage (matériel et sol), ou tout simplement l'intervention de l'éleveur ou des ouvriers dans la distribution de l'aliment ou dans l'évacuation des déjections, sont susceptibles de générer des quantités importantes de poussières, étant donné qu'elles influencent l'activité des oiseaux, et elles favorisent la formation et la mise en suspension des particules (Lim, 2003 ; Mostafa, 2012).

Il faut savoir que plus les particules sont petites, plus elles adhèrent aux surfaces et ce sont les flux d'air créés par l'activité des animaux, et l'activité humaine, qui sont susceptibles de rendre ces particules en suspension dans l'air et de les garder dans cet état (Pedersen et Takai, 1999).

La (Figure 03) est un récapitulatif bibliographique des différentes sources, ainsi que des paramètres pouvant influencer les émissions.

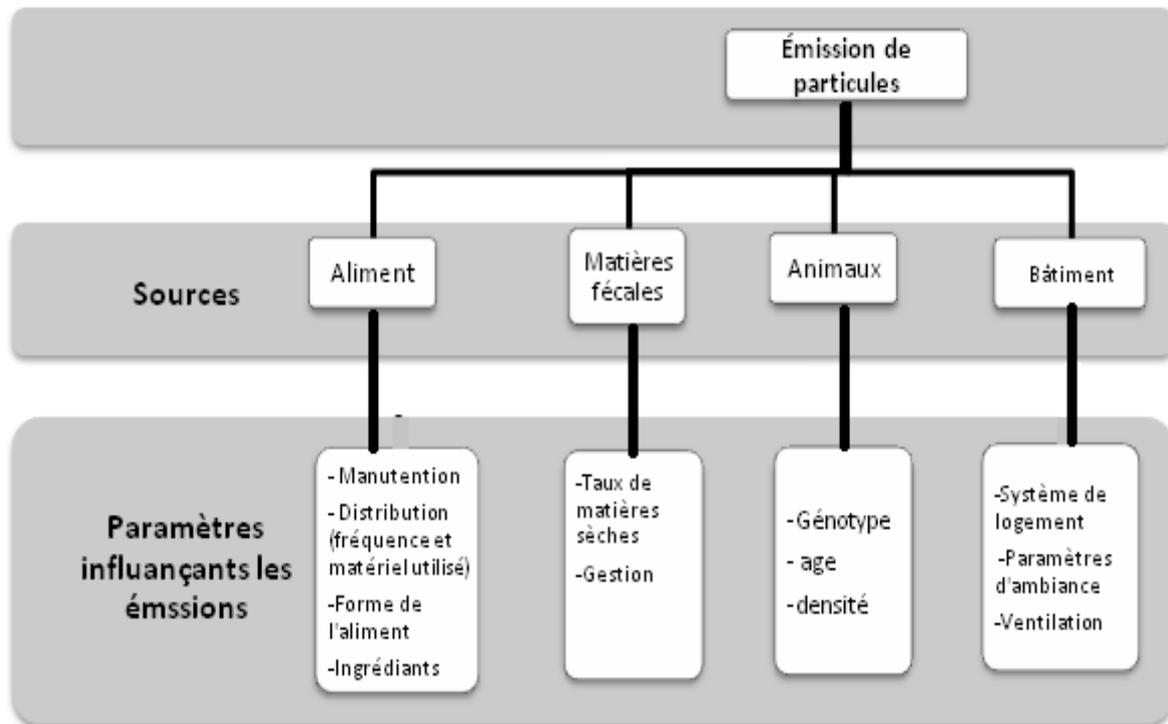


Figure 03. Sources des émissions de particules en bâtiment d'élevages de poules pondeuses et les principaux paramètres influençant les émissions.

1.3 Les postes d'émission de l'ammoniac en élevage avicole

Les émissions d'ammoniac (NH_3) provenant des installations d'élevage de volaille sont devenues une préoccupation importante en raison des effets négatifs de leur libération excessive dans l'atmosphère (Liang et al, 2005 ; Coufal et al, 2006). Ces émissions sont liées aux déjections d'élevage et proviennent des quantités d'azote (N) excrétées par les animaux (Gac et al, 2007). Cet azote, peut-être de l'azote minéral contenu dans la matière organique de ces déjections avant toute décomposition, ou peut résulter des éléments rapidement décomposables, ou de la décomposition secondaire de la matière organique humifiée (Peigne, 2003)

Les émissions d'ammoniac sont par conséquent tributaires de la gestion et du devenir des déjections animales aux différents postes d'une exploitation (CORPEN, 2006 ; Gac, 2007). Elles ont lieu au bâtiment (ADME, 2012 ; Hassouna et Eglin, 2015) et dépendent, entre autre, du mode de logement, de la climatisation des locaux et de l'activité des animaux (Robin et al, 1999 ; CORPEN, 2003).

Ces émissions sont également émises lors du stockage (Dong et al, 2006 ; CORPEN, 2006), et découlent dans ce cas, de la teneur en azote et en carbone du fumier, de la durée du stockage et du type de traitement (Steinfeld, 2006 ; ADME, 2012 ; Hassouna et Eglin, 2015).

Les émissions d'ammoniac ont lieu, également, à l'épandage (CORPEN, 2006) et tiennent compte de la nature des matières organiques, ainsi que des reconstitutions des déjections lors du pâturage (Peigne, 2003). Les estimations des émissions pour une situation donnée doivent également tenir compte des conditions environnementales locales (Miola et al, 2014).

1.3.1 La formation de l'ammoniac (NH_3)

1.3.1.1 Processus de dégradation biochimique de l'acide urique et formation de NH_3

L'azote qui n'est pas retenu par les processus physiologiques de la poule est excrété à hauteur de 80% dans les urines et le reste dans les fèces. L'azote minéral qui est excrété sous forme d'urée, dans les urines, se retrouve en présence d'une enzyme fécale, l'uréase, responsable de la transformation de l'urée en ammonium, susceptible de se volatiliser (Monteny et Erisman, 1998). De même l'azote organique, contenu dans l'acide urique et dans les protéines non digérées, est responsable de l'apparition de l'ammonium par processus d'ammonification qui convertit cet azote organique en NH_4^+ . Une fois formé, l'ammonium peut se transformer entre autres, en ammoniac ou en protoxyde d'azote (Schulte, 1997).

Dans les élevages avicoles le processus de la dégradation biochimique de l'acide urique est à la base de la formation de NH_3 . Sa décomposition aérobie étant faite de réactions

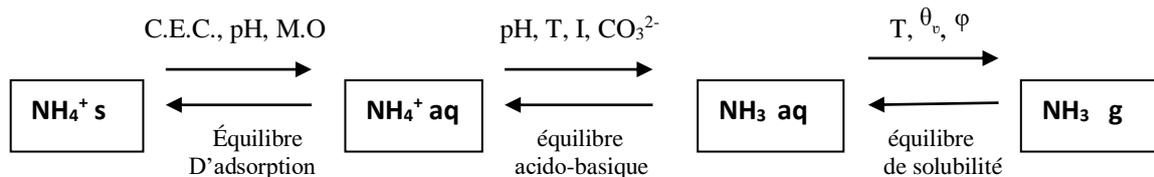


Figure 04. Équilibres physico-chimiques de la volatilisation de l'ammoniac et les facteurs susceptibles de les déplacer (CORPEN, 2001).

- C.E.C : capacité d'échange cationique
 pH : concentration en ion H^+
 M.O : teneur en matière organique
 T : température de la source d'azote ammoniacal
 I : force ionique, représentant les interactions électrostatiques entre les différents ions de la solution
 CO_3^{2-} : carbonates, bicarbonates et dioxyde de carbone dissous, représentant le pouvoir tampon de la solution.
 θ_v et φ : teneur en eau et porosité de la source d'azote ammoniacal

Les deux principaux facteurs susceptibles de déplacer ces équilibres physicochimiques, en dehors de la concentration en ammoniac de la source, sont la température et le pH (CORPEN, 2001) ; L'équilibre acido-basique et celui de solubilité sont sous l'effet de la température et l'équilibre d'absorption et celui de l'acido-basique sont sous l'effet du pH.

L'humidité joue également un rôle dans ces équilibres, le taux de décomposition de l'acide urique varie en une journée, de 8 % pour un fumier de volaille sec, à 40 % pour un fumier de volaille très humide (Groot Koerkamp, 1994).

- **La dispersion de l'ammoniac gazeux dans l'atmosphère**

Pour qu'il y ait volatilisation, il est indispensable qu'il y ait transfert de la source vers l'atmosphère. Ce transfert s'opère (CORPEN, 2001).

- Par diffusion en raison d'un gradient de concentration entre la surface et l'atmosphère.
- Par convection, en raison des mouvements de l'air à proximité de la surface, liés à une ventilation naturelle, ou à une ventilation forcée.

Au niveau du bâtiment ces pertes gazeuses sont liées (Robin et al, 1999 ; CORPEN, 2003 ; Peigne, 2003) :

- Aux types de bâtiments.
- A la climatisation des locaux.
- A l'activité des animaux.

1.3.1.2 Les facteurs de variation

La dégradation de la matière organique en conditions aérobies ou en conditions anaérobies dépend de nombreux facteurs. La température, le pH et la disponibilité en oxygène semblent être les facteurs les plus déterminants. A l'instar du processus de volatilisation de l'ammoniac qui correspond au transfert de l'ammoniac liquide à l'ammoniac gazeux dans l'air, le pH et la température de l'air, mais également la quantité d'azote urinaire, jouent un rôle prépondérant (Peyraud et al, 2012). Cette quantité d'azote urinaire, est tributaire de l'alimentation fournie aux poules. En réalité, la baisse des intrants alimentaires induit une réduction de l'azote excréte et impact les quantités d'azotes volatilisés. De même, la réduction du taux de protéine dans les aliments permet une réduction des émissions d'ammoniac jusqu'à 60% (Lagadec et al, 2012 ; Crunaire, 2012). Par ailleurs la densité des animaux, le comportement et l'âge de l'animal interviennent indirectement par rapport à la quantité et aux paramètres physiques des déjections produites, en terme de température et d'hygrométrie (CORPEN, 2001). De la même manière, ces paramètres physiques sont influencés par la fréquence d'évacuation des déjections à partir des bâtiments. Effectivement, l'évacuation à raison de deux fois par semaine par rapport à un retrait quotidien peut parvenir à doubler les quantités de l'ammoniac émis (Nicholson et al, 2004 ; Liang et al, 2005).

D'autres paramètres conditionnent l'émission de l'ammoniac, ils sont liés au mode de logement. Il s'agit notamment de la ventilation des lieux, qui par manque de contrôle influe sur l'uniformité de la vitesse de l'air au-dessus des surfaces émettrices, opérant ainsi sur les émissions d'ammoniac (Saraz, 2013). La saison dans ce cas précis, est un paramètre à prendre en considération, dans la mesure où elle a un impact sur les conditions de ventilation (CORPEN, 2001).

Il s'agit également du type de sol, qu'il soit cimenté, imperméable ou en terre battue, il intervient différemment dans les conditions d'émission d'ammoniac. De même la qualité de la litière, son taux d'humidité, ainsi que son pH conditionnent la production d'ammoniac (CORPEN, 2001).

2. Les effets des caractéristiques du bâtiment et des conditions d'ambiance sur les émissions polluantes

Dans les bâtiments d'élevage de poules pondeuses, la qualité de l'air intérieur est indispensable au maintien d'un environnement sain pour les ouvriers et revêt une importance déterminante pour la production d'œufs (Choinière et Munroe, 1993 ; Rousset et al, 2016). Les conditions environnementales intérieures telles que les concentrations de gaz polluants, la

température, l'humidité relative, l'intensité de la lumière et le flux d'air sont des caractéristiques majeures de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de poules pondeuses (Choinière et Munroe, 1993 ; Kilic et Yaslioglu, 2014). Pareillement, les systèmes de manutention; la densité de stockage des effluents, les équipements ainsi que la nutrition, influencent l'environnement intérieur (Miwa et al, 2006).

Les paramètres d'ambiance dans un bâtiment d'élevage de poules pondeuses, tels que la température et l'hygrométrie varient en cours d'élevage avec l'âge de l'animal (ITAVI, 1997). Les températures optimums des poules en âge de ponte sont comprises entre 22 et 24°C. Celles-ci garantissent le meilleur indice de consommation pendant la période de production. Au-delà de 25 °C il y a perte d'appétit et perte d'environ 5% de ponte (Lohmann, 2016). Pour maintenir la température intérieure à une valeur suffisante au moindre coût énergétique, les taux d'hygrométrie doivent se situer entre 55% et 75% (Boita et Verger, 1983), entre 60 et 70% (Lohmann, 2016). Il est à noter que des taux élevés d'hygrométrie vont conduire ou participer à la propagation des agents pathogènes et aux émissions des gaz nocifs comme l'ammoniac. L'Illuminating Engineering Society of North America (IESNA, 2001), a déterminé qu'une période quotidienne de 14 heures de lumière est nécessaire pour une production optimale d'œufs et que plus de 17 heures de lumière affectent négativement la production. 10 lux comme intensité lumineuse minimale pour la production d'œufs est recommandée (Jácome et al, 2014).

Cependant, les paramètres d'ambiance, températures, humidité ou autres, sont tributaires des systèmes d'élevage et de leur gestion. Ainsi, les émissions de certains gaz, et de là, leurs facteurs d'émission varient considérablement selon le type d'exploitation, sa conception et la gestion du bâtiment (Roumeliotis et al, 2008). En effet, le facteur d'émission d'ammoniac augmenterait avec l'utilisation de système volière et est réduit en production utilisant des cages conventionnelles (Shepherd et al, 2015). Selon Rousset et al, (2016), les taux de poussières observés dans les élevages au sol sont supérieurs à ceux observés dans les élevages en cages et leur variabilité est plus importante. Il souligne également, que parmi les systèmes d'élevage de poules pondeuses en cage, celui des cages aménagées présente un taux de poussières plus élevé, que celui des systèmes équipés de cages conventionnelles. Ce taux de poussières et encore plus élevé dans les systèmes avec volières.

D'autre part, la ventilation utilisée pour diluer la concentration de polluants, en fournissant de l'air frais aux environnements intérieurs (Zhang, 1998), joue un grand rôle dans les émissions d'ammoniac. En conditions chaudes, où le taux de ventilation est augmenté avec l'élévation des températures, la vitesse de l'air au-dessus de la surface des déjections engendrée par la

ventilation est amplifiée, ce qui à court terme, accroîtrait les émissions de NH_3 (Méda, 2011), la volatilisation de ce dernier, étant dépendante du mouvement de l'air près de la surface émettrice (Groot Koerkamp, 1994 ; Hartung et Philips, 1994). Cependant, à long terme, elle diminuera les émissions de NH_3 car elle participe à l'assèchement des fientes.

Parallèlement, la ventilation excessive engendre une circulation de haute vitesse de l'air, de manière à créer des tourbillons de poussières. De même, en permettant le renouvellement de l'air, la ventilation, évacue l'humidité ambiante, infligeant ainsi l'assèchement de l'air ambiant, ce qui favoriserait la volatilisation de poussières (CORPEN, 2006).

Par ailleurs, la nature et l'état des matériaux de construction avec lesquels les bâtiments sont construits, contribuent également à la part de poussière produite à l'intérieur du bâtiment. Des poussières issues des murs, des peintures ou de la toiture, participent à la fraction des particules inorganique (ADEME, 2011).

De même, la conception des planchers affecte de façon significative les niveaux de particules en suspension dans l'air ; ainsi les planchers pleins causent des niveaux beaucoup plus élevés que les planchers à mailles ouvertes (Carpenter et al, 1990 ; Baltazart, 2010).

3. Les Effets de la stratégie de l'alimentation sur les émissions polluantes

L'ammoniac est formé par la dégradation des protéines non digérées et de l'acide urique dans les effluents. Par conséquent, les manipulations alimentaires reviendraient à jouer un rôle important dans les émissions de NH_3 . La réduction de l'apport en azote par oiseau devrait réduire la concentration de l'azote excrété et par conséquent de NH_3 (Meda et al, 2011).

La réduction de la teneur en protéines brutes dans les régimes alimentaires, constitue une première approche pour réduire l'apport en azote excrété (Aletor et al, 2000 ; Bregendahl et al, 2002 ; Keshavarz et Austic, 2004). Théoriquement, la diminution de l'excrétion d'azote est d'environ 10% pour chaque réduction de 1% des protéines brutes alimentaires (Meda et al, 2011).

Une deuxième approche qui permet la diminution de l'azote excrété, est celle qui stipule que le rôle des acides aminés entrant dans la composition des protéines est tout aussi important (Roberts et al, 2007). Parallèlement, l'acidification du régime alimentaire, est une pratique qui augmenterait la teneur en NH_3 sous forme d'ammonium (NH_4^+) et réduirait par conséquent la volatilisation de l'ammoniac (Wu-Haan et al, 2007).

Enfin, la teneur en protéines brutes du régime alimentaire est adaptée à l'âge de l'animal, l'utilisation d'un régime multi-phase, permet d'obtenir une teneur décroissante en protéines. Néanmoins, la plus forte diminution de la teneur en protéines est obtenue lors de

l'approvisionnement des volailles en acides aminés dont ils ont besoin. En conséquence, les régimes qui contiennent moins d'acides aminés ont une réduction maximale de l'excrétion de l'azote (Meda et al, 20011).

L'aliment est le principal composant des particules dans les bâtiments d'élevage, de par sa granulométrie et sa distribution (Curtis et al, 1981 ; Heber et al, 1988). En effet, la consommation de l'aliment est très dépendante de sa granulométrie, les volailles préfèrent les grosses particules, car plus facilement consommées. De plus, l'utilisation d'un aliment trop pulvérulent peut augmenter la concentration de poussières dans l'air de bâtiment (Sandhu et al, 1981), la présentation sous forme de farines, par exemple, favorise l'émission de particules par rapport à la présentation sous forme de granulés (Picars et al, 2013). Chez la poule pondeuse, les plus grosses particules de l'aliment sont celles consommées après le passage du chariot et les particules les plus fines sont mangées en dernier (Picard et al, 2013), ceci provoque l'accumulation de fines particules dans les mangeoires, susceptibles de s'élever plus facilement.

Dans les élevages en cages, les distributions d'aliment s'accompagnent en moyenne d'une augmentation significative de 58% du taux de poussières dans le quart d'heure suivant et de 34% sur l'ensemble de la demi-heure qui suit la mise en marche des chaînes ou des chariots. (Rousset et al, 2014). Une élévation supplémentaire de ces taux est causée par le passage répété des chariots pendant la journée.

Le gaspillage des aliments pendant la distribution constitue une source importante de poussières, car le reste d'aliment gaspillée peut être déplacées par le passage des ouvriers, ou par les courants d'air créés par la ventilation, induisant ainsi la mise en suspension des fines particules alimentaires.

4. Les effets de la gestion des effluents sur les émissions polluantes

Les émissions azotées telles l'oxyde nitreux (N_2O) et l'ammoniac (NH_3), ainsi que les émissions de méthane (CH_4), sont liées aux déjections d'élevage, elles proviennent des quantités d'azote (N) et de méthane potentiel ($C-CH_4$) excrétées par les animaux (Gac et al, 2007). Les pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH_3) ou d'oxydes d'azote (NO_x et N_2O) représentent entre 20 et 70% de l'azote excrété par les animaux (Gag et al, 2006 ; Peyraud et al, 2012). L'émission de NH_3 dans les bâtiments d'élevage a été démontrée dans de nombreuses études (Hartung et Phillips, 1994 ; Dolle, 2000 ; Monteny , 2002 ; Kenneth et al, 2003 ; Liang et al, 2005; Lin et al, 2012 ; Saraz, 2013 ; Zhao et al, 2013 ; Wang et al, 2014 ; Shepherd et al, 2015). Dourmad et al, (1999) considèrent que, les pertes d'azote par

volatilisation sous forme d'ammoniac sont d'environ 25 % dans le bâtiment. Ces émissions proviennent de différentes sources liées à la gestion des déjections (Peigne, 2003) ; à partir des sols durs ou caillebotis qui reçoivent les déjections (Braam et Swierstra, 1999) et lors du stockage des effluents (Monteny et al, 1998).

La durée de présence des déjections dans le bâtiment et l'équipement nécessaire à leur évacuation, constituent un rôle important dans la formation et l'émission des gaz polluants. Une fréquence élevée de sortie de déjections (plusieurs fois/jour) bloque la formation de NH_3 dans le bâtiment (Koerkamp, 1994). Par contre, Un intervalle de un à sept jours d'entassement à l'intérieur, multiplierait le facteur d'émission d'ammoniac par quinze (Liang et al, 2003). Shapred et al, (2017) ont calculé des facteurs d'émissions respectivement de 0.027 g/jour/poule pour un jour d'accumulation et 0.062 g/jour/poule pour deux jours d'accumulation, contre 0.93 g/jour/poule pour une semaine d'accumulation. Ce même facteur diminuerait de 60% à 70% si le système de gestion des déjections est changé de fosse profonde en tapis ventilés (Shepherd et al, 2015). Cette dernière méthode, assècherait d'avantage les fientes, diminuant ainsi leur taux de matière sèche et augmentant par conséquent les émissions de particules.

Ainsi, les paramètres les plus importants dans la formation de NH_3 sont : la température, le pH, la vitesse d'air des bâtiments, l'humidité relative ainsi que l'activité microbienne dans la litière (O'Neill et Phillips, 1992 ; Wathes et al, 1997 ; Al Homidan et al, 2003 ; Dollé et Robin, 2006). De fortes concentrations de NH_3 ont été détectées ; (50-200 ppm) dans les bâtiments à cause d'une ventilation réduite ou d'une forte humidité (Wathes et al, 1997). La condensation est plus forte dans des espaces confinés, en hiver, favorables à la volatilisation de NH_3 .

5. L'influence des paramètres du climat intérieur sur les performances des animaux

5.1 L'influence de la température sur les performances des poules

Les valeurs maximales du taux de ponte sont, selon (Cavalchini et al, 1990), généralement, obtenues à des températures de 16 à 25°C. La température a une influence sur le développement et la production des poules pondeuse en cage. (Prodanov et al, 2016) le confirme par des mesures des performances telles que le poids corporel, la consommation d'aliments et d'eau, la production d'œufs et le poids des œufs qui sont corrélées avec la température ambiante du bâtiment. Il ajoute qu'il est possible que sous le stress de la chaleur une réduction de la production d'œufs se produit en raison des altérations du système respiratoire. Plus précis, (Prodanov et al, 2016) déclare que des températures supérieures à 27°C peuvent réduire les performances de production des poules, et que des températures

supérieures à 35°C peuvent entraîner une diminution prononcée de la consommation d'aliment et de l'épaisseur de la coquille de l'œuf. Selon (Talukder et al, 2010) Une température élevée (supérieure à 27°C) affecte la consommation d'aliments, le poids des œufs et l'épaisseur de la coquille, à 35°C, il y a une diminution remarquable de la consommation d'aliments. À haute température, l'épaisseur de la coquille diminue.

Les impacts de la température sur les performances des poules pondeuses au travers de certains paramètres sont déterminés par des corrélations. Selon (Cavalchini et al, 1990) les mesures des performances telles que le poids corporel, la consommation d'aliments et d'eau, la production d'œufs et le poids des œufs ont été corrélées avec la température de l'environnement. Aussi (Talukder et al, 2010) trouvent que la corrélation est négative entre la consommation alimentaire quotidienne et la température des volailles. Avec l'augmentation de la température du poulailler, la consommation d'aliments a diminué. De plus, le taux de conversion des aliments a également diminué. Ils ont déclaré que la tendance inverse a été observée à des températures plus basses. (Jácome et al, 2014) confirme la corrélation négative ci-dessus : à mesure que la température du bâtiment augmentait, la consommation diminue. Il ajoute que le taux de conversion alimentaire a également diminué.

Il est à signaler qu'il n'y a aucun effet de la basse température sur l'épaisseur de la coquille des œufs (Talukder et al, 2010), d'une part et que l'augmentation des températures augmente notamment la consommation d'eau (Gustafsson et al, 2009). Aussi, une température plus élevée réduisait les performances de production des poules pondeuses.

5.2 L'influence de l'humidité sur les performances des poules

L'humidité relative impact la production des poules pondeuses. Les travaux de (Prodanov et al, 2016) concluent que si l'humidité relative descend en dessous des niveaux conseillés, 50 et 70%, la mortalité augmente et, dans certains cas, des maladies respiratoires peuvent survenir. Les auteurs (Talukder et al, 2010) pensent que la production d'œufs augmente lorsque l'humidité relative est de 60 à 70% et que la consommation d'aliments et le poids des œufs diminuent progressivement avec une humidité relative élevée (supérieure à 70%). Ce résultat est confirmé par (Jácome et al, 2014) qui a trouvé une corrélation négative et significative entre l'humidité relative et la production d'œufs. À mesure que les valeurs de l'humidité relative dans les poulaillers augmentaient, la production d'œufs diminuait.

L'humidité relative impact la santé et même la vie des poules. (Jácome et al, 2014) mentionne qu'en cas de faible humidité relative, les maladies respiratoires chez les poulets ont été observées. (Cavalchini et al, 1990) nous informe que si l'humidité relative descend en dessous

des niveaux conseillés, la mortalité augmente et, dans certains cas, des maladies respiratoires peuvent s'accumuler.

Le manque d'information de l'effet de l'humidité relative sur les émissions de polluants et sur les performances des poules pondeuses est souligné par (Gustafsson et al, 2009) qui précise que celle-ci doit être prise en considération et explique qu'une humidité relative trop élevée rend l'adaptation à des températures extrêmes plus difficiles. Son augmentation diminuerait la perte de chaleur par évaporation à haute température et diminue l'isolement thermique de l'animal à basse température, ce que semble partager (Talukder et al, 2010) car pour ce dernier les facteurs de stress environnementaux tels que les températures chaudes, une humidité élevée de l'air, peuvent affecter la poule de manière additive.

5.3 L'influence de la lumière sur les performances des poules

La performance des poules est affectée par la lumière. Ainsi, les résultats de (Jácome et al, 2014) montrent que les intensités lumineuses supérieures à 10 lux n'apportent aucun avantage supplémentaire et peuvent avoir des effets négatifs sur la production d'œufs et favoriser les comportements agressifs, l'hyperactivité et le cannibalisme chez les poules. (Cavalchini et al, 1990) rapportent que la luminance, à valeurs faibles réduirait le risque de picage. Cependant, la variation entre les valeurs de luminance dépendait de la distance entre le point de mesure et la source lumineuse. Cette constatation est confirmée par (Kjaer et al, 1999) pour qui un niveau de lumière réduit est souvent utilisé pour contrôler le picage des plumes chaque fois que nécessaire. Ces auteurs rapportent que le résultat global des observations de picage pendant l'élevage a montré que les picages doux étaient plus fréquents à 3 qu'à 30 lux, tandis que les picages sévères étaient plus fréquents à 30 lux. En plus de l'influence sur le picage des plumes, l'intensité lumineuse a également influencé la mortalité, principalement en raison du cannibalisme cloacal. Enfin, il en ressort de leur travaux qu'il existe une stricte corrélation linéaire entre l'intensité de la lumière et l'activité corporelle.

L'éclairage semble favoriser la production de l'humidité. Les auteurs (Kocaman et al, 2006) rapportent que la production de chaleur et d'humidité par les poules est fortement influencée par les conditions d'éclairage. Ils précisent que la production d'humidité a augmenté pendant la période de lumière, probablement en raison de l'augmentation de l'activité et donc du rythme respiratoire. La production d'humidité moyenne quotidienne variait entre 6,9 et 7,0 g/poule/heure. Ces résultats sont confirmés par (Gustafsson et al, 2009), pour qui une réduction d'environ 25% de l'humidité, peut être attendue lors du passage des poulets de la lumière à l'obscurité. Ils signalent que l'activité était d'environ trois fois plus élevée pendant

les périodes de lumière par rapport aux périodes sombres. L'intensité lumineuse a eu peu d'influence sur l'activité totale des poules, donc sur l'influence de la production d'humidité.

Selon la littérature, afin de mieux gérer l'éclairage dans les bâtiments, des programmes d'éclairage sont étudiés et proposés pour améliorer la production. (Jácome et al, 2014) pensent que les programmes d'éclairage artificiel influencent la production d'œufs, mais pas les paramètres de qualité des œufs. Mais pour (Cavalchini et al, 1990) les programmes de lumière intermittente ou des cycles circadiens de plus ou de moins de 24 heures, appelés cycles ahéméraux, se sont révélés intéressants principalement pour les effets sur la qualité des œufs. Ils précisent que le programme d'éclairage affecte la ponte à la fois quantitativement et qualitativement. Ils expliquent que lorsque la lumière est administrée selon des cycles intermittents ou des cycles ahemeral le poids total de la coquille et sa résistance à la rupture sont tous deux plus grands. Ils proposent des programmes lumineux suffisants pour stimuler la ponte d'une photopériode de 10 heures de lumière et 14 heures d'obscurité et un autre qui permet une production maximale avec une photopériode 14 heures de lumière et 10 heures d'obscurité.

(Surbhi et al, 2014) précisent que l'intensité, la durée quotidienne et les changements saisonniers de la composition spectrale de la lumière peuvent également affecter divers processus du cycle de vie aviaire, à savoir : la croissance, le métabolisme, la reproduction et le comportement.

6. Les estimations actuelles des émissions polluantes en bâtiment d'élevage avicole

Les émissions polluantes en filières animales sont désormais démontrées et font l'objet de nombreuses publications (ADME, 2010 ; Calvet et al, 2013). Elles ont la particularité d'être variables dans le temps et dans l'espace (Robin et al, 2004 ; Hassouna et Eglin, 2015), ce qui rend difficile leurs estimations. Toutefois, les méthodes utilisées dans la quantification de ces émissions, sont définies par une multitude d'objectifs, ainsi que par les moyens financiers dont disposent les opérateurs (Hassouna et Eglin, 2015).

La mesure des concentrations de polluants, peut utiliser des méthodes physiques optiques (CORPEN, 2001), tel que la spectroscopie d'absorption, ou bien, des méthodes chimiques, tels que la chromatographie en phase gazeuse ou le barbotage. Ces méthodes sont, habituellement, utilisées dans le cadre de procédés bien définis ; on parle alors des mesures des émissions à la source, à distance des sources, ou des mesures qui reposent sur des bilans massiques (Gac, 2007). Par ailleurs, la mesure des émissions table, régulièrement, sur

l'observation d'un écart de concentration entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment et d'un débit d'air (ADME, 2010).

Une multitude de dispositifs de mesure dit opérationnels sont donc utilisés, ils sont souvent coûteux et/ou lourds à l'utilisation. La possibilité de leur application à un nombre important de situations doit être prise avec prudence (ADME, 2010). Les méthodologies appliquées, sont également impliquées dans la représentativité des mesures. En effet, elles peuvent être à l'origine de différences importantes entre les résultats de mesure (Hassouna et Eglin., 2015). Proposer un ensemble de stratégies de mesures de références, adaptées au plus grand nombre d'élevage de différents horizons, devient une préoccupation d'actualité et passe par une meilleure connaissance des émissions et de leurs mécanismes de formation (ADME, 2010). L'utilité d'explorer de nouvelles pistes de recherche étant de cerner au mieux ces mécanismes. La modélisation constitue une option pour l'estimation des émissions, mais doit également exceller dans la maîtrise de la connaissance de formation et d'émission des polluants. Actuellement les typologies choisies dans les calculs d'inventaires d'émissions reposent sur deux types d'effluent; on parle alors d'effluent solide ou liquide, de fumier ou de lisier (Ponchant, 2013).

De plus, formuler des réglementations sur les émissions gazeuses, nécessite d'acquérir des références d'émissions aux différents postes d'un système d'élevage considéré.

6.1 Les méthodes d'estimations des particules

Les mesures de la poussière permettent l'amélioration des connaissances sur la distribution spatio-temporelle des concentrations en poussières, et l'évaluation des techniques de réduction. Il existe toute une série de méthodes de mesure qui peuvent servir à déterminer de manière sélective la grandeur des poussières en suspension ou certains de leurs composants, dont les principales sont : les méthodes gravimétriques, optiques, aérodynamiques et électriques.

6.1.1 La méthode gravimétrique

La détermination gravimétrique de poussières déposées sur un filtre reste la méthode la plus répandue pour mesurer les particules en suspension. Elle consiste à filtrer un volume d'air donné et à peser le filtre avant et après prélèvement de l'échantillon d'air. Tous les appareils de relevé gravimétrique sont constitués d'une tête de prélèvement, d'un filtre et d'une pompe réglée pour faire passer un volume d'air exactement défini, celles-ci servent à prélever une certaine fraction de particules dans l'air ambiant et l'acheminer avec le moins de pertes possible jusqu'au dispositif de mesure (filtre) (Blanchard et al, 2004).

6.1.2 La méthode optique

Les méthodes optiques font appel aux lois de diffusion de la lumière par les particules. Lorsqu'un faisceau lumineux traverse un volume de gaz contenant des particules en suspension, il subit une absorption et une diffusion. La quantité de lumière absorbée va être fonction de la concentration en particules dans le gaz (Blanchard et al, 2004).

Toutefois, les aérosols sont, d'une manière générale, difficiles à quantifier de manière précise par les techniques optiques, car les interactions particules/lumières dépendent de plusieurs paramètres (Grinshpun et al, 1993 ; Blanchard et al, 2004).

6.1.3 Les méthodes aérodynamiques

Fondées sur les propriétés aérodynamiques des particules, Elles ont été développées principalement pour collecter les particules en vue d'une analyse ultérieure ou pour une classification par dimensions (Blanchard et al, 2004).

Les dispositifs les plus largement utilisés et étudiés sont les impacteurs dont le principe est fondé sur les propriétés d'inertie des aérosols. Ces systèmes se basent sur le fait que les particules ayant une inertie supérieure à une certaine valeur limite ne suivent pas les lignes de courant de l'air échantillonné. On aura alors une impaction des particules supérieures à un certain diamètre de coupure.

6.1.4 Les méthodes électriques

Les méthodes électriques sont basées sur les propriétés électrostatiques des particules. Celles-ci sont chargées électriquement à l'entrée d'un impacteur multiétages. L'enregistrement du signal électrique sur chacun des étages permet, de remonter à la granulométrie de l'échantillon.

Il existe d'autres méthodes, où l'échantillonnage et son analyse sont effectués directement par l'instrument et la mesure de la concentration massique est obtenue quasiment en temps réel. Parmi celles-ci on peut citer les méthodes de mesure en masse, il s'agit de la collection sur filtre, de la jauge β et de la Microbalance oscillante (TEOM).

6.2 Les méthodes d'estimations des émissions de l'ammoniac

(Hassouna et Eglin., 2015) regroupent les méthodes de caractérisation des émissions de polluants atmosphériques en trois stratégies ; la première repose sur des bilans massiques de composés volatiles comme le carbone (C) et l'azote (N). Ces bilans permettent une estimation à partir de l'évolution dans le temps des stocks d'éléments. Le deuxième groupe de stratégies repose sur des mesures d'émissions à la source, qui permettent la quantification des débits,

des concentrations pour des sources confinées, ou l'utilisation de chambres soit statiques soit dynamiques. Le dernier groupe de stratégies permet d'estimer les émissions à distance des sources sans perturber leur fonctionnement. Où les émissions sont estimées à partir de mesures de concentrations à distance de la source associées à des mesures micro-météorologiques.

Quel que soit le gaz ciblé, deux familles de méthodes de mesure des concentrations peuvent être considérées; les méthodes physiques optiques (lasers, spectroscopie d'absorption) et les méthodes chimiques (chimiluminescence, chromatographie en phase gazeuse, pièges acides, tubes colorimétriques).

Par ailleurs, Les stratégies d'échantillonnage et les modalités de prélèvement ont un rôle déterminant sur la qualité et la représentativité spatiale et temporelle des mesures d'émissions. La détermination d'une émission de gaz peut donc passer par différentes étapes :

Les techniques de prélèvements d'échantillon d'air : cette étape peut être réalisée selon plusieurs méthodes, on peut citer, les capteurs passifs à diffusion (Tang et al, 2001 ; Loubet et al, 2009), les techniques de prélèvement continu pour analyse en direct (Jahnke, 1993 ; Wight, 1994), les sacs et tubes de prélèvement (De Klein et al., 2012), ou encore le piégeage acide par barbotage (Samanni-vaute et al, 1993 ; Moal, 1994 ; Générmont, 1996 ; Phillips et al, 2001 ; Portejoie, 2002)

Les techniques d'analyse des concentrations en gaz dans un échantillon d'air : cette étape peut être réalisée grâce à plusieurs instruments, tels que les tubes réactifs colorimétriques (Hamon et al, 2012), la chromatographie en phase gazeuse (Arnold et al, 2001 ; Hu et al, 2014), la spectroscopie d'absorption infrarouge, la spectroscopie d'absorption laser (McManus et al, 2005), la chimiluminescence (Zhang et al, 2005), ou encore le dosage au laboratoire de l'ammonium (NH_4^+) en solution.

Les techniques de mesure des débits ou flux d'air associés à l'émission : pour pouvoir mesurer les débits d'air en bâtiment d'élevage et au stockage des effluents, quatre méthodes sont généralement utilisées, il s'agit de la mesure directe de la ventilation à l'aide d'un anémomètre (Robin et al, 2010), de la détermination du débit d'air à l'aide d'un gaz traceur, de la détermination du débit d'air par bilan thermique (Pedersen et al, 2002 ; Robin et al, 2004), ou encore de la détermination du débit d'air par bilan CO_2 (Pedersen et al, 2008).

Les méthodes permettant d'aller jusqu'au calcul des émissions de gaz : elles peuvent solliciter la mise en œuvre des méthodes des trois autres catégories. Néanmoins, on peut les réunir sous deux groupes :

Le premier détermine l'émission à la source, il s'agit essentiellement de mesure à l'aide d'un gaz traceur, d'enceintes semi-ouvertes, de Système Greenfeed (Zimmerman et al, 2013), de méthode du bilan de masse (Robin et al, 2010), de chambres statiques, de chambres dynamiques et tunnels ventilés (Misselbrook et al, 2005). Les méthodes appartenant à ce premier groupe s'appliquent aux bâtiments d'élevages, au stockage extérieur des effluents, à l'épandage et au sol, aux échantillons de litière ou d'effluents, aux animaux (Ruminant) en conditions contrôlées et au pâturage.

Le deuxième groupe, utilise ces méthodes pour le calcul des émissions. Il emploie une approche micro-météorologiques. Il s'agit de l'intégration horizontale des flux appliquée à toutes sources surfaciques (bâtiment, stockage des effluents, épandage, sol, pâturage), aux méthodes du gradient aérodynamique (Loubet, 2010), à la modélisation inverse des émissions d'une surface (Flesch et al, 2004), aux méthodes des covariances turbulentes (Massman et Lee, 2002), toutes les trois appliquées à différentes sources surfaciques homogènes (effluents, fumier, litière).

7. Approche par compartiment

En fonction des conduites d'élevage, les déjections sont réparties entre l'intérieur et l'extérieur immédiat du bâtiment. Les émissions gazeuses interviennent ainsi à l'extérieur et/ou au bâtiment, puis successivement au stockage et à l'épandage (Gac, 2007 ; Peigne, 2003). Ces émissions dépendent également de la valorisation agronomique et du milieu pédo-climatique et hydro-géologique où sont recyclés les éléments carbone et azote (C, N) (Robin et al, 2004).

Dans cette thèse, nous avons procédé à la compartimentation de notre système d'élevage, compte tenu des effets des anomalies d'étanchéité des bâtiments locaux sur les émissions. Cette approche a été développée dans l'optique de mieux cerner l'influence de chaque élément du système sur les mécanismes d'émissions des particules et de l'ammoniac. En conséquence, nous avons considéré l'intérieur et l'extérieur du bâtiment comme étant deux unités distinctes, avec chacune ses propres compartiments. Rappelons que l'intérieur du bâtiment et son extérieur communiquent ensemble et peuvent donc s'influencer mutuellement (Figure 05). Outre les différents points d'échange d'air à partir des ouvrants (portes et fenêtres), l'étanchéité du bâtiment est également mise en cause dans les échanges de masses d'air est peut donc influencer les émissions.

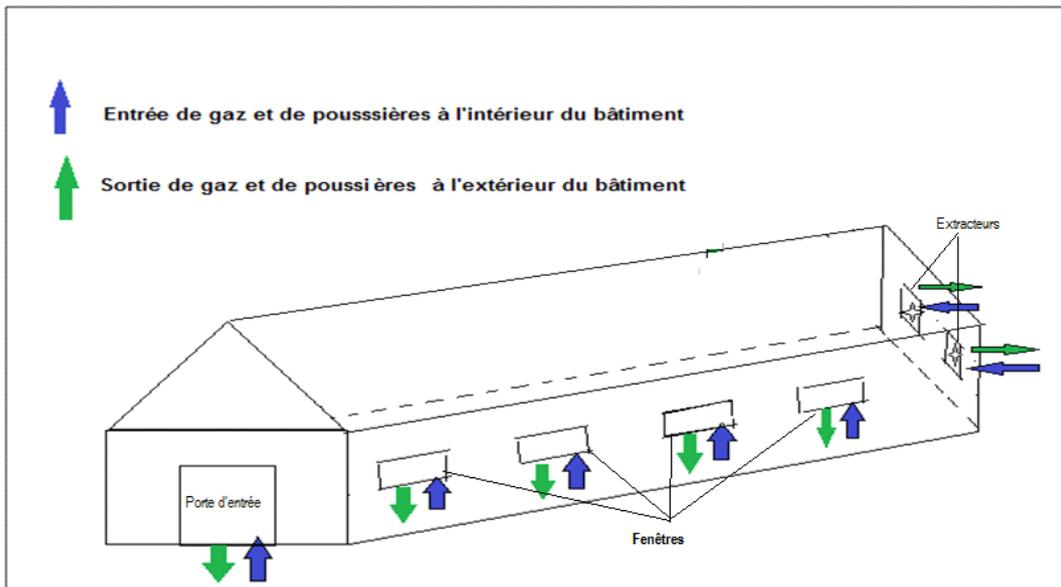


Figure 05. Les points d'échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

7.1 L'intérieur du bâtiment

L'intérieur du bâtiment est considéré comme un ensemble constitué de différents compartiments. Ces derniers produisent et assurent le déplacement des masses gazeuses et particulaires. En partant de ce principe, nous avons partagé le bâtiment en trois compartiments (Figure 06), qui se présente comme suit :

- **Compartiment « animal »** ; qui est composé de ce fait, des poules qui concourent à l'apport de contaminants, de nature biologique ou chimique, issus de leur métabolisme (Ponchant et al, 2008). Qu'il s'agit de la respiration, de l'éruclation ou par flatulence ou encore de l'émission à partir de la dégradation de ses déjections, l'animal est à l'origine de toutes les émissions. l'influence directe des poules, sur les émissions gazeuses et particulaires n'ont pas pu être quantifiés, il y a manque de références sur le sujet, très peu de travaux, sinon pas du tout, traitant des émissions à partir de la poule elle-même, à la différence des travaux réalisés sur les bovins par exemple. Donc la densité des poules par cage ou par mètre carré au sol est importante et déterminante.

- **Compartiment « Fientes »** ; la fermentation des déjections est à l'origine du dégagement de composés malodorants tels que des composés soufrés (H_2S , mercaptans), azotés (amines, indole, scatol), carbonés (acides gras, aldéhydes, cétones) ou aromatiques (phénols) (Lacey et al, 2004). Outre les nuisances olfactives, les élevages avicoles sont de véritables producteurs de gaz nuisibles pour l'environnement, on parle alors d'ammoniac, de méthane au encore de protoxyde d'azote (Lopez, 2010 ; Mostafa, 2012).

La dégradation des déjections d'élevage contribuent à 78 % des émissions d'ammoniac. Les émissions à partir de déjections sont fortement influencées par le type d'animal, la quantité de matière solide volatile, la disponibilité d'oxygène (aérobie ou anaérobie), la température, le pH des fientes et la durée d'entreposage (O'Neill et Phillips, 1992). Autant de variables qui sont étroitement liées aux pratiques d'élevage. On parle notamment, de la gestion des effluents, celle de l'ambiance interne, mais également de l'alimentation qui joue un rôle prépondérant dans la teneur en azote des fientes. En effet, les acides aminés ne servent pas, seulement, à la production d'œufs ou de muscle, ils sont, aussi, soit utilisés pour produire de l'énergie, soit excrétés sous forme d'urates (Dayon et al, 2008), donc responsable de la fraction d'azote contenue dans les déjections, seule susceptible de se volatiliser sous forme d'ammoniac.

- **Compartiment « Air ambiant »** ; L'air à l'intérieur du bâtiment est fonction des divers paramètres d'ambiance qui sont directement liés au bâtiment en tant que structure et/ou aux équipements disponibles. Les animaux élevés et leur densité, les conduites d'élevage sont également des paramètres qui influencent directement la composition de l'air à l'intérieur du bâtiment (fréquence de sortie des fientes, distribution de l'aliment, activité de nettoyage, actionnement des extracteurs et des humidificateurs). Toutefois, la composition de l'air interne est particulièrement influencée par les émissions à partir des déjections (Peigne et al, 2004). Les gaz ou particules produits à partir de ceux-ci sont directement émis dans l'atmosphère interne du bâtiment, régissant ainsi sa composition. De plus, la circulation de l'air à l'intérieur du bâtiment, peut fortement influencer cette composition, elle peut également entraver la quantification des émissions gazeuses. Celle-ci nécessite des connaissances précises en débit d'air et en concentration des gaz à l'intérieur du bâtiment. En conséquence, il est nécessaire de bien connaître la circulation d'air à l'intérieur du bâtiment; elle dépendrait du type de ventilation (dynamique ou naturelle) et de la production de chaleur et de vapeur d'eau dans les systèmes d'élevage. Selon (Ponchant et al, 2008), la production de chaleur totale est fonction du poids vif des animaux et de la chaleur produite par ces animaux, il convient d'ajouter la chaleur apportée par le chauffage et l'éclairage. Outre le fait que, la chaleur produite dans le bâtiment est évacuée par la ventilation, il se produit également des échanges à travers les parois ; où les pertes par conduction sont déduites des caractéristiques thermiques du bâtiment (isolation des murs et de la toiture).

Pour la mesure du débit d'air, il s'agit dans la plupart du temps, de l'utilisation de méthode simplifiée reposant sur un bilan d'énergie sur le gaz carbonique, la vapeur d'eau et le gradient de température. Ainsi, le calcul de bilan, est basé sur des modèles réalisées à partir des

concentrations de gaz carbonique, de la température et de l'hygrométrie à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, et en intégrant la production d'énergie par les animaux et la litière (les fientes) (Dollé et Robin, 2006).

Les différentes techniques d'aménagement du bâtiment des volailles, la présence de litière (nature et quantité), le type d'évacuation des fientes (raclage, tapis) et le type de stockage des déjections à l'intérieur et leur temps de séjour, sont autant de pratiques qui vont déterminer l'évolution des teneurs en azote et l'humidité des déjections et donc les émissions de NH_3 (Groot Koerkamp, 1994).

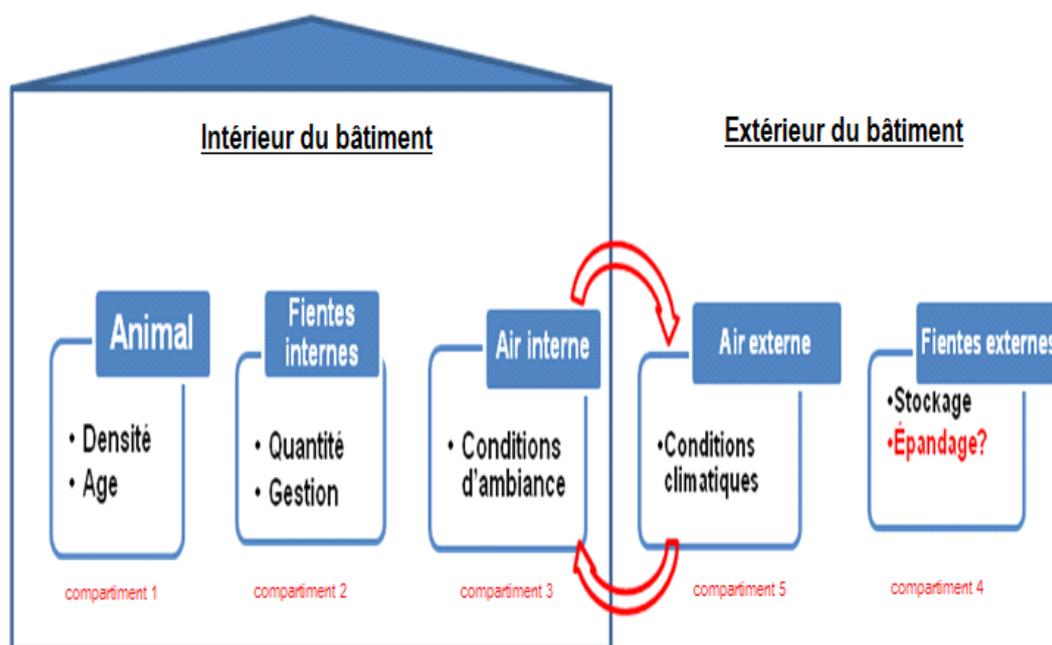


Figure 06. Compartimentation du système d'élevage.

7.2 L'extérieur du bâtiment

Nous avons identifié deux compartiments, les fientes (au stockage ou à l'épandage) ainsi que l'air extérieur immédiat au bâtiment (Figure 06).

- **Compartiment « Déjections à l'extérieur du bâtiment »** ; Une fois hors bâtiment, les fientes sont stockées ou épandues à des distances variables de celui-ci. Elles peuvent également être immédiatement exportées à l'extérieur de la ferme. La concentration et la nature des émissions à partir de ces déjections, restent en partie tributaires des types de stockages ou de la manière d'épandage. Ainsi, les facteurs qui peuvent influencer les émissions s'articulent autour de la surface de contact avec l'air, des caractéristiques du sol et du vent (ADEME, 2012). Les différents gaz sont émis avec des proportions variables ; leurs émanations dépendent de leur teneur en azote et en carbone, de la durée du stockage et du type

de traitement (Steinfeld, 2006). La fraction d'azote organique excrétée et minéralisée en azote ammoniacal dépend tout d'abord de la durée, de la collecte et du stockage, et dans un moindre degré des températures. Les formes simples d'azote organique comme l'acide urique chez la volaille, sont rapidement minéralisées en azote ammoniacal, qui est très volatil et se diffuse vite dans l'air environnant (Asman et al, 1998 ; Monteny et Erisman, 1998 ; Dong et al, 2006). Les pertes d'azote commencent au moment de l'excrétion dans les enclos et autres zones d'élevages d'animaux et continuent dans les systèmes de stockage et de traitement sur site. L'azote provient aussi des écoulements et de la lixiviation sur les sols du stockage en extérieur.

D'une manière globale, en cours de stockage, les pertes d'azote pour les déjections de volailles, sont comprises entre 10 et 20 % si le stockage est réalisé dans des conditions sèches. Par contre, les tas de fumier exposés aux pluies pendant plusieurs mois, peuvent présenter des pertes beaucoup plus importantes, pouvant atteindre dans les cas extrêmes 60 % de l'azote (CORPEN, 2006).

- **Compartiment « Air au voisinage du bâtiment »** ; Le stockage et à moindre degrés l'épandage des déjections, change la composition de l'air à proximité du bâtiment. A cela s'ajoute, les émissions produites à l'intérieur du bâtiment et évacuées à l'extérieur à partir des différents points d'aération de l'édifice (extracteurs, fenêtres, portes, les interstices qui existent dans le bâtiment et qui permettent l'échange avec l'extérieur). Par ces mêmes ouvertures l'air externe pénètre à l'intérieur du bâtiment, renouvelant l'air intérieur, et influençant ainsi sa composition (Lim, 2003). Ces influences sont en fonction des conditions climatiques (Demmers et al, 2010).

L'utilisation des compartiments permet de séparer les différents éléments qui peuvent constituer un système d'élevage et apporterait énormément dans la compréhension des modalités de formation et d'émission des polluants et avec plus de précisions dans l'évaluation des émissions polluantes à partir des élevages.

Conclusion

La conception et l'équipement d'un bâtiment doivent assurer le confort des animaux et une production optimum, tout en minimisant les émissions de gaz et de poussière vers l'atmosphère. Simultanément, ces émissions polluantes sont étroitement liées aux pratiques d'élevage qui conditionnent leur formation et leur émission.

De ce fait, pour que l'estimation des émissions reflètent la réalité, ainsi que les progrès réalisés en terme de réduction soit efficaces, il est nécessaire de préciser la typologie des

systemes d'élevage, d'où l'intérêt de distinguer leurs spécificités en terme de caractéristiques des structures et en terme des conduites d'élevage.

Par ailleurs, le fait que les émissions gazeuses sont automatiquement liées aux déjections et les émissions de particules sont essentiellement liées à l'aliment, n'atteste pas qu'elles soient les uniques sources émettrices en élevage avicole. C'est dans ce contexte que nous nous sommes concentrés sur l'identification d'autres sources productrices de particules et d'ammoniac dans le système d'élevage avicole. Dans la présente recherche, on s'intéresse aux émissions au niveau de l'animal, un des cinq compartiments désignés dans l'étude, mais aussi à l'influence des pratiques locales sur les émissions, ce qui nous a conduit à la nécessité de caractériser les bâtiments et les conduites d'élevage dans la région d'étude, willaya de Batna, à travers la réalisation d'une enquête.

Références bibliographique

- Aarnink, A.J.A., Roelofs, P. F. M. M., Ellen, H. H., Gunnink, H., 1999. Dust sources in animal houses, in Proceedings International Symposium on Dust Control in Animal Production Facilities. Aarhus, Denmark.
- Aarnink, A.J.A., Ellen, H.H., 2007. Processes and factors affecting dust emissions from livestock production, How to improve air quality. International Conference. Maastricht, The Netherlands. in Proceedings of DustConf.
- ADEME, 2010. Procédures de référence pour la mesure des émissions de polluants gazeux des bâtiments d'élevage et stockages d'effluents d'élevage.
- ADEME, 2012. Les émissions agricoles de particules dans l'air : État des lieux et leviers d'action. Brochure Réf. 7416. Éditions, mars 2012, ISBN : 978-2-35838-220-5.
- Adjroudi, R., Bouzeriba, L., 2017. Caractéristiques techniques des bâtiments d'élevage des poules pondeuses a Batna en Algérie. Douzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 05 et 06 avril 2017.
- Aletor, V.A., Hamid, I.I., Nieß, E., Pfeffer, E., 2000. Low-protein amino acid-supplemented diets in broiler chickens: effects on performance, carcass characteristics, whole-body composition and efficiencies of nutrient utilisation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 547-554.
- Al Homidan, A., Robertson, J.F., 2003. Effect of litter type and stocking density on ammonia, dust concentrations and broiler performance. *British Poultry Science* 44, S7-S8.
- Alloui, N., 2005. Cours zootechnie aviaire, université - ELHADJE Lakhdar- Batna, département de vétérinaire, p.10, 17, 19, 44, 47.
- Amand, G., Gobin, C., 2004. Incidence de la rénovation des bâtiments d'élevage – Enquête auprès d'un échantillon d'éleveurs. *Sciences et techniques avicoles*, octobre 2004, (49) : 29 - 32.
- Armand, E.C, 2005. Etude du portage d'agents pathogènes respiratoires chez le canard mulard et conséquences cliniques. Ecole nationale vétérinaire, Toulouse. Année 2005 THESE : 2005 – TOU 3 – 4044.
- Arnold, S.L., Parkin, T.B., Doran, J.W., Eghball, B., Mosier, A.R., 2001. Automated gas sampling system for laboratory analysis of CH₄ and N₂O. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32 (17-18), 2795-2807 10.1081/css-120000962.
- Asman, W.A.H., 1998. Factors influencing local dry deposition of gases with special references to ammonia. *Atmospheric Environment* 32: 415-421.
- Ayachi, A., 2010. Epidémiologie de salmonella typhimurium et salmonella enteritidis dans la filière avicole. Thèse 133p.
- Baltazart, A., 2010. Propriétés physiques, chimiques, biologiques et nutritives des litières en élevage de volailles. Mémoire-Doctorat Vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire d'Alfort. Pp : 26, P31-37.
- Braam, C.R., Swierstra, D., 1999. Volatilization of ammonia from dairy housing floors with different surface characteristics. *J. Agri. Eng. Res* (79): 59-69
- Béline, F., 1998. Étude des transferts d'azote par nitrification/dénitrification (N₂, N₂O, NH₃) au cours du traitement aérobie et du stockage du lisier de porc. Essais avec 15N. PhD thesis, Perpignan University, France.

- Belaid, B., 1993. Notion de zootechnie générale. Office des publications universitaires. Alger
- Blanchard Del gratta, F.M., Durif. E., Frejafon O., Lebihan E., 2004. INERIS exposition par inhalation aux aérosols, principe de mesure, p : 15.
- Boita, A., Verger, 1983. Guide pratique d'éleveur des oiseaux de basse-cour et des lapines, Ed Solar, Paris, p22.
- Boughaba, R., 2012. Etude de la gestion et valorisation des fientes par le lombricompostage dans la willaya de Constantine. Magister en écologie et environnement. Université de mentouri constantine. P 18-30
- Bregendahl, K., Sell, J., Zimmerman, D., 2002. Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poultry Science* 81, 1156-1167.
- Bruce, D., Oppermann, M.R., Michel, V., Lund, V., Mejdell, C., 2015. Air Quality in Alternative Housing Systems May Have an Impact on Laying Hen Welfare. Part I—Dust. - 2015.
- Cavalchini, L.G., Cerolini S., Mariani, R., 1990. Environmental influences on laying hens production. In : Sauveur B. (ed.). *L'aviculture en Méditerranée*. Montpellier : CIHEAM, p. 153-172 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 7).
- Calvet, S., 2008. Experimental studies on gas and dust emissions to the atmosphere in rabbit and broiler buildings. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Valencia, 158 pp.
- Cambra-López, M., Aarnink, A.J.A., Zhao, Y., Calvet, S., Torres, A.G., 2010. Airborne particulate matter from livestock production systems : A review of an air pollution problem, *Environmental Pollution* (2010) 158, 1-17.
- Carey, J.B., Lacey, R.E., Mukhtar, S., 2004. A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 2. Flock and house management factors. *Journal of Applied Poultry Research* 13, 509-513.
- Carpenter, G.A., Fryer, J.T., 1990. Air filtration in a piggery: filter design and dust mass balance. *Journal of Agricultural Engineering Research* 46 (3) ,171-186.
- Cavalchini, L.G., Cerolini S., Mariani R., 1990. Environmental influences on laying hens production. In : Sauveur B. (ed.). *L'aviculture en Méditerranée*. Montpellier : CIHEAM, p. 153-172 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 7)
- Choinière Y, Munroe J.A, 1993, Conséquence de la qualité de l'air sur la santé des personnes qui travaillent dans les bâtiments d'élevage. Ontario, Canada. ISSN 1198-7138.
- Cheradi, A., 1997. Contribution à une définition d'une stratégie de développement de l'élevage caprin en Algérie, Thèse : Ecole Nationale Supérieure Agronomique Hassen Badi - El Harrach Alger, Algérie
- CITEPA, 2010a. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France - Séries sectorielles et analyses étendues - Format SECTEN -Avril 2010. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, Paris, p. 314.
- Commission European, 2003. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs. p. 341.
- CORPEN, 2001. Les émissions d'ammoniac d'origine agricole dans l'atmosphère Etat des connaissances et perspectives de réduction des émissions.
- CORPEN, 2006. Les Emissions d'ammoniac et de gaz azotés A effet de serre en agriculture

- CORPEN, 2003. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. pp: 44.
- Costa, A., Guarino, M., 2008. PM10 and fine particulate matter concentration and emission from three different type of laying hens houses. International Conference: September 15-17, Ragusa-Italy.
- Coufal, C.D., Chavez, C., Niemyerand, P.R., Carey, J.B., 2006. Nitrogen emissions from broilers measured by mass balance over eighteen consecutive flocks. *World's Poultry Science Journal*, 85: 384–391.
- Crunaire, S., 2012, thème métrologie des polluants non réglementés – étude 5/3 – 2012 bilan bibliographique sur la mesure de l'ammoniac, (LCSQA – Mines Douai), Novembre 2012, p.14, 19, 21.
- Curtis P.E., Ollerhead G.E. 1981. Investigation to determine whether healthy chickens are oral carriers of *Pasteurella multocida*. *Vet. Rec.*, 1981, 108, 206-207.
- Daghir, N.J. 2008. *Poultry Production in Hot Climates* (2ed.). Trowbridge: Cromwell Press, 2008. pp.109–114.
- Dayon, J.F., Arbelot, B., 1997. Guide d'élevage des volailles au Sénégal. DIREL Dakar Sénégal, pp: 4-14.
- Djerou, Z., 2006. Influence des conditions d'élevage sur les performances chez le poulet de chair. M.S. thesis, Mentouri Constantine University, Algeria. 140 pages.
- Debbeche, M.Y., 2010. Situation de l'élevage avicole, (cas de la poule pondeuse), conduite dans la Wilaya de Ghardaïa ; pp 27.
- Dérail, L., Bastianelli, D., 2002. Logement et matériel d'élevage en aviculture. In : *Mémento de l'agronome*. CIRAD, GRET, France-MAE. Montpellier : CIRAD, 1 Cd-Rom ISBN 2-86844-130-0.
- Dedieu, B., Faverdin, P., Dourmad, J.Y., Gibon, A., 2008. *Système d'élevage, un concept pour raisonner les transformations de l'élevage*. INRA Productions Animales, 21 (1). 45-58. ISSN 2273-774X.
- De Klein, C., Harvey, M.J., 2012. Nitrous oxide chamber methodology guidelines. Version 1. Ministry for Primary Industries: 146 p.
<http://www.globalresearchalliance.org/research/livestock/activities/nitrous-oxidechamber-methodology-guidelines/> (site visité le 22/10/2014)
- Demmers, T.G.M., 2010. Dust and ammonia emission from UK poultry houses.
- Dollé, J.B., Robin, P., 2006. Emission de gaz à effet de serre en bâtiment d'élevage bovin ; Journée AFPP- prairie, élevage, consommation d'énergie et GES ;pp :69-78.
- Dong, H., Mangino, H., McAllister, A., 2006. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.
- Dourmad, J.Y., Guingand, N., Latimier, P., Sève, B., 1999. Nitrogen and phosphorous consumption, utilisation and losses in pig production, *Livest. Prod. Sci.* (58): 199-211
- Drouin, P., Amand, G., 2000. La prise en compte de la maîtrise sanitaire au niveau du bâtiment d'élevage. *Sciences et techniques avicoles hors série septembre 2000* : 29 – 37.
- Duncan, I.J.H., 2010, Lighting and its Effects on the Welfare of Broiler Chickens, *BC Organic Grower*, 13 (4): 14-23.

- Ellen, H.H., Drost, H., 1997. Technische mogelijkheden om de stofconcentratie in pluimveestallen te verlagen. Rapport R9703, Praktijkonderzoek Pluimveehouderij, Beekbergen, 28 pp.
- Ellen, H.H., Bottcher, R.W., Von Wachenfelt, E., Takai, H., 2000. Dust levels and control methods in poultry houses. *Journal of Agricultural Safety and Health* 6(4), 275-282.
- FAO, 2010. Livestock in a changing landscape: Drivers, consequences and responses. FAO, Rome, Italy, p. 416.
- Flesch, T.K., Wilson, J.D., Harper, L.A., Crenna, B.P., Sharpe, R.R., 2004. Deducing ground-to-air emissions from observed trace gas concentrations: A field trial. *Journal of Applied Meteorology*. 43 (3), 487-502 10.1175/1520-0450(2004)043<0487:dgefot>2.0.co;2
- Freire, R., Cowling, A., 2013. The welfare of laying hens in conventional cages and alternative systems: first steps towards a quantitative comparison. *Anim. Welf.* 22:57-65.
- Gac, A., Deline, F., Bloteau, T., 2007. Inventaire national des émissions gazeuses [CH₄, N₂O, NH₃] liées à la gestion des déjections animales: les données bibliographiques et les résultats pour l'élevage avicole ; article : septième journée de la recherche avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007.
- Gag, A., Béline, F., Bloteau, T., 2006. Flux de gaz à effet de serre (CH₄, N₂O) et d'ammoniac (NH₃) liés à la gestion des déjections animales: Synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données. 98 p.
- Génermont, S., 1996. Modélisation de la volatilisation d'ammoniac après épandage de lisier sur parcelle agricole. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier - Toulouse, 331 p.
- Gerep, 2014. Guide pour l'évaluation des émissions dans l'air d'ammoniac, méthane, particules (pm₁₀) et protoxyde d'azote pour l'élevage des porcs et de volailles français. – 2014.
- Ghmirou, Y., 2016. Techniques de conduite des élevages de poules pondeuses d'œufs de consommation, Aviculture au Maroc. Source: www.avicultureaumaroc.com.
- Godbout, S., 2008. Problématiques environnementales émergentes en production animale. Colloque en agroenvironnement, 27 novembre 2008, Drummondville. Rapport final. IRDA.
- Götz, M., 2013. Non seulement les poules pondent des œufs, mais elles peuvent aussi voler si on les laisse faire. Protection suisse des animaux (PSA). Le comportement des poules. Feuille d'information PSA. 5p.
- Grinshpun, S., Willeke, K., Kalatoor, S., 1993. A general equation for aerosol aspiration by thin-walled sampling probes in calm and moving air, *Atmospheric Environment* : j.atmosenv Volume 27, Issue 9, June 1993, Pages 1459-1470.
- Grub, W., RoUo, C.A., Howes, J.R., 1965. Dust problems in poultry environments. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.* 8:338-339.
- Groot Koerkamp, P.W.G., 1994. Review of emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *Journal of Agricultural Engineering Research* 59, 73-87.
- Groot Koerkamp, P.W.G., Metz, J.H.M., Uenk, G.H., Phillips, V.R., Holden, M.R., Sneath, R.W., Short, J.L., White, R.P., Hartung, J., Seedorf, J., Schroder, M., Linkert, K.H.,

- Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J.O., Wathes, C.M., 1998a. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, 79-95.
- Guinebretière, M., Guillaume, G., Bignon, L., Conan, S., Audebet, G., Huonnic, D., Huneau Salaün A., Michel, V., 2011. Aménagement des cages pour poules pondeuses: impacts économiques, sanitaires, zootechniques et sur le bien-être animal. *Innovations Agronomiques*, 17: 199-211.
- Guillou, M., 1988. La poulette et la pondeuse d'oeufs de consommation. In: Rosset, R. (Ed.), *L'aviculture française. Informations techniques des Services Vétérinaires du Ministère de l'Agriculture*, Paris, France, pp. 297-318.
- Guingand, N., Aubert, C., Dollé, J.B., 2010. Guides des Bonnes Pratiques Environnementales d'Élevage. IFIP - Institut du porc.
- Gustafsson, G., 1999. Factors affecting the release and concentration of dust in pig houses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74 (4), 379–390.
- Gustafsson, G., Von Wachenfelt, E., 2009. Laying-Hen Reactions to Artificial Light in a Floor Housing System, *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript BC.
- Hamon, L., Lagadec, S., Dumont, E., Landrain, B., Landrain, P., 2012. Mise au point d'un biofiltre pour l'amélioration de l'ambiance et des émissions des porcheries. C0974C0229, Ademe, 63 p.
- Hassouna, M., Eglin, T., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. Diffusion INRA-ADEME. 314p. ISBN : 2-7380-1375-9
- Hartung, J., Philips, V.R., 1994. Control of gaseous emissions from livestock building and manure stores. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57, 179-189.
- Heber, A.J., Stroik, M., Faubion, J.M., Willard, L.H., 1988a. Size distribution and identification of aerial dust particles in swine finishing buildings. *Transactions of the ASAE* 31(3), 882-887.
- Hinz, T., Linke, S., 1998b. A comprehensive experimental study of aerial pollutants in and emissions from livestock buildings. Part 2. Results. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(1), 111-118.
- Hu, E., Babcock, E.L., Bialkowski, S.E., Jones, S.B., Tuller, M., 2014. Methods and Techniques for Measuring Gas Emissions from Agricultural and Animal Feeding Operations. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 44 (3), 200-219
10.1080/10408347.2013.843055.
- Hy-Line International, 2015. Understanding Poultry Lighting: A Guide To LED Bulbs And Other Sources Of Light For Egg Producers
- Illuminating Engineering Society of North America, Rea, M.S., 2000. *IESNA Lighting Handbook*. Illuminating Engineering; 9 edition (July 1, 2000). ISBN-10: 0879951508.
- IFIP, 2013. Solutions pour réduire sa consommation d'énergie et produire des énergies renouvelables dans la filière porcine : Guide de bâtiment d'élevage à énergie positive (BEBC+), dépôt légal 3^{ème} trimestre 2013, ISBN : 987-285969-224-7.
- ITAVI, 1997b. Les litières. *Sciences et Techniques Avicoles - Gestion techniques des bâtiments avicoles*, pp. 43-47.

- ITAVI, 2001. Les déjections avicoles. Science et techniques avicoles hors série Septembre 2001. Pp 27-33.
- ITAVI, 2003. Caractérisation des fumiers, lisiers et fientes de volailles. p. 41.
- ITAVI, 2009. Guide D'élevage Aviculture Fermier : Quelques repères pour les éleveurs professionnels commercialisant en circuits courts. Editions ITAVI -PARIS 1er trimestre 2009 1ère édition, pp: 31.
- ITAVI, 2013. Estimation des rejets d'azote – phosphore - potassiumcalcium - cuivre – et zinc par les élevages avicoles. Hors- série septembre 2001. p36.
- ITAVI, 2016. Je gère mes fientes, du stockage à l'épandage : Fiche Technique n°7C - mise à jour 05/12/2016
- Jácome, I.M.T.D., Rossi LA Borille, R., 2014. Influence of Artificial Lighting on the Performance and Egg Quality of Commercial Layers: a Review Brazilian Journal of Poultry Science / v.16 / n.4 / 337-344
- Jahnke, J.A., 1993. Continuous emission monitoring. Van Nostrand Reinhold 302 p.
- Jhnsn, R.A., Wichern, D.W., 2007. Statistical Analysis -61h ed. Includes index. Pearson Education, pp: 430-454
- Kjaer, J.B., Vestergaard, K.S., 1999. Development of feather pecking in relation to light intensity, Applied Animal Behaviour Science 62 _ . 243–254
- Keshavarz, K., Austic, R., 2004. The use of low-protein, low-phosphorus, amino acid- and phytase-supplemented diets on laying hen performance and nitrogen and phosphorus excretion. Poultry Science 83, 75-83.
- Kocaman, B., Esenbuga, N., Yildiz, A., Laçin, E., Macit, M., 2006. Effect of Environmental Conditions in Poultry Houses on the Performance of Laying Hens, International Journal of Poultry Science 5 (1): 26-30.
- Kenneth, D.C., Gates, R.S., Wheeler, E.F., Zajaczkowski, J.S., Topper, P.A., Xin, H., Liang, Yi., 2003. Ammonia Emissions from Broiler Houses in Kentucky during Winter. International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities, Horsens, Jutland, Denmark 1-4 June, 2003.
- Kilic, I., Yaslioglu, E., 2014. Ammonia and Carbon Dioxide Concentrations in a Layer house, Asian Australas. J. Anim. Sci. Vol. 27, No. 8 : 1211-1218.
- Kocaman, B., Esenbuga, N., Yildiz, A., Laçin, E., Macit, M., 2006. Effect of Environmental Conditions in Poultry Houses on the Performance of Laying Hens, International Journal of Poultry Science 5 (1): 26-30.
- Koerkamp, P.W.G., 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. Journal of Agricultural Engineering Research pp73-87.
- Lacey, R.E., Mukhtar, S., Carey, J.B., Ullman, J.L., 2004. A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 1. Odor concentrations and emissions. Journal of Applied Poultry Research 13, 500-508.
- Lagadec, S., Espagnol, S., Guingand, N., Hassouna, M., 2012. Qualité de l'air en élevage : comment mesurer les gaz. Tech Porc, Novembre - Décembre 2012 - n°8. P26-27.
- Landais, E., 1992. Principes de modélisation des systèmes d'élevage : approches graphiques. Les cahiers de la recherche .Développement, 32, 82-95. In LEBLOND J.M., 2001. Etude des systèmes d'élevage. Quel avenir pour les éleveurs bovins du Gharb ?-Périmètre

- irrigué du Maroc. Ingénieur des Techniques Agricoles. Option A.E.P. Institut Agronomique Méditerranéen Montpellier. 106p.
- Larbier, M., Leclercq, B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles. Editeur/ Inra. Editions Quae, 1992 – 355, PP: 212-217.
- Le Menec, M., 1988. Les bâtiments d'élevage de volailles. In: Rosset, R. (Ed.), L'aviculture française. Informations techniques des Services Vétérinaires du Ministère de l'Agriculture, Paris, France, pp. 81-119.
- Lhoste, Ph., 2001. L'étude et le diagnostic des systèmes d'élevage. Atelier de formation des agronomes SCV Madagascar, 13-23 Mars 2001. 32 p.
- Li, F., 1993, Etude des fonctions de corrélation et de connexion pour des mélanges de particules. Thèse doctorat, Physique, Orléans : 1993, 185 P.
- Li, H., Xin, H., Liang, Y., Gates, R.S., Wheeler, E.F., Heber, A.J., 2005. Comparison of direct vs. indirect ventilation rate determinations in layer barns using manure belts. *Transactions of the ASAE* 48(1), 367-372.
- Liang, Y., Xin, H., Wheeler, E.F., Gates, R.S., Li, H., Zajackowski, P., Topper, A., Casey, K.D., Behrends, B.R., Zajackowski, F.J., 2005. Ammonia Emissions from U.S. Laying Hen Houses in Iowa and Pennsylvania. *Transactions of the ASAE* 48(5): 1927-1941.
- Lim, T.T., Heber, A.J., J-Qin, Ni., Gallien, J.X., Hongwei, X., 2003. Air quality measurements at a laying hen house: particulate matter concentrations and emissions. *Air Pollution from Agricultural Operations III, Proceedings of the 12-15 October 2003 Conference* (Research. ASAE Publication Number 701P1403, ed. H. Keener, Pp. 249-256.
- Lin, X.J., Cortus, E. L., Zhang, R., Jiang, S., Heber, A. J., 2012. Ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide, and particulate matter emissions from California high-rise layer houses. *Atmospheric Environment, Volume 46, January 2012, Pages: 81-91.*
- Lopez, M.C., Aarnink, A.J.A., Zhao, Y., Calvet, S., Torres, A.G., 2010. Airborne particulate matter from livestock production systems : A review of an air pollution., *Environmental Pollution, Volume 158, Issue 1, January 2010, Pages: 1-17*
- Lohmann, 2010. Pondeuses Guide D'élevage, Management guide en climat chaud.
- Lohmann, 2016. Contrôle du stress chaleur. Guide D'élevage, Management *Guide*.
- Lohmann, 2018. Guide d'élevage LOHMANN Brown classic.
- Loubet, B., Asman, W.A.H., Theobald, M., Hertel, O., Tang, S.Y., 2009. Ammonia deposition near hot spots: processes, models and monitoring methods.
- Loubet, B., Genermont, S., Ferrara, R., Bedos, G., Decuq, G., 2010. An inverse model to estimate ammonia emissions from fields. *European Journal of Soil Science*. 61 (5), 793-805 10.1111/j.1365-2389.2010.01268.x.
- Maghirang, R. G., Riskowski, G. L., Christianson, L. L., & Manbeck, H. B. (1995). Dust control strategies for livestock buildings - a review. *ASHRAE Transactions*, 101(Pt 2), 1161-1168.
- Maghirang, R. G., Riskowski, G. L., Christianson, L. L., & Manbeck, H. B., 1995. Dust control strategies for livestock buildings - a review. *ASHRAE Transactions*, 101(Pt 2), 1161-1168.
- Mahmoudi, Y., 2016. Impacts du type de logement en élevage de poules pondeuses sur les performances zootechniques et le bien-être animal. *Maîtrise en sciences animales, Université LAVAL, Québec, Canada*. pp 96.

- Massman, W.J., Lee, X., 2002. Eddy covariance flux corrections and uncertainties in longterm studies of carbon and energy exchanges. *Agricultural and Forest Meteorology*. 113 (1-4), 121-144 10.1016/s0168-1923(02)00105-3.
- McManus, J., Nelson, D., Shorter, J., Jimenez, R., Herndon, S., 2005. A high precision pulsed quantum cascade laser spectrometer for measurements of stable isotopes of carbon dioxide. *Journal of Modern Optics*. 52 (16): 2309-2321
- Meda, B., Hassouna, M., Aubert, C., Robin, P., Dourma, J.Y., 2011. Influence of rearing conditions and manure management on ammonia and greenhouse gas emissions from poultry houses, *World's Poultry Science Journal*, Vol.67, 441-456, September 2011,
- Meda, B., 2011. Une approche dynamique des flux d'éléments et d'énergie des ateliers de production avicole avec ou sans parcours : Conception et application du modèle MOLDAVI, Thèse : AGROCAMPUS Ouest, 238P.
- Michel, V., Huonnic, D.A., 2003. comparison of welfare, health and production performance of laying hens reared in cages or in aviaries. Spring meeting of the WPSA French branch meeting abstracts. 2003, 775-776.
- Miola, E.C.C., Rochette, P., Chantigny, M.H., Angers, D.A., Aita, C., Gasser, M.O., Pelster, D.E., Bertrand, N., 2014. Ammonia Volatilization after Surface Application of Laying-Hen and Broiler-Chicken Manures. *Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America*.
- Misselbrook, T.H., Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Johnson, R.A., 2005. Measuring ammonia emissions from land applied manure: an intercomparison of commonly used samplers and techniques. *Environmental Pollution*. 135 (3) : 389-397 10.1016/j.envpol.2004.11.012.
- Miwa, Y.M., Irenilza de Alencar, N., Rodrigo, L.M., Ferraz do Nascimento, F., 2006. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation, *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.63, n.5, p.426-432, September/October 2006.
- Moal, J.F., 1994. Volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers après épandage: quantification et étude des facteurs d'influence. Cemagref, Equipement pour l'eau et l'environnement, Université de Perpignan, 230 p.
- Monteny, G.J., Erisman, J.W., 1998. Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors, and possibilities for reduction. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46: 225-247.
- Monteny G.J., Smits M.C.J., Van Duinkerken G., Mollenhorst H., Boer I.J.M., 2002. Prediction of ammonia emission from dairy barns using feed characteristics Part II : relation between urinary urea concentration and ammonia emission, *Journal of Dairy Science*, 85, pp. 3389-3394.
- Mostafa, E., 2012. Air-Polluted with Particulate Matters from Livestock Buildings. P 288-292.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Walker, A.W., 2004. Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. *Biosystems Engineering* 89(2): 175-185.
- Nicolas, C., 2007. volaille / isolation : fiche technique « énergie », chambre d'agriculture N°29

- Olanrewaju, H.A., Thaxton, J.P., Dozier, W.A., Purswell, J., Roush, W.B., Branton, S.L., 2006. A Review of Lighting Programs for Broiler Production, *International Journal of Poultry Science* 5 (4): 301-308.
- O'Neill, D.H., Phillips, V.R., 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 3, properties of the odorous substances which have been identified in livestock.
- Pedersen, S., Takai, H., 1999. Dust response to animal activity. In: *Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities*, 30 May - 2 June., Aarhus, Denmark. p 306-309.
- Pedersen, S., Sällvik, K., 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses Heat and moisture production at animal and house levels. Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences 46 p.
- Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Jørgensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. X, 19 p.
- Peigné, J., 2003. Méthode d'évaluation des pratiques agri-biologiques sur la qualité de l'air à l'aide d'indicateurs agri-environnementaux, thèse, INRA, 155p.
- Peigné, J., Bockstaller, C., Pervanchon, F., Girardin, P., 2004. Evaluation des émissions de NH₃, N₂O et CH₄ des engrais de ferme à l'aide d'indicateurs agri-environnementaux. *Fourrages* (2004) 177, 93-112
- Petit, F., 1991. Manuel d'aviculture en Afrique, Lyon, France, 74 p.
- Peyraud, J.L., Vertès, F., Delaby, L., Fiorelli, J.L., Durand, P., 2012. Bilans des flux d'azote au niveau des systèmes de production animale. Ch. 7. In: Peyraud, J.L., Cellier, P., et al. (Eds.), *Les flux d'azote liés aux élevages. Réduire les pertes, rétablir les équilibres*. Expertise Scientifique Collective. Inra (France) pp. 295-331.
- Phillips, V.R., Lee, D.S., Scholtens, R., Garland, J.A., Sneath, R.W., 2001. A review of methods for measuring emission rates of ammonia from livestock buildings and slurry or manure stores, Part 2: Monitoring flux rates, concentrations and airflow rates. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 78 (1) :1-14 10.1006/jaer.2000.0618.
- Picard, M., Porter, R.H., Signore, T J.P., 1994. *Comportement et bien-être animal*. INRA, Paris.
- Picard, M., Le fur, C., Melcion, J.P., Bouchot, C., 2013. Caractéristiques granulométriques de l'aliment : le « point de vue » (et de toucher) des volailles. *INRA Prod. Anim*, p : 117-130.
- Ponchant, P., Hassouna, M., Ehrlacher, A., Aubert, C., Amand, G., Leleu, C., Robin, P., 2008. Application et validation d'une méthode de mesures simplifiées des émissions gazeuses dans les bâtiments d'élevage à ventilation naturelle, *TeMA* n° 6 - avril/mai/juin 2008.
- Ponchant, P., Robin, P., Hassouna, M., 2013. Enjeux et évaluation des émissions gazeuses dans les élevages de volailles. *Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras*, La Rochelle, du 26 au 28 mars 2013.
- Portejoie, S., 2002. Volatilisation ammoniacale lors du stockage et à l'épandage de lisiers de porc: impact des apports protéiques, de l'utilisation de couvertures de fosse et d'additifs. Thèse de Doctorat de L'Université de Perpignan, 137 p.

- Prodanov, M., Radeski, M., Ilieski, V., 2016. Air Quality Measurements In Laying Hens Housing, *Macedonian Veterinary Review*; 39 (1): 91-95
- Qi, R., Manbeck, H.B., Maghirang, R.G., 1992. Dust net generation rate in a poultry layer house. *Transactions of the ASAE* 35(5), 1639-1645.
- Quemeneur, P., 1988. La production du poulet de chair. In: Rosset, R. (Ed.), *L'aviiculture française. Informations techniques des Services Vétérinaires du Ministère de l'Agriculture*, Paris, France, pp. 241-253.
- Quideau, P., 2010. Les effluents d'élevage, les coproduits de traitement et leurs incidences environnementales. In: Espagnol, S., Leterme, P. (Eds.), *Elevages et environnement*. Educagri éditions, Editions Quae, Dijon, Paris, France, p. 260.
- Rahan, M., 2016. La poule pondeuse : Œufs de consommation, synthèse, ITEL : institut technique des élevages. Ministry of Agriculture and Rural Development, Algiers.
- Redwine, J. S., Lacey, R. E., Mukhtar, S., Carey, J. B., 2002. Concentration and emissions of ammonia and particulate matter in tunnel-ventilated broiler houses under summer conditions in Texas. *Transactions of the ASAE* 45(4), 1101-1109.
- Roberts, S.A., Xin, H., Kerr, B.J., Russell, J.R., Bregendahl, K., 2007. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on ammonia emission from laying-hen manure. *Poultry Science* 86, 1625-1632.
- Robin, P., De Oliveira, P.A., Kermarrec, C., 1999. Production d'ammoniac de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de porc durant la phase de croissance. in *PocrineResearchDays in France*, pp : 111-116.
- Robin, P., Hassouna, M., Ramonet, Y., Texier, C., 2004. Maîtrise des émissions gazeuses en bâtiments sur litière (validation en élevages des résultats acquis en conditions climatiques contrôlées). Programme Porcherie Verte Action de recherche AC-41B Rapport final. INRA; CRAB; IFIP. 104 p.
- Robin, P., Amand, G., Aubert, C., Babela, N., Brachet, A., 2010. Procédures de référence pour la mesure des émissions de polluants gazeux des bâtiments d'élevage et stockages d'effluents d'élevage. Rapport final. (contrat n° 06 74 C0018). 519 p.
- Roch, G., Couture, C., Boulianne, M., 2013. Guide d'élevage de volailles de Basse-cour, Eqcma : version complète, pp :14-16.
- Roumeliotis, T.S., Heyst, B.J., 2008. Summary of ammonia and particulate matter emission factors for poultry operations. *Journal of Applied Poultry Research* 17, 305-314.
- Rousset, N., Guingand, N., Dezat, E., Lagadec, S., Jegou, J.Y., Dennery, G., Chevalier, D., Boulestreau-Boulay, A.L., Dabert, P., Berraute, Y., Allain, E., Maillard, P., Adjji, K., Hassouna, M., Robin, P., Ponchant, P., Aubert, C., 2014. Les litières en élevage : identification, test et évaluation des techniques ou des pratiques consistant à mieux gérer les litières avec moins de matériaux.
- Rousset, N., Huneau-Salaün, A., Guillam, M.T., Ségala, C., Le Bouquin, S., 2016. Qualité de l'air en élevage des poules pondeuses impact sur l'environnement et la santé des éleveurs ; Pp : 219.
- Samanni-vaute, J.-l. Fanlo et P. l E Gloireg , 1993. The elimination of ammonia on different adsorbents : activated charcoal, peat and sludge from sewage purification plants ; *Pollution Atmosphérique* , octobre-décembre.

- Sandhu, T.S., Harry, E.G., 1981. Serotypes of *Pasteurella anatipestifer* isolates from commercial White Pekin ducks in the United States. *Avian Dis.*, 1981, 25, 497-502.
- Sauter, E.E.A., Petersen, C.C.F., Steele, E.E.E., Parkinson, J.J.F., Dixon, J.J.E., Stroh, R.R.C., 1981. The airborne microflora of poultry houses. *Poultry Science* 60(3), 569-574.
- Sauveur, B., 1991. Mode d'élevage des poules et qualité de l'œuf de consommation. *Inra Productions Animales*, 4(2), pp.123-130.
- Saraz, J., Tinoco, F.I., Gates, R.S., De Paula, M.O., Mendes, L.B., 2013. Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities; *Dyna-Colombia Volume: 80 (178) : 51-60.*
- Schulte, D.D., 1997. Critical Parameters for Emissions. Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities. Textes de conférence internationale tenue à Vinkeloord, The Netherlands. 6 -10 Octobre, pp. 23-34.
- Seedorf, J., Hartung, J., Schroder, M., Linkert, K. H., Phillips, V.R., Holden, M.R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J.O., Metz, J. H. M., Groot Koerkamp, P.W.G., Uenk, G.H., Wathes, C.M., 1998. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(1), 97-109.
- Soufi, S., 2008. La situation de l'élevage avicole dans la région du Souf (cas de la poule pondeuse d'œuf de consommation. Ouargla : université Kasdi Marbeh, 2008.
- Steinfeld, J. H., Pandis, S. N., 2006. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change, 2nd edition, J. Wiley, New York, 1232 p., 2006.
- Shepherd, T.A., Zhao, Y., Li, H., Stinn, J.P., Hayes MD, Xin H, 2015, Environmental assessment of three egg production systems--Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions. *Poult Sci.* 2015 Mar;94(3):534-43. doi: 10.3382/ps/peu075.
- Sun, G., Guo, H.Q., Peterson, J., 2010. Seasonal odour, ammonia, hydrogen sulphide, and carbonyl concentrations and emissions from swine grower-finisher rooms. *Journal of the Air & Waste Management Association* 60(4), 471-480.
- Surbhi, V.K., 2014. Avian photoreceptors and their role in the regulation of daily and seasonal physiology, *General and Comparative Endocrinology*.
- Takai, H., Pedersen, S., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Groot Koerkamp, P.W.G., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Hartung, J., Seedorf, J., Schroder, M., Linkert, K.H., Wathes, C.M., 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(1), 59-77.
- Talukder, S., Islam, T., Sarker, S., Islam, M. M., 2010. Effects of environment on layer performance *J. Bangladesh Agril. Univ.* 8(2): 253-258.
- Tang, Y., Cape, J., Sutton, M., 2001. Development and types of passive samplers for monitoring atmospheric NO₂ and NH₃ concentrations. *The Scientific World Journal.* (1): 513-529.
- Thaler, R.C., Aarnink, A. J. A., Koch, K., Sauber, T. E., 2002. Effect of grain type, milling method, and diet form on dust production in a laboratory dust generator. *J. Anim. Sci.* Vol. 80 (Suppl. 1): 178.

- Van Wicklen, G., 1989. Respirable aerosol sampling in poultry and swine housing. Aerosol sampling in animal houses.
- VERA, 2011. Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems, DK-2920 Charlottenlund Denmark, version 2, pp: 29-08.
- Vonesch, A., 2007. Introduction au bien-être des poules pondeuses. De l'éleveur au consommateur : les enjeux, vus d'Alsace. 38p
- Vucemilo, M., Matkovic, K., Vinkovic, B., Macan, J., Varnai, V. M., Prester, L.J., Granic, K., Orct, T., 2008. Effect of microclimate on the airborne dust and endotoxin concentration in a broiler house. *Czech Journal of Animal Science* 53(2), 83-89.
- Wang, S., Zhao, L. Y., Wang, X., Manuzon, R., Darr, M., Li, H., Keener, H. M., 2014. Estimation of ammonia emission from manure belt poultry layer houses using an alternative mass balance method. *Transactions of the ASABE*, 57 (3): 937-947.
- Wathes, C.M., Holden, M.R., Sneath, R.W., White, R.P., Phillips, V.R., 1997. Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *British Poultry Science* 38(1), 14-28.
- Wight, G., 1994. Fundamentals of air sampling. Lewis Publishers 272 p.
- Windhorst, H.W., 2017. Changing patterns of egg production and egg trade in Europe between 2000 and 2005 with special reference to East European and CIS countries. International Egg Commission Special Report, September 2007.
- Wu-Haan, W., Powers, W.J., Angel, C.R., Hale, C.E., Applegate, T.J., 2007. Effect of an acidifying diet combined with zeolite and slight protein reduction on air emissions from laying hens of different ages. *Poultry Science* 86, 182-190.
- Yakhlef, H., 2001. Cours : Approche systémique. Institut National Agronomique El-Harrach. Alger, p13.
- Yauschew, R.S., 2013. Qualité de l'air dans les couvoirs: quel impact sur la santé des salariés?. - Bretagne occidentale : université de brest, 2013.
- Yoder, M.F., Van Wicklen, G.L., 1988. Respirable aerosol generation by broiler chicken. *Transactions of the ASAE* 31, 1510-1517.
- Yongxing, C., Hongwei, X., Hong, L., Shepherd, T., 2012. Comparison of Ammonia Emissions from Poultry Houses Based on Diurnal Integration vs. Daily Means of Gas Concentration and Building Ventilation Rate, An ASABE Conference Presentation. Paper Number: ILES 12-0965.
- Zimmerman, S., Brito, A., Huhtanen, P., Johnson, K., Michal, J.J., 2013a. Measurement and evaluation of enteric CH₄ emissions and variability in production systems. 5th Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference (GGAA 2013). Dublin, Ireland, 23-26 juin 2013
- Zhang, Y., Tanaka, A., Dosman, J.A., Senthilselvan, A., Barber, E.M., Kirychuk, S.P., Holfeld, L.E., Hurst, T.S., 1998. Acute respiratory responses of human subjects to air quality in a swine building. *Journal Of Agricultural Engineering Research* 70(4): 367-373.
- Zhang, Y., 2004. Indoor Air Quality Engineering. CRC Press, Boca Raton, Florida, 618 pp.
- Zhang, Z.Y.; Zhang, S.C.; Zhang, X.R. 2005. Recent developments and applications of chemiluminescence sensors. *Analytica Chimica Acta*. 541 (1-2), 37-47
10.1016/j.aca.2004.11.069.

- Zhao, Y., Aarnink, A. J. A., Hofschreuder, P., Groot Koerkamp, P.W.G., 2009. Evaluation of an impactor and a cyclone pre-separator for sampling high PM10 and PM2.5 concentrations in livestock houses. *Journal of Aerosol Science* 40(10), 868-878.
- Zhao, Y., Xin, H., Shepherd, T. A., Hayes, M. D., Stinn, J. P., Li, H., 2013. Thermal environment, ammonia concentrations, and ammonia emissions of aviary houses with white laying hens. *Transactions of the ASABE*, 1145-1156.

PARTIE 2

CARACTERISATION DES SYSTEMES d'ELEVAGES DE POULES PONDEUSES DANS LA WILLAYA DE BATNA.

CHAPITRE 1

CADRE DE L'ETUDE

Introduction

Les bâtiments d'élevage, sont des systèmes de logement pour une catégorie d'animaux spécifiques, avec une conception, un équipement et une gestion caractéristique qui déterminent leur performance environnementale (VERA, 2011) et les émissions qui peuvent s'en échapper (Atapattu, 2008). La production et la santé des animaux dépendent principalement de cet environnement (Sivakumar, 2017).

La spécification des systèmes d'élevages dans le but d'évaluer ou de réduire les émissions, est définie à travers une description de la conception du bâtiment, celle des systèmes d'évacuation des déjections et des lieux de leurs stockage et passe également, par la description du climat intérieur et des moyens de son contrôle. La composition des aliments du bétail, du régime de lumière et de la routine de travail, participe également à la détermination des systèmes d'élevage (Pedersen et al, 2002 ; VERA, 2011). Mais le paramètre prépondérant reste la connaissance du taux de ventilation autour des sources d'émission (Kenneth et al, 2002 ; Calvet et al, 2010 ; Yongxing et al, 2012).

Autant de facteurs liés directement au bâtiment et à sa gestion déterminent les conditions générales de formation et d'émission des polluants au niveau des logements des animaux. En effet, ces facteurs influencent la variation de la production de chaleur et d'humidité (Pedersen et al, 2002), deux paramètres importants dans la génération de nombreux polluants dans l'air intérieur des bâtiments (Al-Homidan et al, 2003 ; Coufal et al, 2006).

Ainsi, l'inventaire des émissions en vue d'une évaluation environnementale nécessite une typologie des systèmes d'élevages. Cette dernière reste imprécise voir inexistante quant au secteur avicole en Algérie, malgré son importance. En effet, les deux dernières décennies témoignent d'une importante évolution de la filière dans le pays (Khenenou, 2017), à l'image de ce qui se passe en Afrique (Nebiyu et al, 2018) et dans les pays en voie de développement (Serbessa et al, 2017). La volaille est la plus grande espèce d'élevage animale au monde (Moreda et al, 2013), mais dans ces régions, elle reste à 80% élevée dans des systèmes de productions traditionnels (Weyuma et al, 2015).

En Algérie l'aviculture a connu une importante évolution au cours de ces dernières années et a tendance à faire disparaître son secteur traditionnel. Depuis les années 80, l'intensification a

gagnée toutes les régions du pays, avec une grande concentration autour des villes du Nord. (Djerou, 2006 ; Youbi, 2009).

La présente partie fournit des informations sur les systèmes d'élevage de poules pondeuses de la wilaya de Batna. Ainsi, toutes les figures de ce chapitre, de la (Figure 07) à la (Figure 10), sont un traitement de données brutes récoltées aux près de l'inspection vétérinaire de la wilaya de Batna. Aussi, nous avons procédé à la typologie des systèmes, en soulignant leurs spécificités. La caractérisation portera notamment sur les bâtiments, les équipements et les pratiques locales de gestion des élevages.

1. Le secteur avicole dans la wilaya de Batna

Les données du recensement général de l'agriculture (RGA MADR, 2003) montrent la relative concentration des élevages dans l'espace. En effet, 58% des élevages avicoles, toutes filières confondues et 68% du nombre total de sujets, sont localisés dans treize wilayas situées au Nord du pays. Dont cinq sont à l'Est du pays (Sétif, Bordj-Bouarèrige, Oum-El-Bouagui, Milla et Batna), six dans la région centre (Bèjaia, Tizi-Ouzou, Bouira, Boumerdès, Alger et Blida) et deux à l'ouest (Oran et Tlemcen). Si on prend en considération les élevages des poules pondeuses, cette concentration dans l'espace est encore plus prononcée, puisque le même groupe des treize wilayas citées plus haut, disposent de 39% des élevages.

Les données du même recensement indiquent que la région de notre étude, wilaya de Batna, est considérée comme l'une des plus développée en production avicole en Algérie. Diversifié, le secteur avicole de la wilaya est présent depuis plus de vingt ans avec sept filières différentes : le poulet de chair, la poule pondeuse, la dinde, la poule reproductrice du poulet de chair (la repro-chair), la repro-ponte, le couvoir et le poussin ponte. Le secteur se caractérise par une concentration très importante dans le Nord-est et le centre de la wilaya (Figure 07). Il s'agit des daïras de : Ain-Touta, Seggana, N'Gaous, Ras El Ayoun, Ain Djasser, Merouana, Batna, Tazoult, El Madher, et Seriana. Dans ces localités, les élevages de poules pondeuses et de poulets de chair prédominent incontestablement depuis plus de deux décennies (Bouzeriba, 2011). Cependant, le type de filière par daïras change, de même que le nombre de bâtiments ainsi que leurs capacités (Figure 07). Seules les daïras d'Ain-Touta et celle d'El-Madher couvrent les sept filières du secteur, suivit des daïra de Timgad, de Ras-El-Ayoun et celle de N'gaous avec six filières chacune, le reste des daïras compte de cinq à deux filières.

C'est au Sud-est de la wilaya, zone montagneuse, que le secteur est le moins développé, présentant une activité avicole peu variée et un nombre réduit de bâtiments dotés de faibles

capacités ; il s'agit des daïras d'Arris, de T'kout, d'Ichemoul. Moins développé encore, les daïra, de Bouzina, de Teniet El-Abed et de Menaâ, comptent uniquement des élevages du poulet de chair et de poules pondeuses, avec seulement une dizaine de bâtiments par filière.

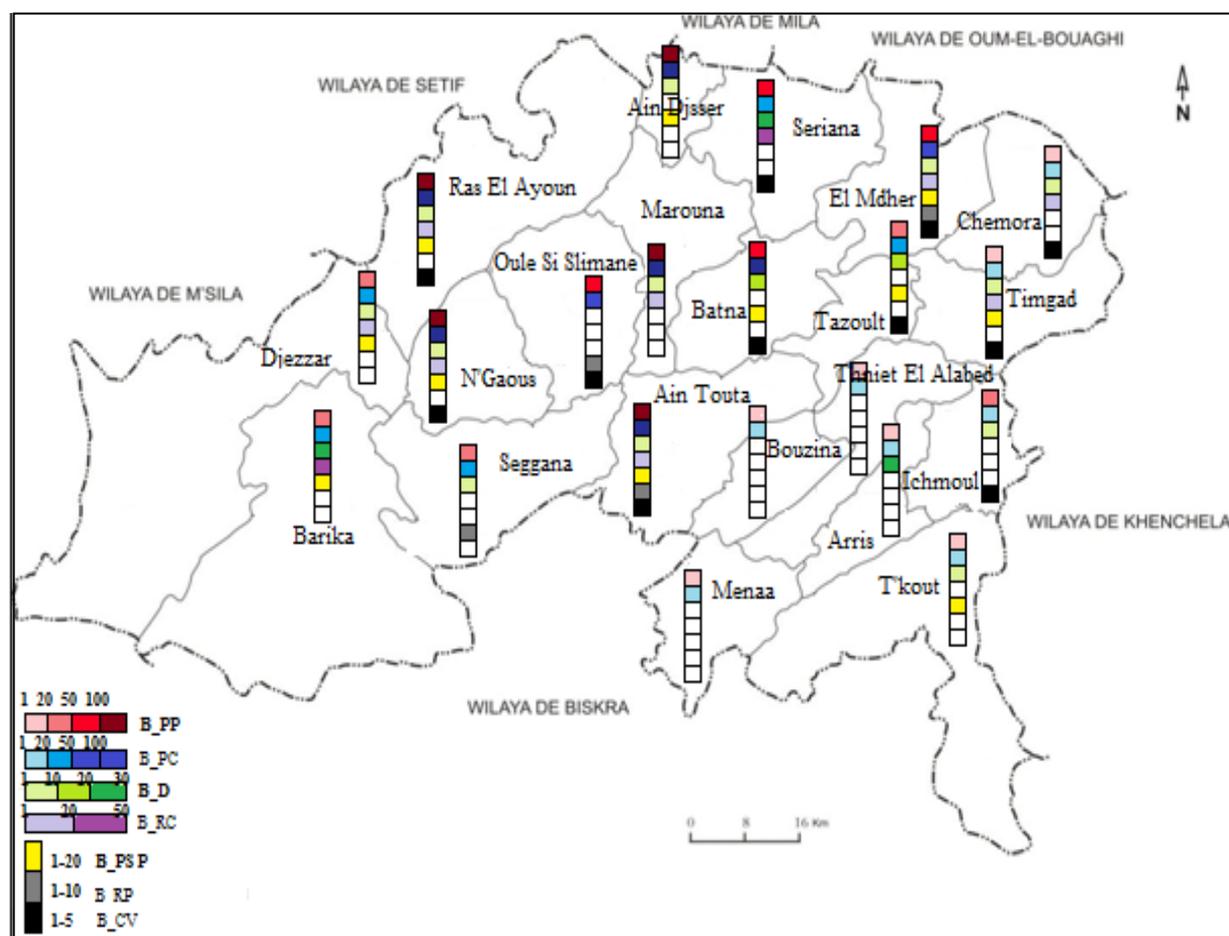


Figure 07. La localisation des bâtiments d'élevage des différentes filières dans la région de Batna.

B_PP : poule pondeuse, B_PC : poulets de chair, B_D : Dinde,
B_R-C : Repto-chair, B_PS-P : poussin ponte, B_RP : Repto-ponte, B_CV : couvoir

Par ailleurs une diversification en filières ne reflète pas forcément une grande intensité d'élevage ; c'est notamment le cas de la daïra de Mérouana, qui malgré ses quatre filières seulement, possède un secteur particulièrement développé. Elle détient d'ailleurs, la première place en production d'œufs de consommation dans la wilaya, d'après les données de la direction de l'aviculture de la wilaya en 2017.

2. La filière de la poules pondeuses dans la wilaya de Batna

La wilaya de Batna, région de notre étude, est sans doute l'une des plus importantes régions sur le territoire national en termes de production d'œufs de consommation. Elle occupe la première place avec 7% des élevages et près de 23% de la production d'œufs au niveau nationale (RGA MADR, 2003 ; Benkredda, 2012). Les derniers recensements dénombrent,

près de 1 111 élevages en 2011 (Nouad, 2011) et d'après la direction de l'aviculture de la wilaya de Batna, elle compte 1 708 élevages en 2017. Il est à noter, que cette prospérité n'est pas la même dans toutes les daïras de la région de Batna (Bouzeriba, 2011). En effet, certaines daïras, marquent des discontinuités dans la production d'année en année, tandis que d'autres prospèrent et détrônent même la daïra de Ain-Touta, qui a occupée la place du leader jusqu'en 2008 (Bouzeriba, 2011). C'est le cas de la Daïra de Merouana qui désormais, détient le monopole de la production d'œufs de consommation dans la wilaya de Batna avec 35% de la production et un nombre de 592 bâtiments, tandis que la daïra d'Ain-Touta n'occupe que la deuxième place avec 17 % de la production et 288 bâtiments. A la troisième place on retrouve la daïra de N'Gaous avec 8 % de la production et 135 bâtiments d'élevage (Figure 08a, b).

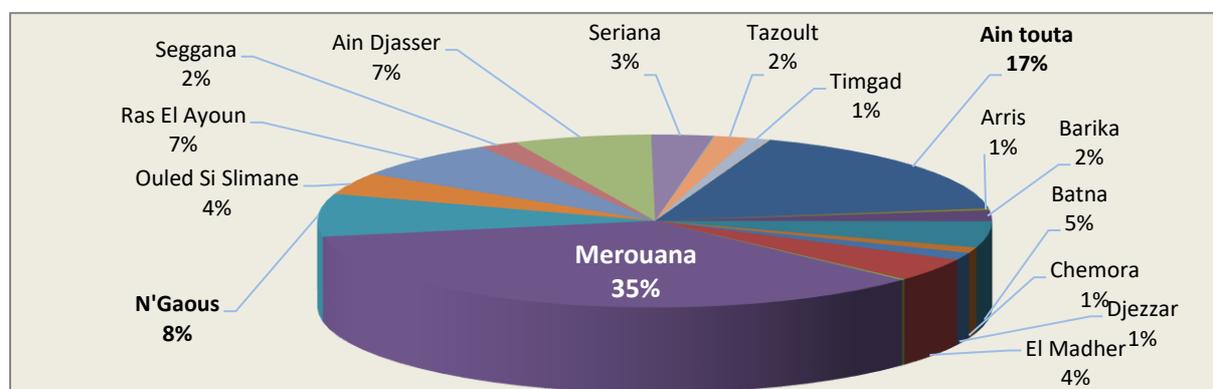


Figure 08a. Pourcentage de bâtiments d'élevage de poules pondeuses par daïra.

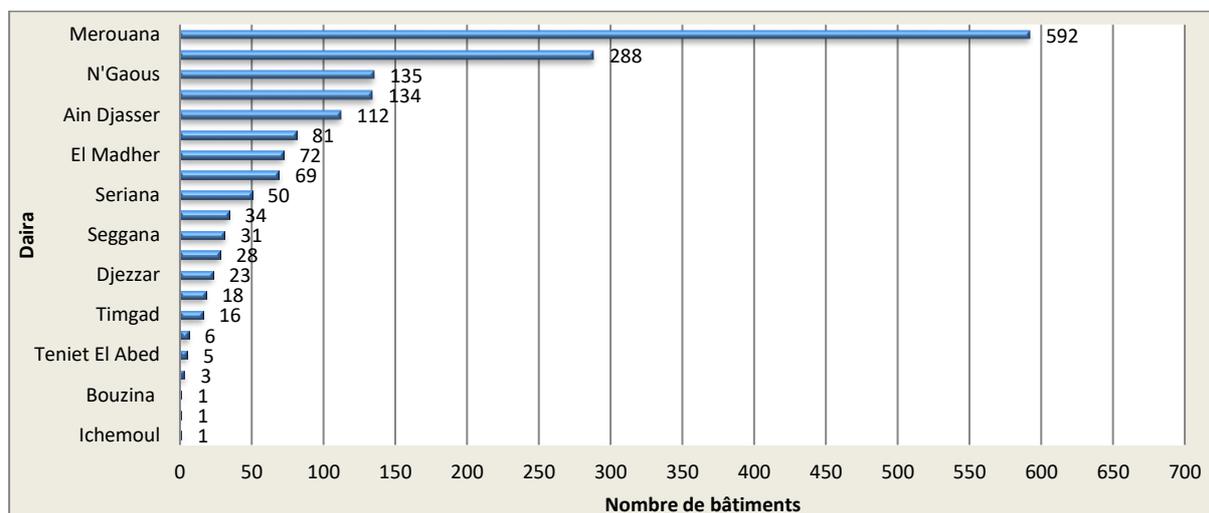


Figure 08b. Nombre de bâtiments d'élevage de poules pondeuses par daïra.

2.1 La répartition spatiale des bâtiments d'élevage de poules pondeuses

La répartition spatiale des bâtiments d'élevage de poules pondeuses dans la wilaya de Batna (Figure 09), présente une distribution hétérogène, avec une forte concentration dans le centre et les limites Nord de la région d'étude. Il s'agit essentiellement des communes de :

Merouana, Ain-Touta, Ksar-Belzma et Wad-El-Maa, avec un nombre qui dépasse huit cent bâtiments agréés par l'état. Cette répartition est plus modeste dans le Sud-ouest et faible dans le Sud-est, où elle n'excède pas les vingt bâtiments par communes.

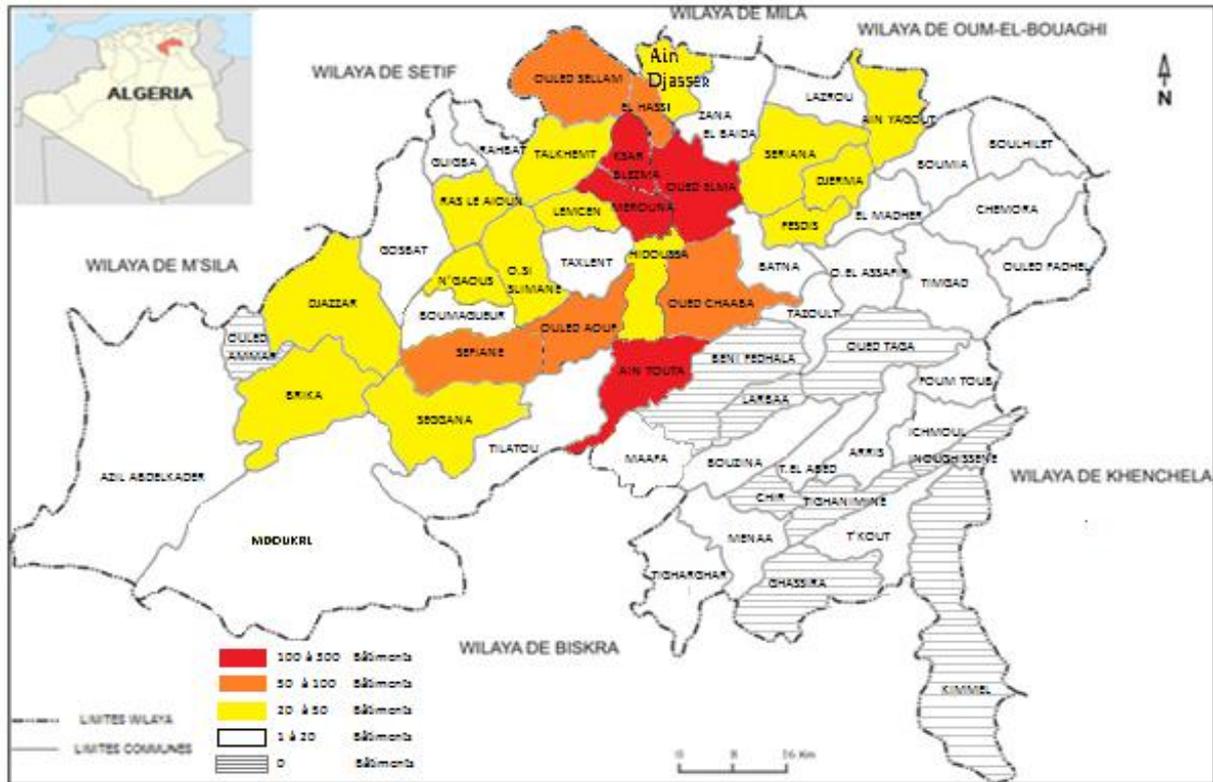


Figure 09. La répartition spatiale des bâtiments d'élevage de poules pondeuses dans la wilaya de Batna.

2.2 La capacité des bâtiments d'élevage de poules pondeuses de la région

Au-delà d'une distribution inégale dans l'espace, les bâtiments d'élevage de poules pondeuses de la wilaya de Batna ont des capacités différentes qui abritent ainsi des effectifs variables (Figure 10). En 2017 la capacité des bâtiments d'élevage a dépassée le seuil des 3 millions de sujets dans la daïra de Merouana, et celui de 1,5 million de sujets dans la daïra d'Ain-Touta. Quant à la daïra de N'Gaous, troisième localité concernée, compte près de huit cent milles sujets, suivie de près par les daïras de Ras-El-Youn et d'Ain-Djasser, avec une capacité de soixante cinq milles sujets et plus. Les daïras de Bouzina et de T'kout sont les daïras qui ont le moins investies dans le secteur en 2017 avec une capacité de quatre milles huit cent sujets. Par contre, si l'on considère l'ensemble de la région, l'effectif moyen par bâtiment lors de cette même année était de cinq milles huit cent cinquante sujets, reflétant ainsi un aspect plutôt modeste des investissements. Cependant, la concentration d'un nombre élevé de bâtiments notamment dans le centre de notre région d'étude, fait que le secteur y est

particulièrement développé et nous donne une idée sur l'envergure des financements déployés.

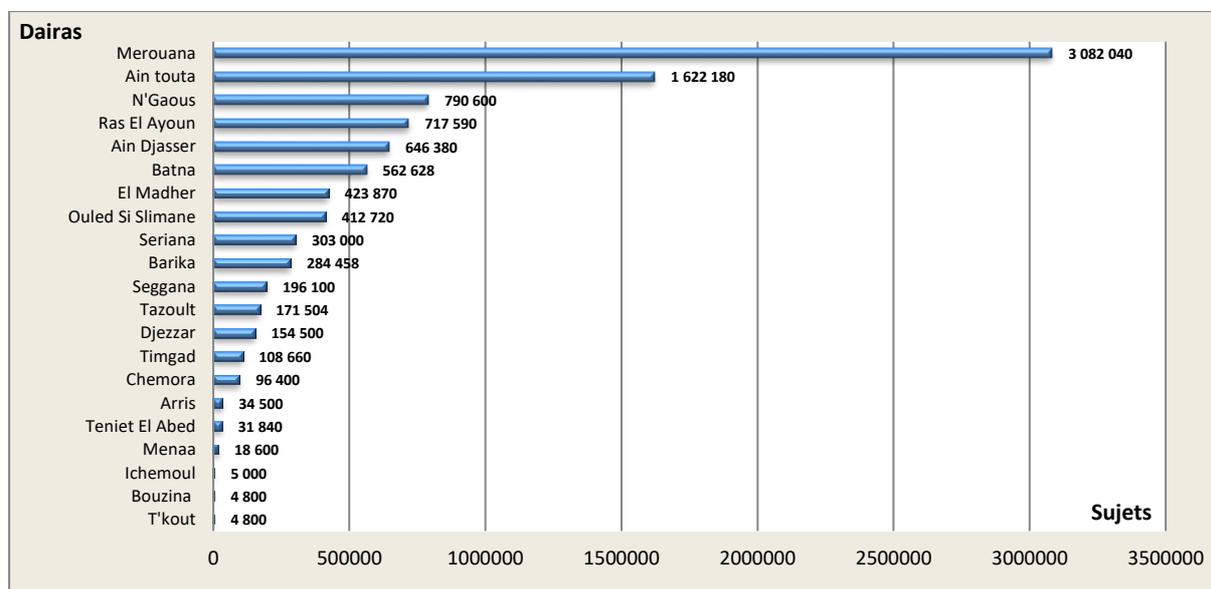


Figure 10. La capacité des bâtiments d'élevage de poules pondeuses dans les dairas de la willaya de Batna durant l'année 2017.

CHAPITRE 2

TYPOLOGIE DES SYSTEMES D'ELEVAGE LOCAUX DE POULES PONDEUSES

Introduction

Dans la région de l'étude l'importance du secteur avicole l'expose à un réel risque de pollutions atmosphériques. Un risque qui peut être lié à de nombreuses causes ; notamment à l'extraction de l'air vicié des bâtiments, à la mauvaise gestion des déjections ou, encore, à la mauvaise étanchéité des bâtiments. Malgré cela, l'évaluation des émissions atmosphériques à partir des systèmes d'élevages avicoles locaux reste imprécise voir inexistante. C'est dans le but d'identifier les conditions de formation et d'émissions de l'ammoniac et des particules dans ces systèmes, que nous avons procédé à l'identification des différentes catégories des systèmes d'élevage de poules pondeuses existants, à travers la caractérisation des bâtiments, des paramètres des élevages ainsi que des conduites d'élevage, de la gestion du climat interne, de la gestion de l'aliment et des déjections. Pour cela nous avons réalisé une enquête en trois étapes discontinues; de la fin 2013 à mai 2017.

1. Matériel et méthode

1.1. La localisation des bâtiments concernés par l'enquête

Dans cette étude, la majorité des bâtiments enquêtés se situent dans seize communes à tradition d'élevage avicole ; présentant une activité plus au moins continue durant les deux dernières décennies. Il s'agit des communes d'Ain-yagout , de Fesdis , de Djerma, d'Ain-Touta, de Ouled-Aouf, de Sefiane, d'Ain-Djasser, de Sériana, de Maàfa, d'Arris, de Bouzzina, de Tazoulte, de Barika, de Bitam, de M'doukel et d'El-djazzar (Figure 11).

La représentativité de l'ensemble des élevages locaux de poules pondeuses, était prise en considération. La sélection a englobée des bâtiments répartis dans toute la wilaya, mais le critère majeur du choix des bâtiments, a porté sur ceux qui avaient une tradition d'élevage de poules pondeuses en cage. Toutefois, nous avons eu la contrainte de l'accord préalable des éleveurs, qui n'était pas toujours évident.

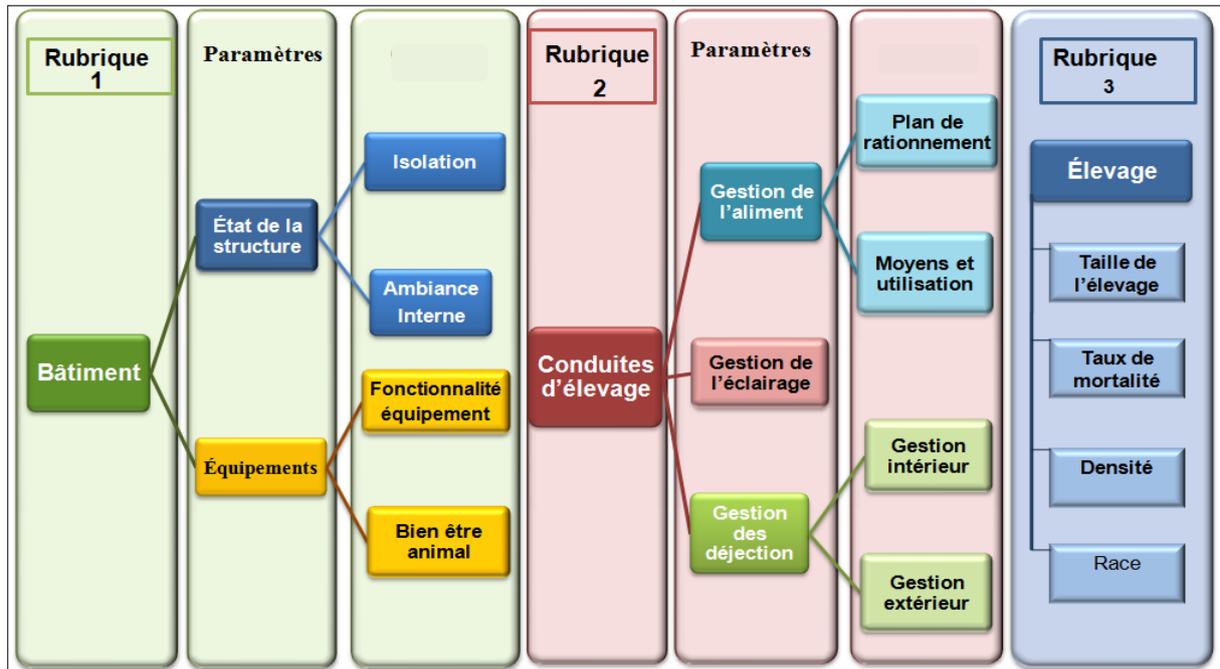


Figure 12. Les grandes rubriques abordées par le questionnaire de l'enquête.

A travers ces rubriques, on cherche à cerner les paramètres qui décrivent la situation des systèmes d'élevage de poules pondeuses, ainsi que ceux qui peuvent expliquer la formation et l'émission de polluants dans l'atmosphère interne des bâtiments et dans leurs voisinages immédiats.

Le questionnaire porte sur :

a. La description des bâtiments

Cette partie décrit les bâtiments, à travers les paramètres suivants :

- L'état de la structure : concerne l'efficacité de l'isolation et l'ambiance interne des bâtiments.
- Les équipements : c'est la fonctionnalité de ces derniers et leur rôle dans le bien être animal qui nous intéressent.

b. La description des pratiques d'élevage

Cette partie concerne la description des différentes tâches réalisées au niveau du bâtiment d'élevage. Elle sert à identifier les conduites pouvant avoir un impact direct sur les émissions.

Il s'agit des modalités de gestion :

- De l'aliment ; à travers le plan de rationnement et les moyens utilisés dans la gestion.
- Des déjections à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment : des moyens et des conduites d'évacuation, ainsi que leur destination à la sortie des bâtiments.
- De l'éclairage : moyens et programmes utilisés.

c. La description de l'élevage (animaux)

Cette partie concerne les animaux, les éléments décrits sont : la taille de l'élevage, la race élevée, le taux de mortalité, l'espace disponible par poule, la ration alimentaire, ou encore la quantité de fiente émise par poule par jour.

L'ensemble des paramètres examinés lors de l'enquête, est présenté dans l' (Annexe 1). Les différentes variables y sont relatées par rubrique.

1.3 Le Déroulement de l'enquête

L'enquête a porté sur 68 bâtiments, répartis sur seize communes. Elle a été réalisée en trois étapes : la première a eu lieu durant 8 mois, de Novembre 2013 à Juin 2014 et la seconde, pendant 20 mois, de Septembre 2014 à Mai 2016 et la troisième, complète les deux précédentes, par des sorties sur terrain qui ont durées 3 mois, de Mars à Mai 2017.

L'un des objectifs du questionnaire de l'enquête est de caractériser et de comprendre les stratégies de gestion des bâtiments d'élevage par les éleveurs. L'ancienneté et l'expérience de ceux-ci renseignera sur l'état générale de la filière dans la région d'étude. C'est pour cela qu'une partie du questionnaire était directement destinée à l'éleveur et concerne principalement les conduites d'élevage. La deuxième partie du questionnaire, est un inventaire des équipements du bâtiment et une constatation de son état.

La dernière partie du questionnaire, est opérée par l'enquêteur lui-même, par simple observation sur terrain (emplacement du bâtiment, ensoleillement, voisinage). Certaines informations nécessitent des mesures sur place (grandeur des fenêtres, dimensions du bâtiment), si elles ne trouvent pas de réponses chez l'éleveur ou ses employés.

Cependant, d'autres variables, notamment celles concernant la description de l'élevage, ont été déduites à partir d'informations récoltées sur terrain, lors du traitement des données, telles que le taux de mortalité ou la quantité de fientes produites par poule par jour.

1.4 La stratégie d'analyse

Dans cette partie de la thèse nous avons voulu identifier les différentes catégories des systèmes d'élevage locaux de poules pondeuses en cage, en faisant ressortir leur l'état, en décrivant les cheptels et en retraçant les pratiques de gestion de l'éclairage, de l'aliment et des déjections. Il est à noter que les informations récoltées lors de l'enquête n'étaient pas toujours disponibles pour l'ensemble des 68 bâtiments, ce qui nous a contraint a utiliser uniquement 46 bâtiments dans l'analyse statistique utilisée pour faire ressortir la typologie des systèmes d'élevage existant dans la région.

Les données récoltées ont fait l'objet d'études statistiques multivariées, ces méthodes, se prêtent à la réduction des données ou simplification structurelle. Ainsi, des groupes d'objets ou de variables sont créés sur la base de caractéristiques mesurées (Johnson et Wichern, 2007). L'analyse multivariée comprend des méthodes qui sont généralement descriptives. Dans notre étude, il s'agit d'analyses factorielles élaborées par le logiciel libre R version 3.2.5 avec le package ade4, en utilisant les scripts ; analyses en composantes principales (PCA) et classification ascendante hiérarchique (CAH).

Une analyse en composantes principales des variables est une représentation planaire optimale des données. Son objectif fondamental est de décrire la variation d'un ensemble de variables corrélées, (Brian, 2005). Les composantes principales peuvent être des entrées d'une analyse de cluster (Johnson et Wichern, 2007), le clustering est une classification hiérarchique qui fournit beaucoup d'informations liées à la classification.

Nous avons également procédé à l'introduction de variables qualitatives en termes de variables supplémentaires, ce qui permet de renforcer l'interprétation des axes (Escofier et Pagès, 2008) et d'apporter une vision complémentaire sur les conditions de la filière poules pondeuses dans la région.

Une fois les classes des différents systèmes identifiées, nous avons appliqué des statistiques descriptives à chacune des classes afin de les caractériser. Nous leur avons également appliquées des régressions simples, dans le but d'exprimer la relation entre les variables qui spécifient chaque classe.

Par ailleurs, nous avons commencé notre analyse, par l'illustration graphique des données qualitatives de l'ensemble des soixante huit bâtiments.

2. Résultats

2.1 Aperçu global sur les systèmes locaux

Les premiers résultats présentés, donnent une idée générale sur les systèmes locaux et ils ne prennent en considération que les variables qualitatives. Ces résultats sont abordés de façon à développer, séparément, les trois rubriques approchées par le questionnaire.

La description des bâtiments : (Figure 13 a, b, c, d, e, f)

La moitié des bâtiments d'élevage de poules pondeuses de la région sont construits dans les années 2000, 28% dans les années 90, seulement 4% dans les années 80, par contre, 18% des bâtiments ont été construits à partir de 2010. Près de la moitié présentent un état bon à neuf.

La majeure partie d'entre eux, sont orientés Sud, Sud-est et Sud-ouest. 9% des bâtiments sont à moins de 100m des habitations et 34% à 1000m, tandis que, plus de la moitié sont implantés à une distance qui varie entre 100 et 1000m des habitations.

Les murs sont à 2% en panneaux sandwich, 17% en briques et 81% construit en parpaing. Quant aux toits ils sont à 80% en fibrociment (Eternit), 13% en tôle ondulée et le reste, 7%, est en panneaux sandwich.

L'intérieur de ces bâtiments est équipé à 74% de batteries en marche d'escaliers (de forme A) et 26% ont des batteries compactes (de forme H).

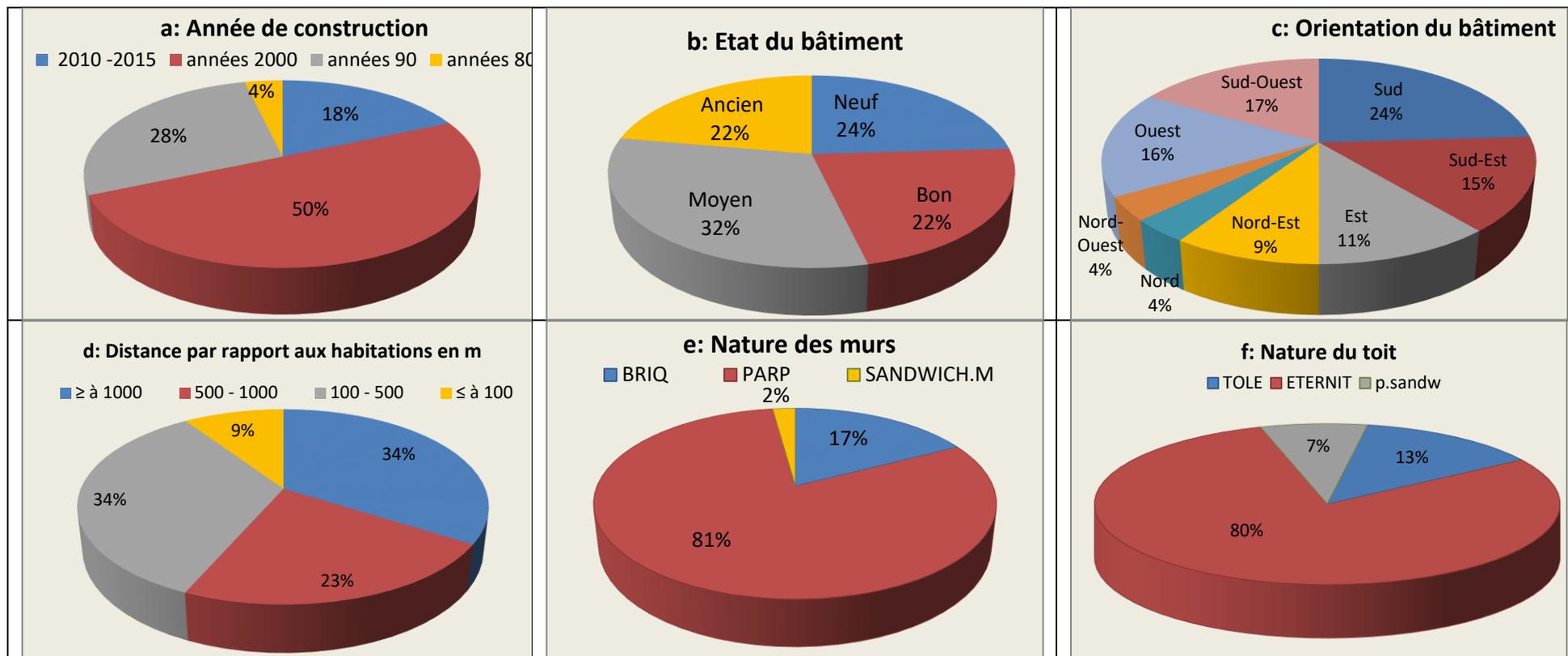


Figure 13(a, b, c, d, e et f). Etats des structures d'élevage.

La description de l'élevage

Dans la région d'étude, la souche élevée est « Isa Brown » à 95%, les 5% des éleveurs restant utilisent la souche « LOHMANN ». Les poules sont élevées dans des cages conventionnelles à raison de 4 à 5 poules par cage, ce nombre peut augmenter jusqu'à 10 poules par cages.

La description des pratiques

- Gestion de l'éclairage : L'éclairage dure entre 15 et 16 heures par jour dans 62% des bâtiments. Les ampoules sont placées à une hauteur moyenne de 2m par rapport au sol, d'une manière générale, elles sont disposées en quatre rangées.

- Gestion de l'aliment : La composition de l'aliment présenté aux poules reste la même chez la majorité des éleveurs. En effet, 74% des éleveurs achètent leur aliment à un nombre restreints de fabricants de la région (Figure 14a). Seul 26% fabriquent leur aliment, mais la composition reste presque identique. D'une manière générale cet aliment est constituée de 60% de maïs, de 20% de tourteau de soja, de 1.5 % CMV (complément minéraux et vitamines), de 8% de sons gros, de 6 % de calcaire, et de 4.5% de phosphate bicalcique. 82% des bâtiments possèdent une annexe pour stocker l'aliment (Figure 14b). Le stockage dur une semaine dans 78% des cas (Figure 14c).

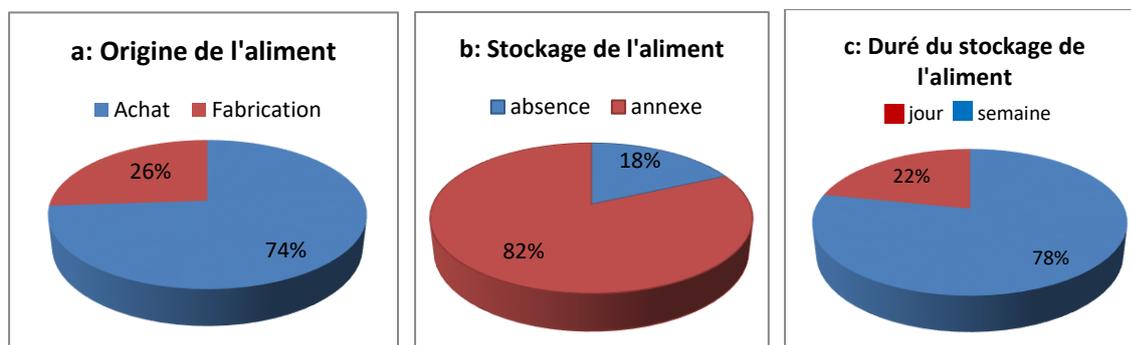


Figure14 (a, b et c) : La gestion de l'aliment.

- Gestion des déjections : Pour la collecte des déjections, 33% des bâtiments disposent d'une fosse de réception de fientes, le reste des bâtiments, 67%, utilisent différentes méthodes pour l'évacuation. 54% le font manuellement, 40% sont dotés de racleurs automatisés et 6% de tapis électriques.

La fréquence de sortie des fientes des bâtiments est d'une fois par jour chez 60% des éleveurs. Une fois évacuées, les fientes sont stockées à différentes distances des bâtiments, la distance moyenne dépasse les 400m. Elles y restent stockées à l'air libre pendant une quarantaine de jours en moyenne. Chez 97% des éleveurs, les fientes évacuées, sont destinées à la vente et seulement 3% sont épandues sur place.

NB : Il est à noter que les conduites utilisées dans la gestion du climat interne des bâtiments, telles que, l'ouverture des fenêtres et l'actionnement des extracteurs sont tributaires de l'appréciation personnelle des employés ou des directives du propriétaire et ils ne suivent en aucun cas une conduite précise, l'aléatoire prédomine.

2.2 Les conditions des systèmes d'élevages de poules pondeuses en cages dans la région de Batna

Les données sur les paramètres de la structure des bâtiments, des pratiques d'élevage et des paramètres d'élevage, obtenues lors de l'enquête, ont fait l'objet d'une analyse statistique en composantes principales (ACP). Les deux principales composantes (PC) (Figure 15, Tableau 08 et Annexe 01) représentaient 39,17% de la variance totale des données, le premier axe (PC1) représentant 29.20% et le deuxième axe (PC2) représentant 9.97 %.

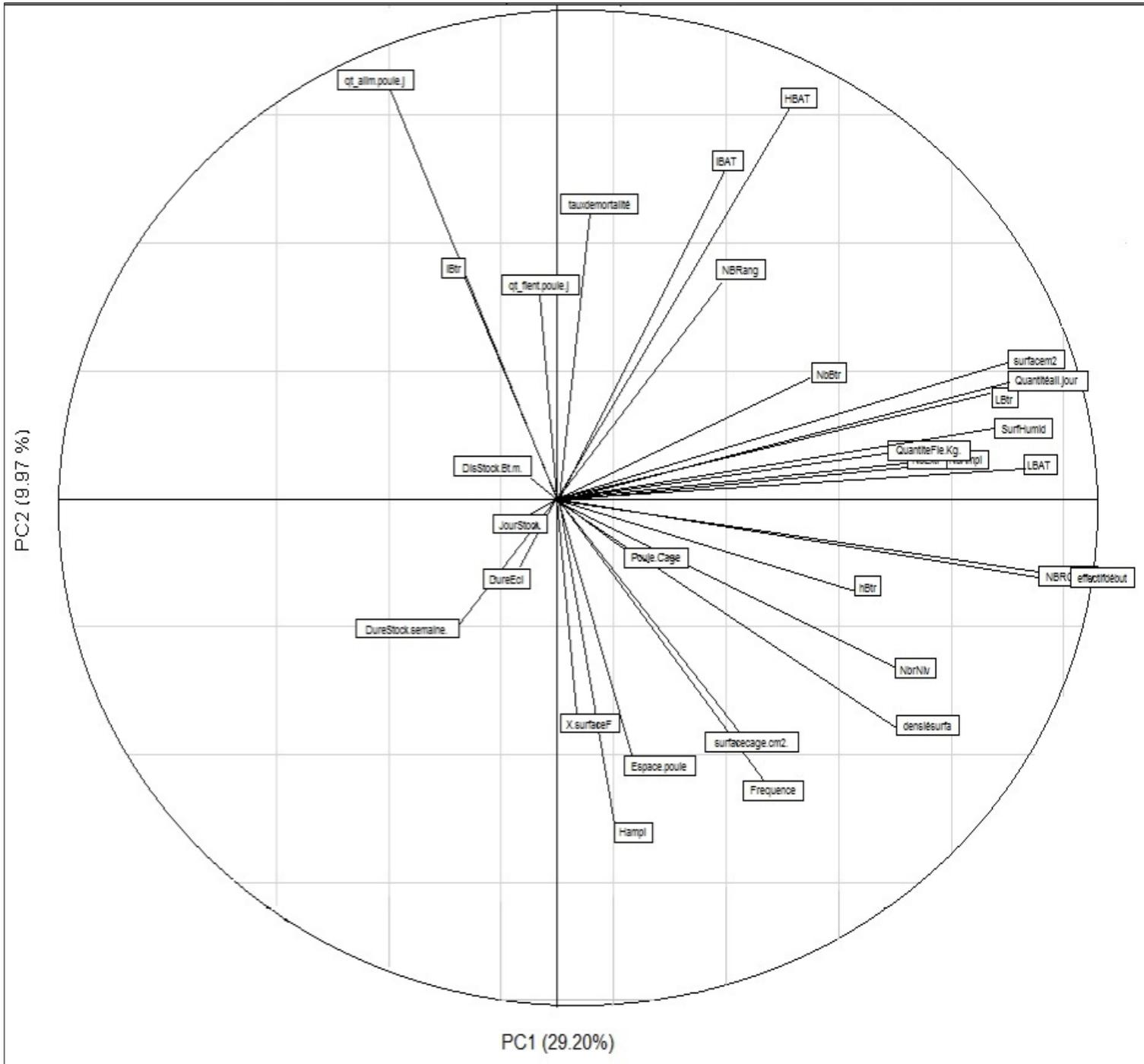


Figure 15. Cercle de corrélation obtenu à partir de l'analyse en composantes principales sur les caractéristiques des systèmes d'élevage des poules pondeuses dans la région de Batna.

Effectifdébut : effectif; **NBR**Cage: nombre de cages ; **Quantitéali.j** : ration alimentaire par jour ; **LBAT**: longueur de bâtiment, **surfacem2** : surface de bâtiment ; **SurfHumid** :surface totale des humidificateurs, **LBtr**: longueur de batterie, **NbAmpl** : nombre d'ampoules ; **QuantiteFie**: quantité de fientes ; **NbExtr** : nombre d'extracteurs; **qt_alim.poule.j** : ration/poul/jour ; **HBAT**: hauteur de bâtiment ; **IBAT**: largeur de bâtiment ; **Hampl** : hauteur d'empoule/soil ; **tauxdemortalité**: taux de mortalité ; **Frequence** : Frequence de distribution de l'aliment /jour ; **Espace.poule**: espace disponible / poule; **surfacecage**: Surface de cage; **NBRang**: Nombre de range d'ampoules **X.surfaceF**: surface totale des fenêtres/ surface du bâtiment.

Le cercle de corrélation (Figure15) démontre que dix variables sont corrélées fortement et positivement au premier axe. Parmi ces dix paramètres :

Trois énumèrent l'équipement qui contrôle l'ambiance interne du bâtiment, il s'agit de la surface des humidificateurs, du nombre d'extracteurs et du nombre d'ampoules. Ces variables sont fortement corrélés aux variables qui décrivent les bâtiments en tant que structure ; il s'agit de la longueur des batteries, celle du bâtiment et la surface de celui-ci. Ce bloc de variables (équipement d'ambiance et dimension du bâtiment) est également corrélé à la quantité de l'aliment distribuée par jour et à la quantité de fientes évacuée du bâtiment celles-ci, sont liées aux effectifs abrités par les bâtiments, donc, avec la taille de l'élevage.

Conjointement, les deux paramètres restants, constituent la plus grande contribution à cet axe, il s'agit du nombre de cages et de l'effectif initial. Leur forte corrélation est plutôt logique, dans le sens où, le nombre de cages disponibles par bâtiment doit être en adéquation avec l'effectif sensé être abrité par le bâtiment.

De ces observations, il semble que le premier axe décrit l'équipement du bâtiment qui est en rapport direct avec l'envergure de la structure et la taille de l'élevage.

Tableau 08. Les variables contribuant à la construction des deux premiers axes de l'ACP.

Variables représentées par le 1 ^{er} axe	Contribution au 1 ^{er} axe (%)	Variables représentées Par le 2 ^{ème} axe	Contribution au 2 ^{ème} axe (%)
Effectif	10.37864	Ration journalière (g/poule/ jour)	13.84391
Nombre de cages	9.10269	Hauteur de bâtiment (m)	12.70715
Quantité d'aliment (kg)/j	8.39679	Largeur de bâtiment (m)	9.04694
Longueur de bâtiment (m)	8.13972	Hauteur des ampoules/sol (m)	8.77541
Surface de bâtiment (m ²)	8.00187	Taux de mortalité (%)	6.88069
Surface totale des humidificateurs (m ²)	7.58527	Fréquence de distribution de l'aliment/jour	6.71097
Longueur de batterie (m)	6.98275	Espace disponible/poule/cage (cm ²)	5.63553
Nombre d'ampoules	5.82375	Surface de cage (cm ²)	4.67860
Q, fientes évacuées (Kg/j)	4.82445	Nombre de rangés d'ampoules	4.16057
Nombre d'extracteur	4.77099	Surface totale des fenêtres/surface du bâtiment (%)	3.97991

Parallèlement, le cercle de corrélation (Figure 15) ainsi que le (Tableau 08), montrent, les dix premières variables qui contribuent à la construction du deuxième axe. Pour la lecture de cet axe, nous avons regroupé nos observations en trois constats ; Il s'agit tout d'abord, de la

ration journalière d'aliments par poule, principale contribution à cet axe, qui est corrélée négativement à la fréquence de la distribution d'aliment et à la surface de la cage, tout les deux fortement corrélées entre elles.

Il s'agit également du taux de mortalité, corrélé négativement à l'espace disponible par poule et par cage.

Enfin, cet axe nous montre que la hauteur et la largeur du bâtiment ainsi que le nombre de rangés d'ampoules sont corrélés positivement entre eux. Ainsi, lorsque l'un de ces paramètres augmente les autres suivent. Parallèlement, ces paramètres sont corrélés négativement avec la hauteur des ampoules par rapport au sol et au pourcentage de la surface totale des fenêtres. Ceci nous indique que l'éclairage de nos systèmes d'élevage est assuré par un équilibre entre un équipement en adéquation avec la taille de la structure (nombre de rangés d'ampoules) et des ouvertures qui permettent l'entrée de lumière mais également d'air (les fenêtres).

De ces observations, il convient de conclure que le deuxième axe informe sur les pratiques d'élevage en termes de gestion de l'aliment et de l'éclairage, à travers des variables telles que la ration journalière d'aliment et la fréquence avec laquelle elle est distribuée, ou encore l'équipement en ampoules et leur emplacement par rapport au sol et leur corrélation avec la largeur et la hauteur du bâtiment. Ainsi, l'axe décrit les conduites adoptées par les éleveurs pour alimenter les poules et pour contrôler l'éclairage du bâtiment.

L'axe renseigne également sur le bien être de l'animal, à travers des variables telles que le taux de mortalité ainsi que l'espace disponible par poule. La première variable, le taux de mortalité, est un indicateur de bien être de l'animal, qui normalement augmenterait avec la diminution de l'espace occupé par la poule. Situation inversée dans notre étude, ce qui laisse supposer l'implication d'autres paramètres.

Par ailleurs, d'autres variables présentent des contributions très faibles aux deux premiers axes, qui n'atteignent même pas le seuil de 1%. Il s'agit ; du nombre de poule par cage, de la distance de stockage des fientes par rapport aux bâtiments, ainsi que la durée de leur stockage.

2.3 La typologie des systèmes d'élevage de poules pondeuses de la région de Batna

Afin d'identifier les diverses classes des bâtiments échantillonnés, et de là, la typologie des systèmes d'élevage de poules pondeuses de la région, nous avons réalisé deux analyses statistiques (ACP : analyses composante principale) et (CAH : Hierarchical Ascending Classification). Nous allons commencer par la présentation des résultats de la (ACP), suivit des résultats de la (CAH) combinés à des statistiques descriptives appliquées aux groupes qui en résultent.

La projection des bâtiments sur le plan factoriel (Figure 16, Annexe 02) permet de distinguer deux groupes de bâtiments, qui semblent dicter la tendance des axes.

Pour le premier axe de ce plan, nous remarquons que les bâtiments situés à droite de la (Figure 16), se détachent du nuage de points représentant la distribution des individus (bâtiments). Le (Tableau 09), renforce cette tendance ; ce sont ces mêmes bâtiments qui ont les plus grandes contributions à cet axe. Il s'agit des bâtiments (B68, B52, B46, B49 et B63).

Compte tenu des relations entre les coordonnées des individus (bâtiments) et celles des variables, il s'avère que, le long de l'axe 1, du côté des coordonnées positives, on retrouve les bâtiments bien équipés avec des structures imposantes et de grands effectifs.

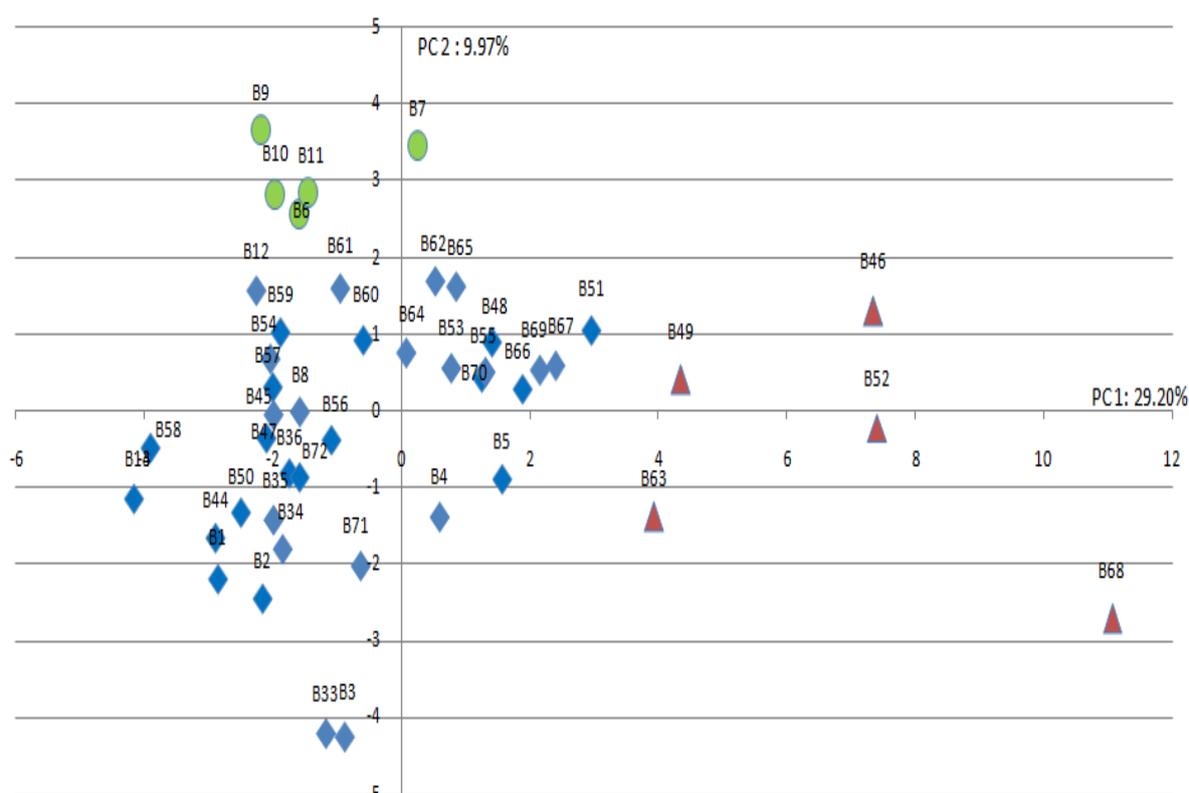


Figure 16. La projection des systèmes d'élevage de poules pondeuses sur les deux premiers axes des composantes principales. (B₁₋₆₈) : Numéros attribués aux bâtiments enquêtés.

Tableau 09. Principales contributions des systèmes d'élevage aux axes (inerties exprimées en % de l'inertie totale de l'axe)

Bâtiments	Axe1 (%)	Bâtiments	Axe2 (%)
B68	29.35	B09	9.368
B52	13.16	B07	8.328
B46	12.95	B11	5.649
B49	4.52	B10	5.544
B63	3.69	B06	4.560

Un deuxième groupe de bâtiments est situé en haut de l'axe verticale (Figure 16), Il s'agit des bâtiments (B6, B7, B9, B10 et B11). Le (Tableau 09), appuis leur contribution à ce deuxième axe. Sachant que ce dernier renseigne, entre autre, sur le bien être animal, il s'avère que, ces bâtiments représentent des petits élevages avec un effectif moyen de 3 500 sujets, un espace moyen de 404 cm² disponible par poule et un grand taux de mortalité, 13.63%. Rappelons que, cet axe renseigne également sur les pratiques d'élevage en termes de gestion d'aliment et d'éclairage, on a constaté que, ces systèmes d'élevage distribuent la plus grande ration alimentaire par poule et par jour (204 g/poule/jour) et n'utilisent aucun éclairage naturel (zéro fenêtre).

Le reste des bâtiments ont des caractéristiques intermédiaires entre celles du premier groupe (représenté par le premier axe) et des caractéristiques du groupe représenté par le deuxième axe.

Une (CAH : Hierarchical Ascending Classification) a été utilisée pour identifier les différents systèmes existants dans la région, en utilisant la variance expliquée par les 31 axes de l'ACP. Il en ressort une distribution en trois classes (Figure 17) ;

- La première classe (encadrée en rouge sur la Figure 17), désigne les mêmes bâtiments d'élevage que ceux du premier groupe désigné par la (ACP), excepté le bâtiment B67. Ce sont ces mêmes bâtiments qui contribuent le plus à la construction du premier axe. Cette première classe est un groupe restreint, qui constitue 13% de notre échantillon.

- La classe opposée (troisième classe encadrée en bleu sur la Figure 17), englobe les cinq bâtiments qui contribuent le plus à la construction du deuxième axe de notre analyse (B6, B7, B9, B10 et B11). En plus de ceux-là, on retrouve un grand nombre de bâtiment, faisant ainsi de cette classe le plus important groupe de notre échantillon, avec 57% des bâtiments enquêtés. Le fait que ces bâtiments soient associés au deuxième axe désigné par l'ACP, nous mène a déduire qu'ils disposeraient des mêmes caractéristiques indiquées par l'axe. On mentionnera notamment la taille des élevages qui est particulièrement petite, ainsi que le caractère modeste des structure et des équipements ; structures en parpaing avec des toits en Eternit, peu ou absence totale de fenêtres, absence de fosses et de racleurs automatiques, surface des humidificateurs réduite.

- La classe intermédiaire, deuxième classe encadrée en vert sur la (Figure 17), forme un groupe de bâtiments assez importants avec 30% de notre échantillon.

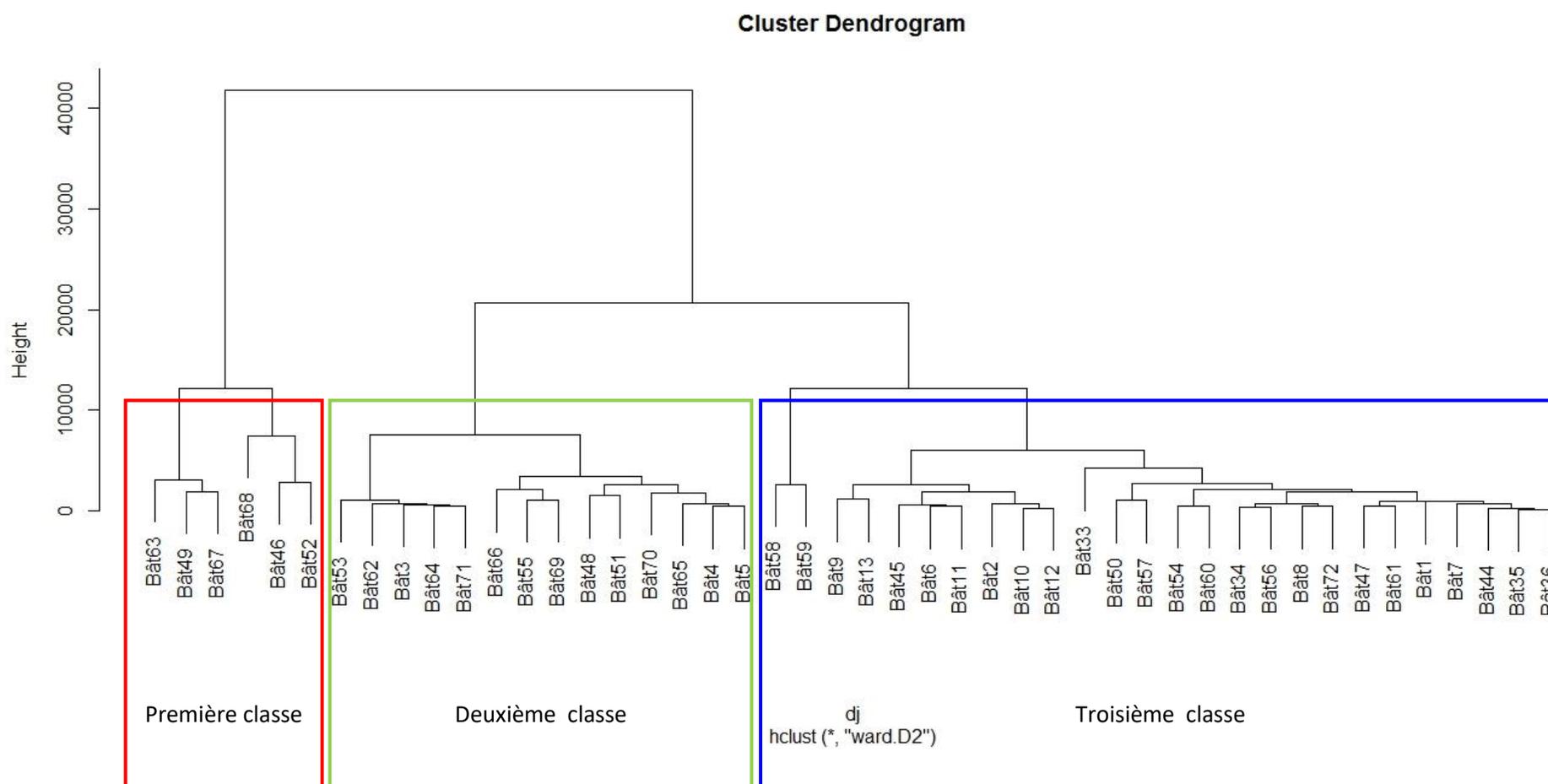


Figure 17. Arbre hiérarchique représentant la distribution des trois classes de systèmes d'élevage.

(B₁₋₆₈) : Numéros attribués aux bâtiments enquêtés.

2.4 Analyse en composantes principales avec introduction des variables qualitatives

Afin d'approfondir l'interprétation des axes factoriels, nous avons procédé à l'introduction de variables qualitatives comme variables supplémentaires. L'interprétation combinait des deux supports (Figure 18 et Annexe 03), révèle la forte contribution de 13 variables qualitatives à la description des trois classes désignées auparavant, qu'on peut d'ailleurs regrouper en trois points :

- Les variables qui décrivent la gestion des déjections, ce sont celles qui ressortent le plus dans cette analyse. Ainsi on retrouve le long du premier axe, côté des coordonnées positives, les bâtiments possédant une fosse et utilisant un raclage automatique pour la collecte des fientes, avec une fréquence d'évacuation d'une fois par semaine. A l'opposé, les individus qui forment le deuxième axe, ne possèdent pas de fosse et procèdent à un simple ramassage des déjections. L'opération est effectuée à une fréquence d'une évacuation par jour. Ces observations renforcent le fait que les bâtiments bien représentés par le premier axe déploient d'importants investissements dans les équipements.

- Les variables qui décrivent la gestion de l'aliment, sont au nombre de trois et indiquent que les bâtiments, qui contribuent à la formation du deuxième axe, distribuent leur aliment une seule fois dans la journée, le matin. A l'opposé le premier groupe de bâtiments distribuent l'aliment deux fois par jour ; matin et soir.

- Parallèlement, la (Figure 18 et Annexe 3) révèlent que la plus importante classe, avec plus de la moitié des bâtiments échantillonnés (ceux qui contribuent d'avantage à la construction du deuxième axe) sont bâtis en parpaings et possèdent un toit en fibrociment (Eternit), ce qui souligne encore une fois l'aspect modeste des systèmes d'élevage représentés par le deuxième axe. Il est à noter, que ces mêmes systèmes possèdent des batteries de conception en marche d'escalier (forme A), contrairement aux systèmes d'élevages représentés par le premier axe qui possèdent eux, des batteries de conception compacte (forme H).

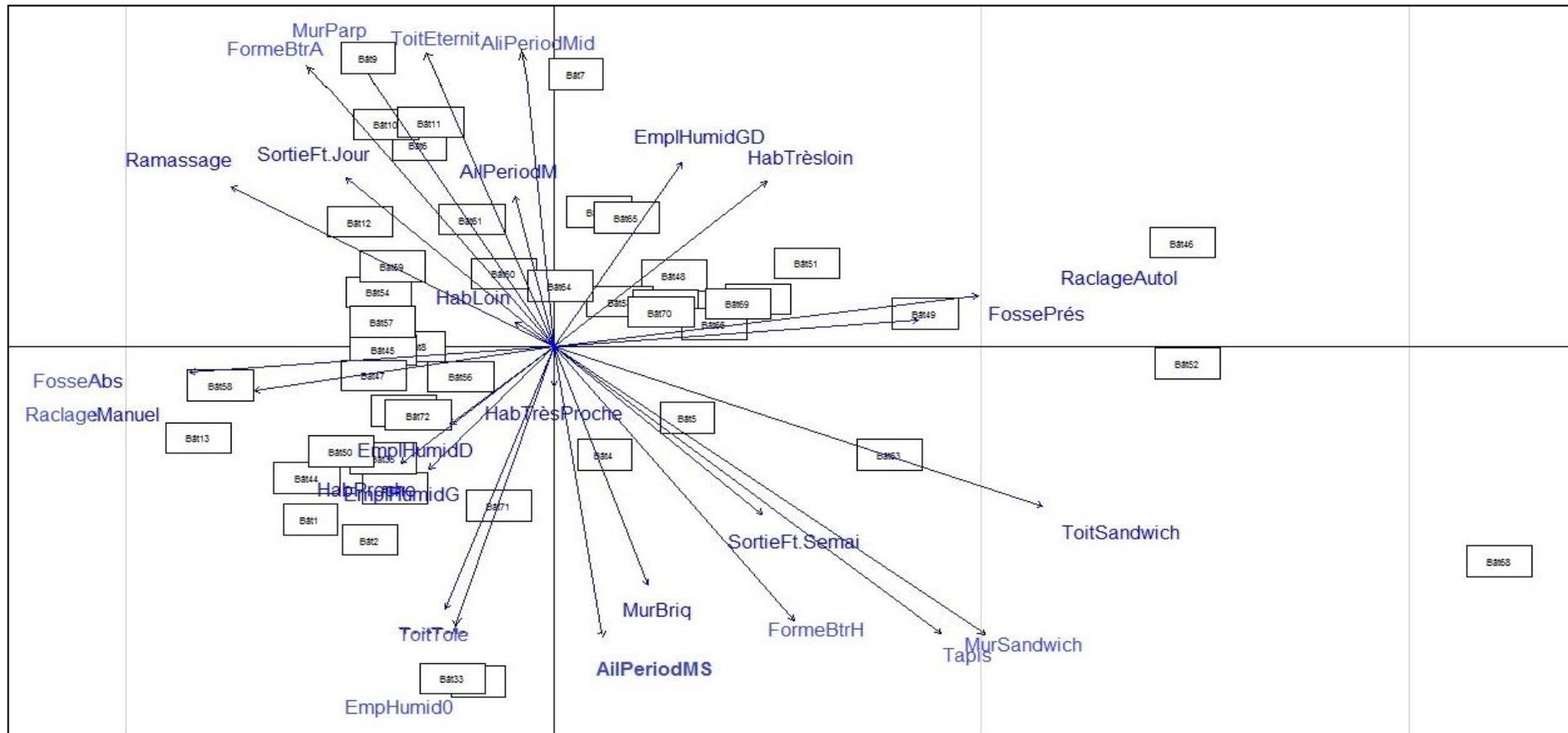


Figure 18. La projection des variables qualitatives illustratives sur le plan des deux premiers axes.

La légende reprend uniquement les variables avec les plus grandes contributions aux axes. (B₁₋₆₈) : Numéros attribués aux bâtiments enquêtés; MurParp: Murs en parpaing ; ToitEternit : Toit en Eternit; AliPeriodM: distribution de l'aliment le matin ; AliPeriodM S: distribution de l'aliment matin et soir ; RaclageAuto: Raclage automatisé ; Ramassage : collecte manual des fientes ; FossePrés: présence de fosse ; FosseAbs: absence de fosse; SortieFt.Semaine: évacuation des fientes une fois pa semaine; SortieFt.Jour: evacuation des fientes une fois par jour ;Tapis: utilisation de tapis automatisés pour la distribution de l'aliment; FormeBtrH: les batteries utilises sont en forme de H; FormeBtrA: les batteries utilises sont en forme de A.

2.5 La variabilité de certains paramètres selon les différents groupes (classes) de bâtiments

Afin de déceler les différences entre les systèmes d'élevage représentés par les trois classes désignées par la classification hiérarchique, nous avons réalisé des statistiques descriptives au niveau de chaque groupe (Tableau 10 ; Figures 19, 20 et 21). Les résultats sont présentés de façon à montrer, séparément, les caractéristiques de chacun. Les variables prises en considération dans l'interprétation, sont seulement celles qui contribuent fortement à la formation du premier et du deuxième axe (Tableau 08).

- La première classe de bâtiments, celle qui constitue 13% de notre échantillon, est caractérisée par des élevages qui avoisinent les 18 600 sujets en moyenne, logés dans des structures de plus de 1 000 m². Les bâtiments de cette classe sont équipés de 4 à 5 batteries avec plus de 3700 cages. De gros investissements sont déployés dans les équipements qui conditionnent l'ambiance interne de ces bâtiments ; on peut dénombrer en moyenne, huit extracteurs et une superficie d'humidificateurs de 46m² par bâtiments. Le nombre d'ampoules est de 64, utilisées pour une durée d'éclairage de 14h par jour. Cette classe fournit en moyenne, 501 cm² d'espace par poule, une ration alimentaire journalière de 87g par poule et elle enregistre le taux de mortalité le plus faible de notre enquête, 8,58%. Par ailleurs, cette classe présente une variabilité des surfaces des bâtiments, du nombre de batteries et du nombre de cages (Figure 19 a, b et c). De même, la (Figure 20 d et c) montre une grande fluctuation du nombre d'extracteurs et de la surface des humidificateurs. La (Figure 21a et b) montre également des variations ; l'effectif début fluctue beaucoup et il en est de même pour l'espace disponible par poule.

- La deuxième classe de bâtiments, celle qui constitue 30% de notre échantillon, compte en moyenne 9 014 sujets, logés dans des structures de plus de 700 m². Trois batteries équipent chacun de ces bâtiments, elles possèdent 1 946 cages en moyenne.

Les équipements qui gèrent l'ambiance interne de ces bâtiments, sont au nombre moyen de quatre extracteurs et la superficie d'humidificateurs ne dépasse pas les 19.27m² par bâtiments. Le nombre d'ampoules est de 50, utilisées pour une durée d'éclairage de 16h.

Ce groupe fournit 430 cm² d'espace par poule et une ration alimentaire journalière de 98,29 g par poule et il enregistre le taux de mortalité le plus élevé de notre échantillon avec 11,10%. Il est à noter que ce taux fluctue énormément pour cette classe (Figure 21 d).

Les individus de cette deuxième classe de système d'élevage, forment un groupe de bâtiments à caractéristiques intermédiaires entre les deux autres groupes de bâtiments désignés par les deux premiers axes de la (ACP).

- La troisième classe de bâtiments, celle qui constitue 57% de notre échantillon, compte en moyenne 4 267 sujets, logés dans des structures de 524,7 m². Les bâtiments de cette classe disposent de 3 batteries, fournissant plus de 995 cages.

L'ambiance interne de ces bâtiments est régit par un nombre moyen de 4 extracteurs et une superficie d'humidificateurs de 12m² par bâtiments. Le nombre moyen d'ampoules est de 39, utilisées pour une durée d'éclairage de 15h.

En moyenne ce groupe fournit 475.4 cm² d'espace par poule et enregistre un taux de mortalité de 9,83%. La ration alimentaire journalière présentée aux poules présente une grande variabilité (Figure 21 c), elle est de 128,12 g en moyenne.

Tableau 10. Principales caractéristiques des trois classes de bâtiments de poules pondeuses dans la région de Batna. (SD: standard déviation).

Variables	1é classe N=6		2é classe N=14		3é classe N=32	
	13,04% bâtiments		30,43% bâtiments		56,52% bâtiments	
	Arrondi à : 13%		Arrondi à : 30%		Arrondi à : 57%	
	Moyenne	SD(+/-)	Moyenne	SD(+/-)	Moyenne	SD(+/-)
Effectif	18 600	4 138	9 014	1 622	4 267	1 030
Surface de bâtiment (m²)	1 020	197,3	743,5	187,8	524,7	133,7
Nombre de batteries	4	0,516	3	0,36	3	0,614
Nombre de cages	3 713	1635	1 946	433	995	303,1
Nombre d'extracteurs	8	3,71	4	1,657	4	1,848
Aire totale des humidificateurs (m²)	46	31,4	19,27	11,06	12	8,25
Nombre d'ampoules	64	27,7	50	11,14	39	9,78
Durée d'éclairage (h)	14	1,366	16	2,586	15	1,233
Ration d'aliment /Jour/Poule (g)	86,83	21,26	98,29	18,29	128,12	46,11
Éspace disponible/Poule (cm²)	501,0	202,8	430,6	70,4	475,4	183,4
Taux de mortalité (%)	8,58	4,18	11,10	4,79	9,83	4,18

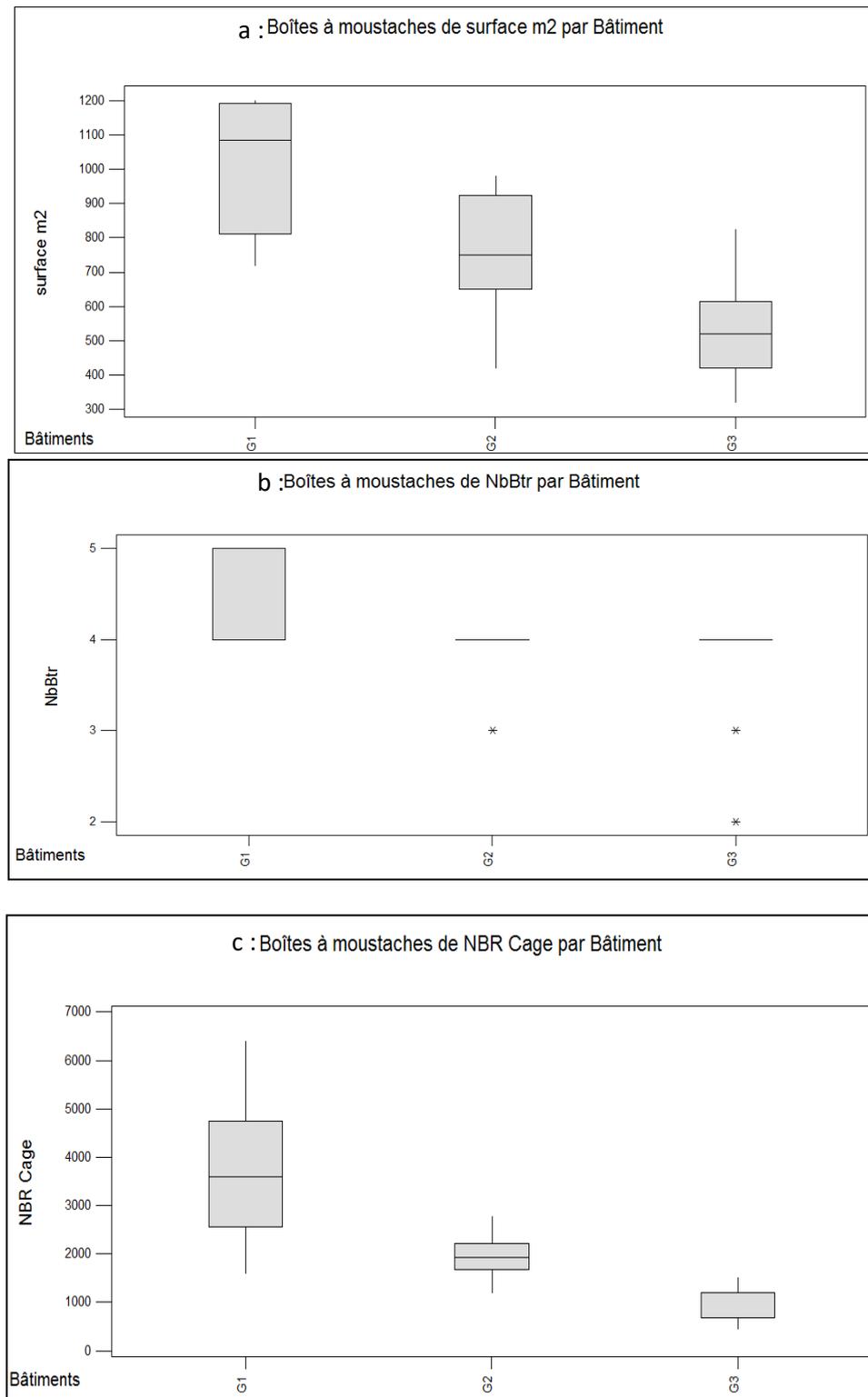


Figure 19. La distribution des surfaces (a), le nombre de batteries (b) et nombre de cages (c) des bâtiments des trois classes. (G1, 2 et 3: groupe de bâtiments).

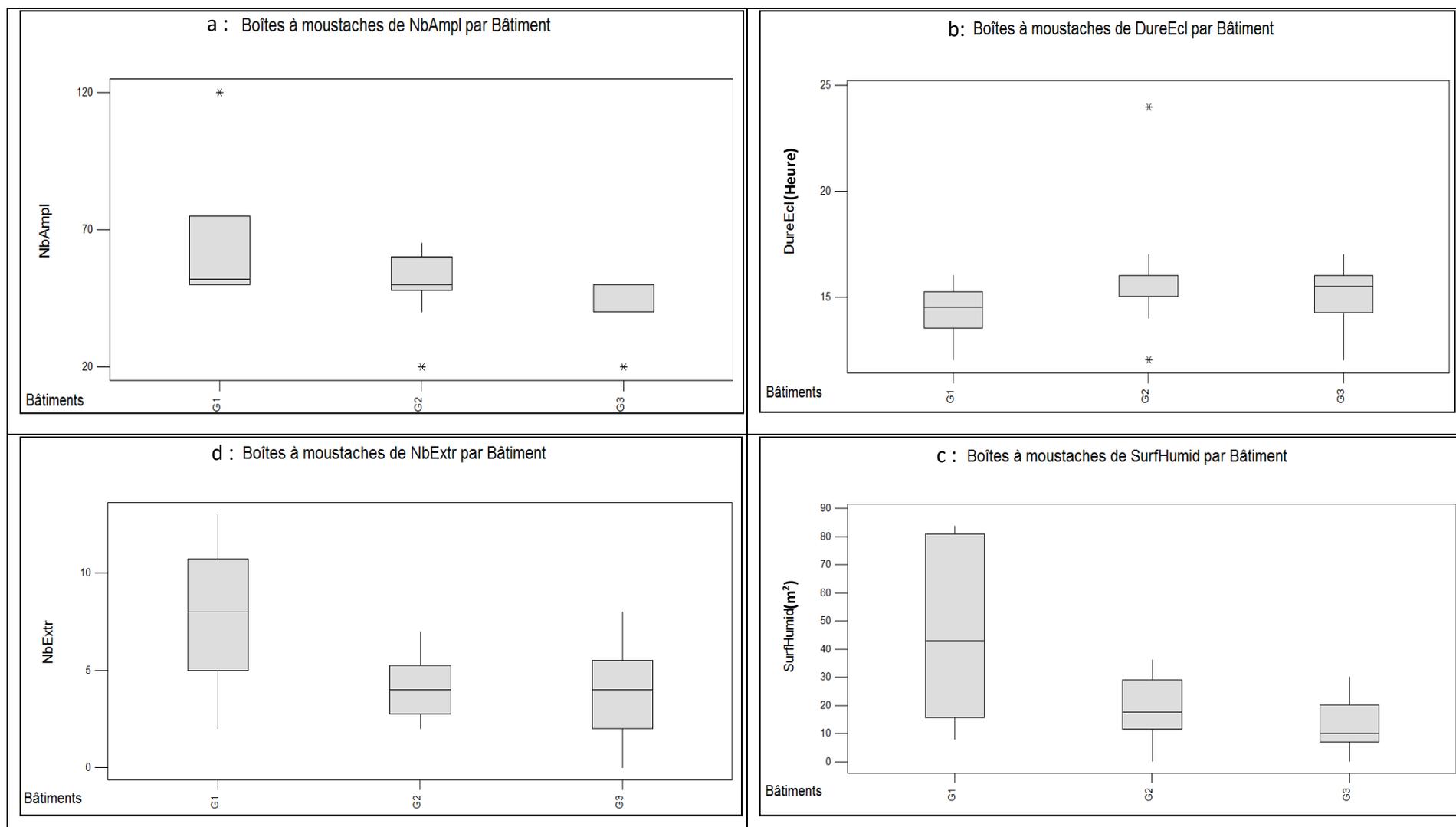


Figure 20. La distribution du nombre d'ampoules (a), la durée de l'éclairage (b), la surface des humidificateurs (c) et le nombre des extracteurs (d) des bâtiments des trois classes. (G_{1,2} et 3: groupe de bâtiments).

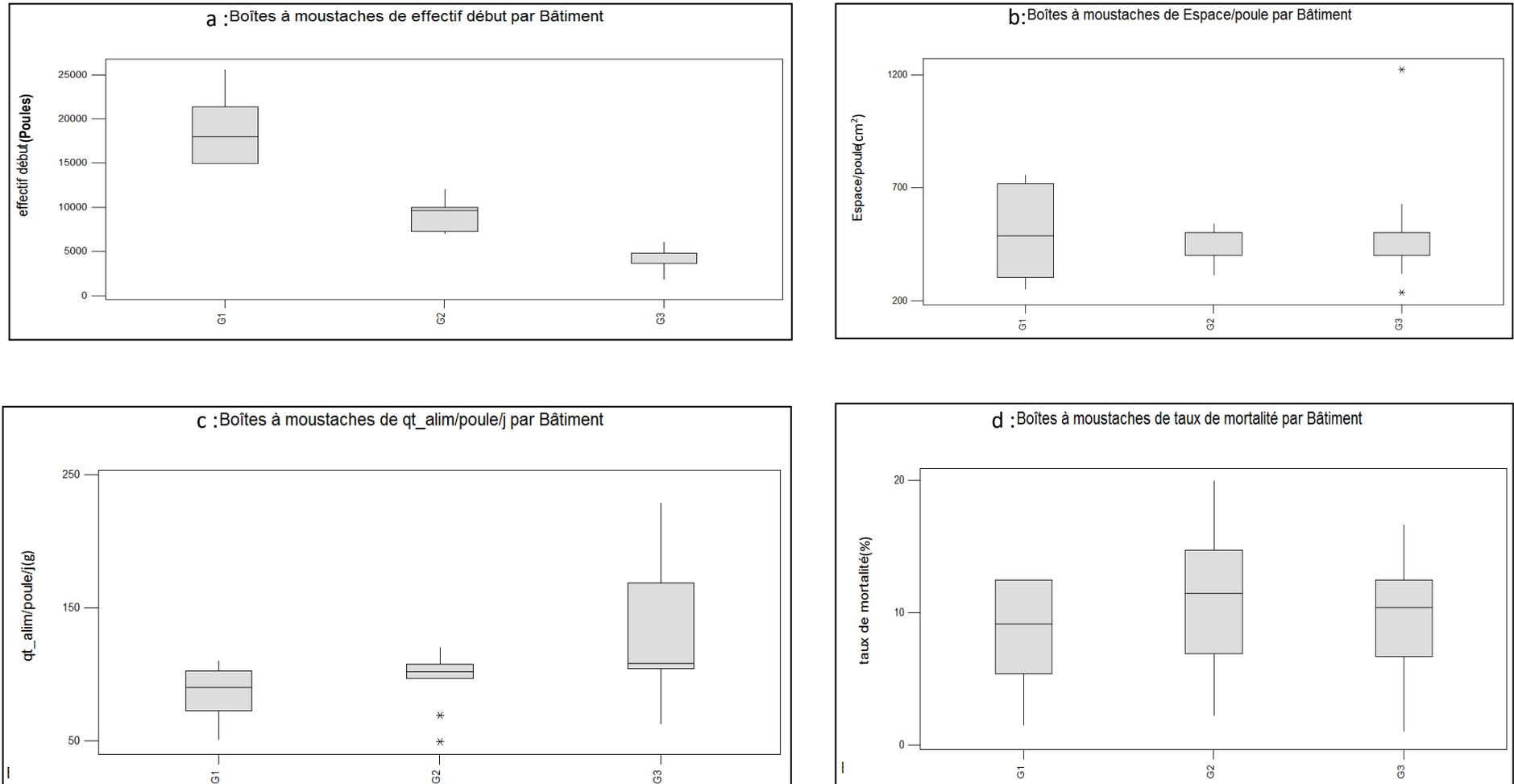


Figure 21. La distribution de l'effectif initial (a), l'espace disponible par poule (b), la ration journalière (c) et le taux de mortalité (d) des bâtiments des trois classes de bâtiments. (G_{1,2} et 3: groupe de bâtiments).

2.6 Les relations entre les paramètres (variables) qui spécifient les systèmes d'élevage existants

Afin de faire ressortir les relations qui peuvent exister entre les variables caractéristiques des trois systèmes d'élevage désignés par l'analyse statistique, nous avons réalisé des régressions linéaires simples. Les corrélations les plus significatives sont présentées dans le (Tableau 11). Elles sont présentées de façon à respecter l'organisation des trois rubriques de l'enquête.

2.6.1 Les paramètres des bâtiments

Dans les systèmes d'élevages de la wilaya, certaines variables, qui décrivent les bâtiments en tant que structure et nous renseignent sur l'état des constructions, sont particulièrement corrélées, même si leur relation paraît plus au moins évidente. Les corrélations retenues comme les plus significatives sont (Tableau 11) :

- La surface des bâtiments avec les longueurs de ceux-ci, rapport logique, néanmoins il indique que les bâtiments de la région sont tous construits en longueur (Equations 1, 2 et 3). Les trois systèmes (classes) sont concernés.
- Les deux variables surface du bâtiment et sa longueur, sont corrélées avec la longueur des batteries (Equations 4) et l'effectif initial (Equations 5), seulement pour les bâtiments du premier groupe (classe).
- Par ailleurs, la longueur des bâtiments est corrélée positivement avec la surface des humidificateurs (Equations 6 et 6'), sauf pour les bâtiments du troisième groupe.
- Elle est également très fortement corrélée avec le nombre des extracteurs mais uniquement pour les bâtiments du premier groupe (Equations 7).

2.6.2 Les paramètres des pratiques d'élevage

Pour décrire la gestion de l'ambiance interne des bâtiments, nous avons associé plusieurs combinaisons. En premier lieu, nous avons considéré la gestion de l'éclairage, à travers l'intensité lumineuse et la durée d'éclairage, tous les deux sont utilisés habituellement dans le contrôle de nombreux processus physiologiques et comportementaux. Ne disposons pas d'information sur l'intensité lumineuse dans notre étude, nous avons pris en considération le nombre d'ampoules ainsi que le nombre de rangés d'ampoules par bâtiment pour la renseigner. Les corrélations les plus significatives sont (Tableau 11):

- Celles qui relient le nombre de rangés d'ampoules et le nombre de batteries, pour les bâtiments du premier et ceux du troisième groupe (Equations 8 et 8')

- Ainsi que le nombre d'ampoules et le pourcentage de la surface totale des fenêtres, pour les bâtiments du deuxième groupe (Equation 9).

Dans un second temps, nous avons considéré la gestion de l'air interne, à travers la combinaison de paramètres, tels que la surface des humidificateurs, le nombre des extracteurs ainsi que le pourcentage de la surface totale des fenêtres. Il en ressort des corrélations significatives entre :

- La surface des humidificateurs et les dimensions des bâtiments (longueur et surface), citées plus haut dans le texte,
- De même pour la surface des humidificateurs et l'espace disponible par poule, pour les bâtiments du groupe 1 (Equation 10). Très forte corrélation.
- La surface des humidificateurs et le taux de mortalité enregistré dans les bâtiments du premier groupe (Equations 11). Forte corrélation.
- La surface des humidificateurs et le nombre d'extracteurs (Equation 12).
- Par ailleurs, la corrélation entre le nombre d'extracteurs et les dimensions des bâtiments ; surface, longueur et largeur, est uniquement valable pour les bâtiments du premier groupe (Equations 13, 13', 13'').
- Le pourcentage de la surface totale des fenêtres et la hauteur des ampoules par rapport au sol (Equations 14), qui présente une forte corrélation négative.

NB : hormis les corrélations qui relient la surface des humidificateurs aux dimensions des bâtiments, toutes les autres corrélations concernent uniquement les bâtiments du premier groupe. Bâtiments plutôt bien équipés en termes d'extracteurs et d'humidificateurs, où la surface de ces derniers augmente avec l'espace disponible par poule.

Concernant la gestion de l'aliment, les seules corrélations significatives concernent les bâtiments du deuxième groupe. Elles sont plutôt logique et elles relient la quantité d'aliment distribuée par jour et ;

- La fréquence de sa distribution. La corrélation est négative (Equation 15).
- L'effectif initial (Equation 16).
- La quantité d'aliment journalière par poule (Equation 17).

Elles relient également, la ration alimentaire journalière ;

- Avec le nombre de batteries pour les bâtiments du premier groupe (Equation 18). Qui sont corrélées négativement. Cette corrélation, attire notre attention sur la ration alimentaire distribuée dans les bâtiments de ce groupe ; une ration plutôt restreinte, qui est d'ailleurs la plus petite ration présentée aux poules parmi les trois groupes.

- Ainsi qu'avec la fréquence de distribution de l'aliment du deuxième groupe (Equation 19).
- Enfin, très peu de corrélations sont significatives lorsqu'on traite les données concernant la gestion des déjections dans les systèmes d'élevages locaux. Toutefois, une forte corrélation entre la durée de stockage des fientes et le nombre des extracteurs est enregistrée pour les bâtiments du premier groupe (Equation 20). Effectivement, plutôt bien équipé en extracteurs, les bâtiments de ce groupe ont tendance à laisser les déjections s'accumuler au niveau des fosses situées sous les batteries ou dans des fosses collectrices, plusieurs jours avant leur évacuation à l'extérieur du bâtiment, s'appuyant sur les extracteurs pour l'extraction des gaz polluants.

2.6.3 Les paramètres de l'élevage

Les corrélations significatives entre les variables décrivant les paramètres de l'élevage portent sur :

- Le taux de mortalité et l'espace disponible par poule ainsi que le taux de mortalité et la surface des humidificateurs, les deux corrélations concernent les bâtiments du premier groupe (Equations 21, 22).
- Pour les bâtiments du premier groupe, l'espace disponible par poule est fortement corrélé avec la surface des humidificateurs, le nombre des extracteurs, l'effectif initial ainsi que le taux de mortalité (Equations 23, 24, 25 et 26). Les bâtiments de ce groupe ont des investissements assez importants en termes de taille des élevages et d'équipements qui gèrent l'ambiance interne. Néanmoins, la corrélation du taux de mortalité avec ces paramètres, indique un dysfonctionnement qui peut être lié à un climat interne non conforme, induit par une humidité importante et/ou des masses d'air déplacées et orientées vers l'emplacement des extracteurs.

VARIABLES	RUBRIQUES DE L'ENQUETE		
1. BATIMENT (STRUCTURE)			
RELATION ENTRE VARIABLES	GROUPE 1 (Equations de régression)	GROUPE 2 (Equations de régression)	GROUPE 3 (Equations de régression)
Surface / Longueur bâtiment	$\text{surface m}^2 = 217,48 + 10,51 \text{ LBAT}$ $R^2 = 4.8$ Eq (1)	$\text{surface m}^2 = 18,54 + 13,08 \text{ LBAT}$ $R^2 = 81.3$ Eq (2)	$\text{surface m}^2 = -193,82 + 17,51 \text{ LBAT}$ $R^2 = 73.1$ Eq (3)
Longueur bâtiment./Longueur batterie	$\text{LBAT} = 29,45 + 0,76 \text{ LBtr}$ $R^2 = 71.6$ Eq (4)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Longueur bâtiment/Surface humidificateurs	$\text{LBAT} = 55,52 + 0,45 \text{ SurfHumid}$ $R^2 = 67.7$ Eq (6)	$\text{LBAT} = 38,09 + 0,90 \text{ SurfHumid}$ $R^2 = 59.1$ Eq (6')	Pas de corrélation
Longueur bâtiment / nombre d'extracteurs	$\text{LBAT} = 41,24 + 4,48 \text{ NbExtr}$ $R^2 = 92.5$ Eq (7)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Surface/ effectif initial	$\text{surface m}^2 = 305,55 + 0,04 \text{ effectif}$ $R^2 = 64.9$ Eq (5)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
2. PRATIQUES D'ELEVAGE			
2.1 GESTION DE L'AMBIANCE			
RELATION ENTRE VARIABLES	GROUPE 1	GROUPE 2	GROUPE 3
Nombre de ranger d'ampoules/ nombre de batterie	$\text{NBRang} = -0,25 + 1,25 \text{ NbBtr}$ $R^2 = 73.5$ Eq (8)	Pas de corrélation	$\text{NBRang} = 1,71 + 0,76 \text{ NbBtr}$ $R^2 = 52.1$ Eq (8')
Nombre d'ampoule / % de la surface totale des fenêtres	Pas de corrélation	$\text{NbAmpl} = 55,20 - 14,08 \% \text{ surface F}$ $R^2 = 55.9$ Eq (9)	Pas de corrélation
Surface des humidificateurs / espace disponible par poule	$\text{SurfHumid} = -29,90 + 0,15 \text{ Espace/poule}$ $R^2 = 95.4$ Eq (10)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Surface des humidificateurs / taux de mortalité	$\text{SurfHumid} = -4,76 + 5,92 \text{ taux de mort}$ $R^2 = 61.8$ Eq (11)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Surface des humidificateurs/ nombre d'extracteurs	$\text{SurfHumid} = -8,85 + 7,00 \text{ NbExtr}$ $R^2 = 68.3$ Eq (12)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Nombre d'extracteurs / largeur du bâtiment	$\text{NbExtr} = 37,53 - 2,2 \text{ LBAT}$ $R^2 = 52.7$ Eq (13)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Nombre d'extracteurs / longueur du bâtiment	$\text{NbExtr} = -7,92 + 0,20 \text{ LBAT}$ $R^2 = 92.5$ Eq (13')	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Nombre d'extracteurs/surface du bâtiment	$\text{NbExtr} = -7,78 + 0,01 \text{ surface m}^2$ $R^2 = 66.3$ Eq (13'')	Pas de corrélation	Pas de corrélation
% De la surface totale des fenêtres /	$\% \text{ surface F} = 8,33 - 3,93 \text{ Hampl}$	Pas de corrélation	Pas de corrélation

hauteur des ampoules par rapport au sol			
	$R^2 = 81$	Eq (14)	
2.2 GESTION DE L'AIMENT			
RELATION ENTRE VARIABLES	GROUPE 1	GROUPE 2	GROUPE 3
Quantité d'aliment distribuée par jour/ fréquence de sa distribution de l'aliment	Pas de corrélation	Quantité ali = 15,33 - 5,54 Fréquenc $R^2 = 57.5$ Eq (15)	Pas de corrélation
Quantité d'aliment distribuée par jour/ effectif initial	Pas de corrélation	Quantité ali = -4,10 + 0,001 effectif déb $R^2 = 78.9$ Eq (16)	Pas de corrélation
Quantité d'aliment distribuée par jour / ration journalière par poule	Pas de corrélation	Quantité ali = -3,00+ 0,12 qt_alim/poul $R^2 = 70.8$ Eq (17)	Pas de corrélation
Ration journalière par poule /nombre de batteries	qt_alim/poul = 225,5 - 32 NbBtr $R^2 = 60.4$ Eq (19)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Ration journalière par poule / fréquence de sa distribution	Pas de corrélation	qt_alim/poul = 150,66 - 45,83 Fréquence $R^2 = 82.8$ Eq (18)	Pas de corrélation
2.3 GESTION DES DEJECTIONS			
RELATION ENTRE VARIABLES	GROUPE 1	GROUPE 2	GROUPE 3
Temps de stockage des fientes /nombre d'extracteurs	JourStock = -6,4 + 2,51 NbExtr $R^2 = 74.8$ Eq (20)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
3. PARAMETRES DE L'ELEVAGE			
RELATION ENTRE VARIABLES	GROUPE 1	GROUPE 2	GROUPE 3
Taux de mortalité /espace disponible par poule	Taux de mort = - 0,60+ 0,02 Espace/poule $R^2 = 79$ Eq (21)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Taux de mortalité /surface des humidificateurs	Taux de mort = 3,771 + 0,10 surfhumid $R^2 = 61.8$ Eq (22)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Espace disponible par poule /surface des humidificateurs	Espace/poule = 211,28 + 6,3 surfhumid $R^2 = 95.4$ Eq (23)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Espace disponible par poule/ nombre d'extracteurs	Espace/poule = 169,72 + 42,3 nbextr $R^2 = 59.9$ Eq (24)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Espace disponible par poule/ effectif initial	Espace/poule = -279,50 + 0,042 effectif déb $R^2 = 73.3$ Eq (25)	Pas de corrélation	Pas de corrélation
Espace disponible par poule /taux de mortalité	Espace/poule = 130,67 + 43,18 taux de mort $R^2 = 79$ Eq (26)	Pas de corrélation	Pas de corrélation

Tableau 11. Equations de régressions des relations entre les variables caractérisant les élevages locaux.

3. Discussion

La discussion des résultats est présentée de façon à développer, séparément, les trois rubriques abordées par le questionnaire. Elle reprendra les résultats de l'ACP, ceux de la CHA avec les statistiques descriptives réalisées pour chaque classe, ainsi que les résultats de l'ACP avec introduction des variables qualitatives. L'accent est mis sur les variables (paramètres) ayant construit les axes des analyses factorielles. Elle se référera également aux résultats des régressions appliquées aux différentes variables, au fur et à mesure qu'elle aborde les trois rubriques.

3.1 La description des bâtiments

Il est largement considéré que les normes de construction des bâtiments d'élevage sont en fonction de la taille des bandes (Dayon, 1997 ; ITAVI, 2009 ; Mahmoudi, 2015). La surface doit respecter une densité optimale (ITAVI, 2009 ; Mahmoudi, 2015 ; Rahan, 2016). De même, la longueur du bâtiment implique une longueur de batterie abritant un nombre de cages adéquat et un effectif approprié. Cet aspect est vérifié avec le résultat de l'ACP, celui de CAH ainsi que les régressions. Ce qui démontre que les effectifs les plus élevés sont logés dans les plus grandes structures et inversement ; les effectifs les moins élevés sont logés dans les bâtiments les plus modestes de l'étude. Précisant que ce dernier groupe de bâtiment représente plus de la moitié des élevages de poules pondeuses de la région avec 56.52%. La longueur des bâtiments échantillonnés varie de 30 à 100 m, ils abritent des effectifs allant de 1 800 à 25 600 poules. La moyenne nationale varie entre 40 et 54 m pour des effectifs allant de 2 400 jusqu'à plus de 10 000 poules (Rahan, 2016). De part le monde, la longueur des bâtiments varierait de 120 m pour un effectif de 30 500 poules (Priscilla et al, 2016) et elle dépasserait les 140 m pour un effectif de plus de 200 000 poules (Chai et al, 2012 ; Zhao et al, 2015).

Par ailleurs, la superficie des bâtiments doit répondre aux exigences des oiseaux en matière d'ambiance (Dayon, 1997 ; Alloui, 2005). En effet, la dimension de l'entrée d'air et le nombre de ventilateurs dépendent de la dimension du bâtiment, de la nature et de l'envergure de l'élevage (Roch et al, 2013). De même, la largeur des bâtiments est directement liée aux possibilités d'une bonne ventilation, plus on élargit le bâtiment plus on prévoit de moyens d'aération (Djerou, 2006). Ainsi les structures les plus imposantes de notre échantillon, celles appartenant au premier groupe, sont les mieux équipées en termes d'extracteurs et d'humidificateurs (aspect vérifié avec les régressions). Toutefois, l'augmentation du taux de ventilation, assurée notamment par les extracteurs, peut augmenter la vitesse de l'air dans le bâtiment et par conséquent les mouvements de l'air près de la surface émettrice (déjections),

ce qui accroîtrait la volatilisation de NH_3 (Hartung et Philips, 1994). Cependant, un brassage d'air important en continu, pourrait induire l'assèchement des surfaces émettrices ce qui va diminuer les émissions de NH_3 (Groot Koerkamp, 1994).

La projection des variables qualitatives supplémentaires, révèle que les bâtiments qui contribuent à la construction du deuxième axe sont construits en parpaing et possèdent des toits en fibrociment (Eternit), ces matériaux sont bon marchés, mais induisent une mauvaise isolation (Rahan, 2016), entravant ainsi l'efficacité de la ventilation (Petit, 1991). Sachant que les pertes gazeuses en bâtiment, notamment celles de l'azote, sont entre autre, liées à la climatisation des lieux et aux modes de logement (Robin et al, 1999 ; CORPEN, 2003) on peut déduire que ce type de structures participent d'avantage aux émissions polluantes.

3.2 Les pratiques d'élevage

(Larbier et Leclercq, 1992 ; Roch et al, 2013 ; Rahan, 2016) ont rapporté que la ration journalière d'aliment varie entre 56 à 150 g, son augmentation se fait progressivement selon l'âge des poules, en tenant compte de sa valeur énergétique (Larbier et Leclercq, 1992 ; Ghmirou, 2016) et de sa granulométrie (Lohmann, 2016). Dans notre étude les résultats ont montré que la ration journalière moyenne varie entre 87 et 128 g/poule/jour, elle peut atteindre 204 g/poule/jour si l'on considère les systèmes d'élevage qui contribuent à la construction du deuxième axe de notre analyse factorielle. Ces mêmes systèmes distribuent l'aliment une seule fois par jour; le matin. En revanche, les systèmes d'élevage qui appartiennent au premier groupe, adoptent une fréquence de deux fois par jour ; matin et soir. Il est à noter, que la manipulation de l'aliment lors des repas (préparation ou distribution des rations) serait à l'origine d'une partie des émissions de poussières à l'intérieur du bâtiment (Leclercq, 2002). Elle s'accompagnerait d'une augmentation significative de ces émissions après la distribution (Rousset et al, 2014). Une élévation supplémentaire des taux de poussières est causée par le passage répété des chariots pendant la journée. Ce qui nous permet de penser que les systèmes du premier groupe sont susceptibles d'émettre plus de particules.

Les deux corrélations négatives entre la ration journalière et le nombre de batteries (pour les bâtiments du premier groupe) et entre la ration journalière et la fréquence de distributions (pour les bâtiments du deuxième groupe), nous renseigne sur une gestion aléatoire de l'aliment. Il pourrait s'agir d'un apport insuffisant de rations, ou encore d'un gaspillage de l'aliment. Sachant que lorsqu'il s'agit de gaspillage, le reste d'aliment gaspillé, peut être

déplacé par les ouvriers, ou par les courants d'air créés par la ventilation. Les deux mouvements d'air soulèvent et mettent en suspension les plus fines particules d'aliment.

Par ailleurs, l'enquête a révélée que les éleveurs achetaient l'aliment présenté aux poules à un nombre restreint de fabricants, limitant ainsi la variation de sa composition et imposant un régime alimentaire manifestement similaire à la majorité des élevages. Sachant que l'apport en azote par oiseau est en étroite relation avec l'azote excrété et la concentration en NH_3 émis à partir des déjections (Aletor et al, 2000 ; Bregendahl et al, 2002 ; Keshavarz et Austic, 2004 ; Meda et al, 2011), il serait pertinent d'agir au niveau de la composition de l'aliment en vue d'une réduction des émissions d'ammoniac.

L'éclairage est très soigneusement contrôlé pour maximiser la productivité (Duncan, 2010 ; ITAVI, 2009). C'est un puissant facteur exogène dans le contrôle de nombreux processus physiologiques et comportementaux des poules (Olanrewaju et al, 2006). Il y a trois aspects d'éclairage à considérer (Duncan, 2010) : l'éclairement lumineux, la longueur d'onde de la lumière et la photopériode. De ces trois aspects, l'éclairement lumineux et la durée sont des facteurs qui sont habituellement considérés (Olanrewaju et al, 2006). Ils sont nécessaires pour que les pondeuses restent synchronisées sur le programme lumineux (Olanrewaju et al, 2006). En âge de ponte, 16 heures de lumière par jour, sont conseillées, (ITAVI, 2009) préconise de 11 à 14 heure/jour. Les systèmes d'élevage de la région adoptent ce principe et éclairent les bâtiments durant 14 et 16 h par 24h (Adjroudi et Bouzeriba., 2017). Le type de programme lumineux varie, entre autre, selon la nature du bâtiment ; qu'il soit clair ou obscur (Duncan, 2010). Le nombre et l'emplacement des ampoules peuvent donc remplacer la lumière qui peut provenir au travers des fenêtres. Ainsi, la corrélation négative entre le nombre d'ampoules et le pourcentage de la surface totale des fenêtres dans les bâtiments du deuxième groupe, ou encore, la corrélation négative entre ce pourcentage et la hauteur des ampoules par rapport au sol dans les bâtiments du premier groupe viennent appuyer cet aspect.

Dans cette étude deux systèmes d'élevage s'opposent dans leur gestion des déjections. Les systèmes du premier groupe disposent de fosses et utilisent des racleurs automatiques pour la collecte des déjections, l'évacuation est de l'ordre d'une à deux fois par semaine. Le second, désigné par les systèmes d'élevage appartenant au troisième groupe, ne possèdent pas de fosse et utilisent un ramassage manuel des déjections, ce qui les obligent à évacuer leur déjection une fois par jour. Les caractéristiques des déjections, principales accusées dans les émissions, sont liées aux pratiques d'élevage et au type de bâtiment, de la gestion des fientes et/ou de leur évacuation, même si on est en présence de la même espèce (Béline et al, 1998). Il est

effectivement admis, que la fréquence de sortie des déjections et la durée de leur présence dans le bâtiment, influencent l'évolution de leur teneurs en azote et en humidité, ce qui détermine les émissions de NH_3 (Peigne, 2003 ; Méda, 2011). En effet, la volatilisation de NH_3 augmente avec la quantité de déjections et le temps de dépôts sur les tapis (Groot Koerkamp, 1994). Une évacuation quotidienne au lieu de deux fois par semaine diminuerait de 47% les émissions de NH_3 (Liang et al, 2005). Ceci nous mène à dire que les systèmes d'élevages de la première classe ayant une fréquence d'évacuation d'une à deux fois par semaine, émettent plus d'ammoniac à l'intérieur des bâtiments que les systèmes de la troisième classe qui le font quotidiennement, déplaçant ainsi ces émanations à l'extérieur des structures d'élevage. Hors, les bâtiments de la première classe, équipés en nombre adéquat d'extracteurs, sont en mesure d'évacuer l'air vicié à l'extérieur des bâtiments.

Cependant, même si le temps de séjour des déjections à l'intérieur des bâtiments est tributaire des moyens utilisés pour leur évacuation, une fois à l'extérieur celles-ci sont soumises aux conditions de stockage (ITAVI, 2016). Il est donc judicieux de se pencher sur ce point, car 97% des éleveurs de la région stockent les fientes évacuées près des bâtiments suffisamment longtemps avant de les vendre. Le fait que seulement 3% sont épandues sur place, nous conduit à conclure que les émissions dues à l'épandage sont négligeables par rapport à celle issues du stockage.

Par ailleurs, le stockage, change la composition de l'air au voisinage des bâtiments. Car, en plus des émissions de gaz et de particules produites à l'intérieur des bâtiments et évacuées à l'extérieur, il y a également des émissions à partir des déjections en stockage extérieur. De fortes concentrations de gaz sont mesurées à l'extérieur, Influencées par les vents dominants et par l'orientation du bâtiment. La proximité des extracteurs et celles des fenêtres sont les endroits où s'accumulent les plus fortes concentrations en gaz. Par ces mêmes ouvertures l'air externe pénètre à l'intérieur du bâtiment, renouvelant l'air intérieur, et influençant ainsi sa composition (Lim, 2003). Ces influences sont, aussi, en fonction des conditions climatiques (Demmers et al, 2010).

Le climat semi-aride de la région n'est pas sans conséquences sur les stratégies de gestion des élevages, en particulier, sur la gestion de l'air interne. Rien que le changement de saison, constitue un paramètre à prendre en considération, dans la mesure où il a un impact sur les conditions de ventilation (CORPEN, 2001), mais l'absence de conduites précises en termes d'utilisation des ouvrants et d'actionnement des extracteurs ou des humidificateurs dans les

systèmes de la région, accentue l'aspect aléatoire de la gestion de l'ambiance interne et de l'air au voisinage des bâtiments.

3.3. La description de l'élevage

L'effectif moyen des groupes, défini après analyse, varie de 3 500 à 18 600 poules. Dans ces systèmes d'élevage, les poules sont logées dans des cages conventionnelles et disposent d'un espace moyen qui varie de 404 cm² à 501 cm² par poule. Jusqu'en 2012, l'espace requis pour les poules pondeuses en Europe était d'au moins 750 cm² /poule de la superficie de la cage, (Englmaierová et al 2014) recommande 550 cm² au minimum, pour éviter les mortalités par hyperthermie dû au surpeuplement. Lors des travaux de recherches menés en condition de productions, des espaces compris entre 329 cm² et 516 cm² ont été mentionnés, (Guo et al, 2012 ; Zhao et al, 2015). Il semble clair que les poules des systèmes d'élevage de la willaya de Batna ne bénéficient pas d'espaces conformes aux normes, néanmoins, ils suivent la tendance générale des conditions de production de poules pondeuses en cage.

L'impact des différents types de cages sur le bien-être, santé, performances zootechniques et qualité des œufs est largement démontré (Guinebretière et al, 2011). En effet, mise à part le facteur bien être animal, le surpeuplement a de graves conséquences sur la croissance pondérale et l'incidence de pathologies et d'émissions toxiques comme le NH₃ (Dayon, 1997). La densité des animaux influence l'apport d'eau et l'évaporation par unité de surface (Groot Koerkamp et al, 1999a ; Groot Koerkamp et al, 1999b). Ce qui fait d'elle, une variable qui devrait être incluse dans le calcul des émissions (Méda, 2011). Par ailleurs, lorsque l'espace disponible par poule est inférieur à 400 cm², soit 5 à 6 poules par cage de 40 cm par 45 cm, il en résulte une perte de production, une baisse de la consommation et un taux de mortalité élevé de 2% (Picard et al, 1994). La mortalité étant un indicateur évident d'un mauvais bien-être des animaux (Pereira, 2010). Ce taux, calculé, varie entre 8,58 et 13,63% dans notre étude, contre 0,8 et 1,5 % (Pereira et al, 2010) et 7% (Leenstra et al, 2014). Les résultats ont démontré que d'une manière générale, le taux de mortalité diminue avec l'augmentation de l'espace disponible par poule, sauf pour les bâtiments du premier groupe, où le taux de mortalité augmente avec cet espace. Cette relation pourrait être expliquée par une autre corrélation ; celle qui regroupe le taux de mortalité et la surface des humidificateurs des bâtiments du même groupe ; où l'espace disponible par poule est fortement corrélé avec la surface des humidificateurs. Sachant que la surface des humidificateurs renseigne sur le degré de saturation de l'air du bâtiment en vapeur d'eau, elle devrait être prise en compte dans le choix de la dimension et de la puissance de la ventilation utilisée (Amand et al, 2004), pour

permettre une certaine température et des niveaux acceptables d'humidité, de gaz, de poussière et d'odeurs (Choinièr et Munroe, 1993). Ces derniers, peuvent avoir des conséquences sur la santé des animaux et de là, influencer les taux de mortalité.

Avec une majorité pratiquement absolue, la souche élevée dans la région de notre étude, est «Isa Brown», connue pour sa capacité d'adaptation aux différents climats ainsi qu'aux différents systèmes de logement. De plus, elle est caractérisée pour sa forte production en œufs à taille optimale et coquilles fortes.

Conclusion

La willaya de Batna, région à climat semi-aride, est la première région productrice d'œufs de consommation du pays, avec 23% de la production nationale. Dans cette étude nous avons cherché à identifier et à caractériser les systèmes d'élevages de poules pondeuses en cage de la région, en décrivant les bâtiments d'élevage, leurs équipements et les pratiques d'élevage qui gèrent ces systèmes, en faisant ressortir le lien entre les spécificités de ces systèmes locaux (en termes de construction et de conduites) et les émissions polluantes d'ammoniac et de particules. Il en ressort une typologie en trois classes ; il s'agit :

- D'une première classe de système d'élevage, caractérisé par des structures imposantes, bien équipées avec des effectifs élevés, obéissant aux normes de production et présentant le taux de mortalité le moins élevé de la région, mais qui reste tout de même élevé (8,58 %). En revanche cette catégorie de systèmes ne représente qu'une minorité des systèmes existant dans la région, 13%.
- À l'opposé, le système d'élevage décrit par la classe 3, est caractérisé par des investissements restreints ; notamment lorsqu'on parle de taille de l'élevage et de l'envergure des bâtiments. Les équipements sont modestes voir inexistantes lorsqu'il s'agit de gestion des déjections. Suite au manque de moyens, les pratiques d'élevage sont non conformes, et ont la particularité de déplacer les émissions de polluants à l'extérieur des bâtiments. Il est à noter, que cette troisième classe constitue plus de la moitié, 57%, des élevages de l'échantillon étudié.
- La classe 2 avec 30%, définit un système d'élevage présentant des caractéristiques intermédiaires entre les deux classes énoncées précédemment. Néanmoins, cette classe d'élevage affiche le taux de mortalité le plus élevé de la région (11,10 %), sans doute, conséquence du plus petit espace disponible par poule de la région,

Ainsi on peut conclure, que les bâtiments de poules pondeuses de la région sont de conception modeste, leurs structures restent correctes obéissant aux règles standards de production. Ils sont, sauf rares exceptions, à ventilation dynamique, mais la majorité d'entre eux sont faiblement isolés et sous équipés, infligeant ainsi, un contrôle aléatoire de l'ambiance interne des bâtiments. Les élevages sont de taille moyenne, utilisant pratiquement tous la même souche « Isa Brown » et un aliment de composition standard local. L'accomplissement des tâches quotidiennes au niveau du bâtiment ne semble pas obéir à une conduite précise, cette hétérogénéité concernant les pratiques d'élevage est due aux différences liées à la disponibilité des équipements et à leur utilisation, elle est à l'origine des trois classes de systèmes d'élevage de la région.

Ainsi, on peut déduire que les paramètres déterminants les conditions de formation et d'émission des polluants au niveau des bâtiments d'élevages de poules pondeuses de la région sont incontestablement des éléments liés directement aux structures et à leur gestion. En réalité, l'aspect modeste des systèmes d'élevage locaux en termes d'équipement et d'isolation complique la standardisation des conduites d'élevage et inflige une hétérogénéité de l'ambiance interne des bâtiments. Influençant ainsi, directement la variation de la production de chaleur et d'humidité à l'intérieur des bâtiments. Sachant que ces deux paramètres définissent l'essentiel des modalités de production de l'ammoniac et des particules ; étudier et comprendre leur distribution au sein des bâtiments pourrait aider à maîtriser leurs émissions. Dans le deuxième chapitre de cette partie, nous essayerons de décrire l'ambiance interne d'un échantillon de bâtiments d'élevage locaux, dans le but de souligner, ou pas, l'aspect hétérogène de l'ambiance interne de ces bâtiments.

Références bibliographique

- Adjroudi, R., Bouzeriba, L., 2017. Caractéristiques techniques des bâtiments d'élevage des poules pondeuses a Batna en Algérie. Douzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 05 et 06 avril 2017.
- Aletor, V.A., Hamid, I.I., Nieß, E., Pfeffer, E., 2000. Low-protein amino acid-supplemented diets in broiler chickens: effects on performance, carcass characteristics, whole-body composition and efficiencies of nutrient utilisation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 547-554.
- Al Homidan, A., Robertson, J.F., Petchey, A.M., 2003. Review of the effect of ammonia and dust concentrations on broiler performance World's. *Poultry Science Journal*, 59 (3) : pp: 340-349.
- Alloui, N., 2005. Cours zootechnie aviaire, université ELHADJE Lakhdar- Batna, département de vétérinaire, p.10, 17, 19, 44, 47.
- Amand, G., Gobin, C., 2004. Incidence de la rénovation des bâtiments d'élevage – Enquête auprès d'un échantillon d'éleveurs. *Sciences et techniques avicoles*, octobre 2004, (49) : 29 - 32.
- Atapattu, D., Senaratna, Belpagodagamage, U.D., 2008. Comparison of Ammonia Emission Rates from Three Types of Broiler Litters, Environment, Well-Being, And Behavior. *Poultry Science*, (87): 2436–2440.
- Béline, F., 1998. Étude des transferts d'azote par nitrification/dénitrification (N₂, N₂O, NH₃) au cours du traitement aérobie et du stockage du lisier de porc. Essais avec 15N. PhD thesis, Perpignan University, France.
- Benkredda., 2012. The poultry industry in Algeria. DZ Agro forum of Algerian Agronomists. <https://www.dzagro.net/forums/viewtopic>.
- Bouzeriba, L., 2011. Contribution à la caractérisation de la pollution atmosphérique émise par les élevages avicole en bâtiment dans la wilaya de Batna (cas de la poussière et l'ammoniac), M.S. thesis, Batna 1 University, Alegria.
- Bregendahl, K., Sell, J., Zimmerman, D., 2002. Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poultry Science* 81, 1156-1167.
- Bruce, D., Oppermann, M.R., Michel, V., Lund, V., Mejdell, C., 2015. Air Quality in Alternative Housing Systems May Have an Impact on Laying Hen Welfare. Part I—Dust. - 2015.
- Brian, S. E., 2005. *An R and S-PLUS Companion to Multivariate Analysis* .Springer-Verlag London Limited, pp: 41-61
- Calvet, S., Cambra-López, M., Blanes-Vidal, V., Estellés, F., Torres, A.G., 2010. Ventilation rates in mechanically-ventilated commercial poultry buildings in Southern Europe: Measurement system development and uncertainty analysis. *Biosystems Engineering*, 106(4): 423-432.
- Chai, L., Ni, J.Q., Diehl, C.A., Kilic, I., Heber, A.J., Chen, Y., 2012. Ventilation rates in large commercial layer hen houses with two-year continuous monitoring. *British Poultry Science*, 53 (1): 19-31.

- Choinière Y, Munroe J.A, 1993, Conséquence de la qualité de l'air sur la santé des personnes qui travaillent dans les bâtiments d'élevage. Ontario, Canada. ISSN 1198-7138.
- CORPEN, 2001. Les émissions d'ammoniac d'origine agricole dans l'atmosphère Etat des connaissances et perspectives de réduction des émissions.
- CORPEN, 2003. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. pp: 44.
- Coufal, C.D., Chavez, C., Niemyer, P.R., Carey, J.B., 2006. Nitrogen emissions from broilers measured by mass balance over eighteen consecutive flocks. *World's Poultry Science Journal*, 85: 384–391.
- Dayon, J.F., Arbelot, B., 1997. Guide d'élevage des volailles au Sénégal. DIREL Dakar Sénégal, pp: 4-14.
- Demmers, T.G.M., 2010. Dust and ammonia emission from UK poultry houses.
- Djerou, Z., 2006. Influence des conditions d'élevage sur les performances chez le poulet de chair. M.S. thesis, Mentouri Constantine University, Algérie.
- Duncan, I.J.H., 2010, Lighting and its Effects on the Welfare of Broiler Chickens, *BC Organic Grower*, 13 (4): 14-23.
- Englmaierová, M.E., Tůmová, V., Charvátová, M., Skřivan., 2014. Effects of laying hens housing system on laying performance, egg quality characteristics, and egg microbial contamination. *Czech J. Anim. Sci*, 59 (8): 345–352
- Escofier, B., Pagès, J., 2008. Analyses Factorielles simples et multiples objectifs, méthodes et interprétation. 4th edition Dunod, Paris, pp: 27-28.
- Ghmirou, Y., 2016. Techniques de conduite des élevages de poules pondeuses d'œufs de consommation, *Aviculture au Maroc*. Source: www.avicultureaumaroc.com.
- Groot Koerkamp, P.W.G., 1994. Review of emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *Journal of Agricultural Engineering Research* 59, 73-87.
- Groot Koerkamp, P.W.G., Raaben, J.H.W., Speelman, L., Metz, J.H.M., 1999a. Litter composition and ammonia emission in aviary houses for laying hens. Part III: Water flow to the litter through fresh droppings. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73, 363-371.
- Groot Koerkamp, P.W.G., Speelman, L., Metz, J.H.M., 1998b. Litter composition and ammonia emission in aviary houses for laying hens. Part I: Performance of a litter drying system. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, 375-382.
- Guinebrière, M., Guillaume, G., Bignon, L., Conan, S., Audebet, G., Huonnic, D., HuneauSalaün, A., Michel, V., 2011. Aménagement des cages pour poules pondeuses: impacts économiques, sanitaires, zootechniques et sur le bien-être animal, revue : *Innovations Agronomiques*, 17: 199-211.
- Guo, Y.Y., Song, Z.G., Jiao, H.C., Song, Q.Q., 2012. The effect of group size and stocking density on the welfare and performance of hens housed in furnished cages during summer Lin. *Animal Welfare*, (21): 41-49.
- Hartung, J., Philips, V.R., 1994. Control of gaseous emissions from livestock building and manure stores. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57, 179-189.

- ITAVI, 2009. Guide D'élevage Aviculture Fermier : Quelques repères pour les éleveurs professionnels commercialisant en circuits courts. Editions ITAVI -PARIS 1er trimestre 2009 1ère édition, pp: 31.
- ITAVI, 2016. Je gère mes fientes, du stockage à l'épandage : Fiche Technique n°7C - mise à jour 05/12/2016
- Jhnsn, R.A., Wichern, D.W., 2007. Statistical Analysis -61h ed. Includes index. Pearson Education, pp: 430-454.
- Kenneth, D., Wheeler, F.E., Gates, R.S., Xin, H., Topper, P.A., Smith Zajaczkowski, J., Liang, Y., Heber, A.J., Jacobson, L.D., 2002. Quality Assured Measurements of Livestock Building Emissions: Part 4. Building Ventilation Rate. Air and Waste Management Association Conference December, 2002 San Francisco CA.
- Khenenou, T., M. Bougherara, M., Melizi, Lamraoui, R., 2017. Histomorphological Study of the Bursa of Fabricius of Broiler Chickens during Gumboro Disease in Algeria Area. *Global Veterinaria*, 18 (2): 132-136.
- Keshavarz, K., Austic, R., 2004. The use of low-protein, low-phosphorus, amino acid- and phytase-supplemented diets on laying hen performance and nitrogen and phosphorus excretion. *Poultry Science* 83, 75-83.
- Kocaman, B., Esenbuga, N., Yildiz, A., Laçin, E., Macit, M., 2006. Effect of Environmental Conditions in Poultry Houses on the Performance of Laying Hens, *International Journal of Poultry Science* 5 (1): 26-30.
- Larbier, M., Leclercq, B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles. Editeur Inra Editions Quae, 1992 – 355, PP: 212-217.
- Leenstra, F., Maurer, V., Galea, F., Bestman, M., Amsler-Kepalaite, Z., 2014. Laying hen performance in different production systems; why do they differ and how to close the gap. *European Poultry Science* 78: ISSN 1612-9199.
- Lelercq, S., 2002. Techniques de traitement des poussières agro-alimentaires. Rapport final. pp : 15.
- Liang, Y., Xin, H., Wheeler, E.F., Gates, R.S., Li, H., Zajaczkowski, P., Topper, A., Casey, K.D., Behrends, B.R., Zajaczkowski, F.J., 2005. Ammonia Emissions from U.S. Laying Hen Houses in Iowa and Pennsylvania. *Transactions of the ASAE* 48(5): 1927-1941.
- Lim, T.T., Heber, A.J., J-Qin, Ni., Gallien, J.X., Hongwei, X., 2003. Air quality measurements at a laying hen house: particulate matter concentrations and emissions. *Air Pollution from Agricultural Operations III, Proceedings of the 12-15 October 2003 Conference (Research. ASAE Publication Number 701P1403, ed. H. Keener, Pp. 249-256*
- Lohmann, 2016. Contrôle du stress chaleur. Guide D'élevage, *Management Guide*.
- Mahmoudi, N., Yakhlef, H., Thewis, A., 2015. Caractérisation technico-socio-professionnelle des exploitations avicoles en zone steppique (wilaya de M'sila, Algérie). *Cahiers Agricultures*, 24 (3):161-169.
- Meda, B., 2011. Une approche dynamique des flux d'éléments et d'énergie des ateliers de production avicole avec ou sans parcours : Conception et application du modèle MOLDAVI, Thèse : AGROCAMPUS Ouest, 238P.

- Moreda, E., Hareppal, S., Johansson, A., Sisaye, T., and Sahile, Z., 2013. Characteristics of Indigenous Chicken Production System in South West and South Part of Ethiopia. *British Journal of Poultry Sciences*, 2 (3): 25-32.
- National Census of Agriculture, 2003. Ministry of Agriculture and Rural Development, Algeria.
- Nebiyu, Y.N., Tamir, B., Mengistu, A., 2018. Marketing of Exotic Chicken Products and Constraints under Small Scale Intensive Urban Poultry Production in Addis Ababa. *World Journal of Agricultural Sciences*, 14 (1): 17-24,
- Nouad, M.A., 2011. Etude technico-économique de projets de valorisation/gestion de déchets liés à la filière avicole en Algérie. Expertise valorisation des sous produits et déchets avicoles, (2) pp: 58.
- Olanrewaju, H.A., Thaxton, J.P., Dozier, W.A., Purswell, J., Roush, W.B., Branton, S.L., 2006. A Review of Lighting Programs for Broiler Production, *International Journal of Poultry Science* 5 (4): 301-308.
- Pedersen, S., Sällvik, K., 2002. Climatization of Animal Houses Heat and moisture production at animal and house levels , 4th Report of Working Group, Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences, P.O Box 536, DK-8700 Horsens, Denmark.
- Peigne, P., 2003. Methodology for assessing agricultural practices on air quality Using agri-environmental indicators, PhD thesis, at INRA Colmar, France.
- Pereira, D.F., Vale, M.M., Zevolli, B.R., Salgado, D.D., 2010. Estimating Mortality in Laying Hens as the Environmental Temperature Increases. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 12(4): 265 – 271.
- Petit, F., 1991. Manuel d'aviculture par Rhône Mérieux.
- Picard, M., Porter, R.H., Signore, T J.P., 1994. Comportement et bien-être animal. INRA, Paris.
- Priscilla, A.P., Ribeiro, T.Y.J., De Oliveira, D.D., Ferraz G.A.E.S., Lourençoni, D., 2016. Spacial Illuminances Variability And Energy Consumption In Aviaries for laying hens equipped with compact fluorescent lamps and light emitting diode. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 36(6): 962-971.
- Rahan, M., 2016, La poule pondeuse : Œufs de consommation, synthèse, ITEL : institut technique des élevages. Ministry of Agriculture and Rural Development, Algiers.
- Robin, P., De Oliveira, P.A., Kermarrec, C., 1999. Production d'ammoniac de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de porc durant la phase de croissance. in *Pocrine Research Days in France*, pp : 111-116.
- Roch, G., Couture, C., Boulianne, M., 2013. Guide d'élevage de volailles de Basse-cour, Eqcma : version complète, pp :14-16.
- Rousset, N., Guingand, N., Dezat, E., Lagadec, S., Jegou, J.Y., Dennery, G., Chevalier, D., Boulestreau-Boulay, A.L., Dabert, P., Berraute, Y., Allain, E., Maillard, P., Adji, K., Hassouna, M., Robin, P., Ponchant, P., Aubert, C., 2014. Les litières en élevage : identification, test et évaluation des techniques ou des pratiques consistant à mieux gérer les litières avec moins de matériaux. *Innovations Agronomiques* 34 (2014), 403-415

- Serbessa, T.A., Tucho, T. T., 2017. Review on Newcastle Disease in Poultry and its Public Health Importance. *British Journal of Poultry Sciences*, 6 (2): 29-39.
- Sivakumar, T., Suraj, P.T., Yasotha, A., Phukon, J., 2017. Identification of suitable housing system for dairy cattle in North East Zone of Tamil Nadu, India, with respect to microclimate, *Veterinary World*, 10(1): 1-5.
- VERA, 2011. Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems, DK-2920 Charlottenlund Denmark, version 2, pp: 29-08.
- Weyuma, H., Singh, H., Megersa, M., 2015. Studies on Management Practices and Constraints of Back Yard Chicken Production in Selected Rural Areas of Bishoftu. *British Journal of Poultry Sciences*, 4 (1): 01-11.
- Yongxing, C., Hongwei, X., Hong, L., Shepherd, T., 2012. Comparison of Ammonia Emissions from Poultry Houses Based on Diurnal Integration vs. Daily Means of Gas Concentration and Building Ventilation Rate, An ASABE Conference Presentation. Paper Number: ILES 12-0965.
- Youbi, I., 2009. Conduite de l'élevage avicole cas de la poule pondeuse dans la région de Ouèd-Souf. M.S. thesis, Kasedi Merbeh Ouargla University., Algérie.
- Zhao, Y.T., Shepherd, A., Swanson, J. C., Mench, J. A., Karcher, D. M., Xin, H., 2015. Comparative evaluation of three egg production systems: *Housing characteristics and management practices*, *Poultry Science* 94: 475-484.

CHAPITRE 3

PARAMETRES DU CLIMAT DANS LES BATIMENTS D'ELEVAGE LOCAUX DE POULES PONDEUSES.

Introduction

Pour (Teng et al, 2003), les grands bâtiments de confinement du bétail sont de plus en plus courants car ils réduisent effectivement les coûts unitaires de production, mais ils peuvent également être d'importantes sources de polluants aériens. À l'heure actuelle, selon (Prodanov et al, 2016), les bâtiments, l'équipement et les technologies d'élevage et d'alimentation sont presque les mêmes dans toutes les régions du monde.

Dans les systèmes d'élevage intensif de volailles, (Kilic et al, 2014 ; Polat, 2015; Prodanov et al, 2016) pensent que les poules pondeuses doivent être maintenues dans de bonnes conditions environnementales, en garantissant de bons soins, afin de garantir que les poules pondeuses fonctionnent à leur capacité de rendement maximale de leur potentiel génétique. Les conditions d'ambiance intérieure dans ces systèmes dépendent des caractéristiques physiques de l'air (température, humidité relative, luminance, ventilation et poussière) et les facteurs chimiques (composé de l'air comme l'ammoniac, le dioxyde de carbone et l'oxygène). Pour (Prodanov et al, 2016), dans le processus de régulation de la température, de l'humidité relative et des gaz, la ventilation est d'une grande importance.

Selon (Gutiérrez-Zapata et al, 2016), les oiseaux en cages forment des barrières vivantes qui influencent la distribution de l'air dans le bâtiment, modifiant le flux d'air et affectant la ventilation dans certaines zones. Cela affecte des facteurs tels que la température, l'humidité relative et la concentration de gaz. Aussi, (Zhao et al, 2015), rapportent que les résultats de diverses études sur les concentrations intérieures, de gaz (en particulier NH_3) et de particules dans les poulaillers, sont soumis à l'influence du type de logement, des pratiques de gestion, des conditions climatiques locales et, dans une certaine mesure, des méthodes de mesure associées. Pour (Prodanov et al, 2016), il est coûteux pour les éleveurs d'assurer de bonnes conditions environnementales aux poulaillers, mais sans cela, les pertes dues à la mauvaise santé des oiseaux et aux performances dues à la mauvaise qualité de l'air peuvent être beaucoup plus préjudiciables. Car l'environnement pauvre n'est pas, normalement, la cause directe de maladies, mais il réduit les défenses des poulets, ce qui les rend plus sensibles aux virus et aux agents pathogènes existants (Kocaman et al, 2006). C'est pour cette raison que des environnements inappropriés ont réduit les défenses des poulets, les rendant plus

vulnérables aux maladies. L'examen post mortem a montré que 51, 24, 11, 9 et 5% des poules étaient mortes, respectivement, en raison d'une infection bactérienne, virale, non infectieuse, protozoaire et fongique (Talukder et al, 2010).

Selon (Cavalch et al, 1990), les poules sont généralement hébergées dans des cages contenant 3 à 5 oiseaux et sans possibilité de se déplacer ou de choisir et doivent donc survivre au crypto climat de la cage. À la fin de leur période de production, les poules perdent beaucoup de leurs plumes et ont donc moins de protection thermique. Par conséquent il est si important de maintenir un microclimat optimal qui offre une zone thermoneutre dans laquelle la poule reste bien, cette condition doit être respectée durant toute la période d'élevage qui traverse, souvent, les quatre saisons. Ce fait est soutenu par (Kocaman et al, 2006), pour qui l'air des poulaillers et les performances de production sont considérablement affectés par les changements saisonniers (Annexe 4).

(Jácome et al, 2014), pensent que l'utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments de poules pondeuses est importante, car la préservation des ressources naturelles est essentielle pour le développement durable de la chaîne de production. La lumière est nécessaire pour la libération d'hormones responsables de la reproduction. Cependant, le programme d'éclairage pratique pour stimuler la poule pondeuse pendant la période de reproduction reste à déterminer dans chaque site de production dépendamment de la géographie du milieu, des saisons et du système de production. Des programmes ont été testés (Jácome et al, 2014), en Europe et aux États-Unis, et sont largement appliqués. L'objectif est de réduire l'utilisation de l'éclairage artificiel tout en maintenant les performances des oiseaux durant la période de ponte. Car l'éclairage artificiel est un outil couramment utilisé pour retarder ou stimuler la synthèse des œufs. Ainsi, pour ce faire il faut gérer et respecter le contrôle physiologique des activités métaboliques d'un sujet par la lumière qu'on appelle le rythme circadien ou biorythme. La lumière a été utilisée pour l'induction précoce de la maturité sexuelle chez ces animaux du développement morphologique à la maturité. Celle-ci, est d'une importance fondamentale dans la reproduction des oiseaux, aussi bien pendant l'élevage que pendant la ponte (Cavalchini et al, 1990). Les poules utilisent des rythmes circadiens pour percevoir la durée de la journée, elles sont plus sensibles à la durée de la lumière de 11 et 15 heures (Jácome et al, 2014).

Pour (Cavalchini et al, 1990), actuellement les bâtiments de poules pondeuses sont fermés et ont une ventilation à air forcé, des unités de refroidissement et une lumière contrôlée. Cela a permis un meilleur contrôle du microclimat, ce qui est particulièrement avantageux car cela

signifie qu'en été, les effets négatifs d'une température trop élevée sur la production d'œufs peuvent être évités et en hiver, la consommation d'aliments est plus faible. Toujours selon ces auteurs, les poules sont plus sensibles aux conditions d'hébergement inadaptées et doivent être dans des environnements bien contrôlés. Outre la lumière, l'humidité et la température, d'autres facteurs environnementaux jouent un rôle important. Ceux-ci sont répertoriés en (Annexe 5) et incluent la nutrition, la gestion, la santé et autres.

1. Les paramètres du climat à l'intérieur des bâtiments

1.1 La température

Selon (Prodanov et al, 2016), la température optimale recommandée dans les bâtiments de poules pondeuses, est de 18°C. Pour (Zhao et al, 2015), la température intérieure moyenne était de 24,6°C pour les cages conventionnelles ; alors que (Talukder et al, 2010), préconise une température, tolérable pour la poule pondeuse, comprise entre 15 à 27°C. Les températures recommandées pour les poules en cage devraient être de 15 à 20°C (Jácome et al, 2014). Chez (Cavalchini et al, 1990), habituellement, la température corporelle est maintenue (reste constante) jusqu'à une température ambiante de 26 à 27 °C.

Pour d'autres auteurs les températures fluctuent entre des valeurs comprises entre 14°C et 34,7°C. Ainsi, (Prodanov et al, 2016), rapporte que la température dans les bâtiments se situe entre 15,31 °C et 25,6 °C. L'écart de température dans un bâtiment dépend des hauteurs de la batterie et du débit d'air dans celui ci. Alors que (Gutiérrez-Zapata et al, 2016), a observé la température moyenne la plus élevée entre 10 h et 15 h (fluctuant de 21 à 23 °C), l'inverse s'est produit pendant les heures fraîches; le soir ou tôt le matin, la température moyenne oscillait entre 14 et 16 °C, (Kilic et al, 2014), trouve que la température intérieure variait de 16,80°C à 34,71°C et que les températures moyennes de l'air intérieur diurne et nocturne étaient respectivement de 26 °C et 22 °C, de plus, les différences entre les températures diurnes et nocturnes étaient statistiquement significatives ($p < 0,01$).

1.2 L'humidité

L'humidité relative, HR, optimale, conseillée, dans les poulaillers de pondeuse, par (Prodanov et al, 2016), est comprise entre 50 et 70%, pour (Kocaman et al, 2006) elle est optimale entre 60 et 70%, et que la dynamique de l'air en interaction avec la gestion et l'activité des animaux montre que l'humidité relative varie entre 34,60% et 85%. Les travaux de (Kilic et al, 2014), mentionnent que l'humidité relative variait entre 34,60% et 86,18. % ; l'humidité relative (HR) de l'air intérieur diurne et nocturne étaient respectivement de 59% et 69%, de plus, les différences entre l'humidité relative, diurne et nocturne, étaient

statistiquement significatives ($p < 0,01$). Les résultats de (Prodanov et al, 2016), donnent une HR comprise entre 48,03% et 81,12% avec l'écart type maximum de 4,89%. Enfin, (Gutiérrez-Zapata et al, 2016) précise que l'HR moyenne variait de 61 à 67% durant la journée. L'inverse s'est produit pendant les heures fraîches; le soir ou tôt le matin, la HR moyenne oscillait entre 83 à 85%.

1.3 La lumière

La littérature donne des références de luminance (éclairage), à observer dans les bâtiments, très différentes. Pour une bonne activité de reproduction de la poule (Cavalchini et al, 1990) préconise au moins 10 lux de lumière. La luminance minimale requis pour la production maximale d'œufs chez (Jácome et al, 2014) est de 5,38 lux dans les bâtiments d'élevage sombres et de 10 lux, à la hauteur de la cage ou de la tête de l'oiseau dans les bâtiments ouverts.

Selon les sources lumineuses les poules, dans les cages d'élevage, ne reçoivent pas la même luminance. Ainsi, les résultats de (Prodanov et al, 2016) montrent que la luminance était entre 1,83 et 28,25 lux. Il explique que les différentes cages reçoivent différentes quantités de luminance. Celles qui étaient les plus proches de la source de lumière avaient une valeur luminance plus importante et les cages inférieures ont la valeur de luminance la plus faible.

Les activités des poules dépendent de la durée du jour et de la longueur d'onde de la lumière émise. (Surbhi et al, 2014), mentionne que les poules chronométrèrent leurs activités en synchronisation avec les périodicités quotidiennes et saisonnières, qui sont principalement fournies par les changements dans la durée du jour (photopériode). Il est à signaler, selon (Cavalchini et al, 1990), que les oiseaux sont plus sensibles aux longueurs d'onde vers l'orange et le rouge et moins sensible au bleu, vert ou jaune. Les longueurs d'onde optimales se situent entre 600 et 750 nm.

2. L'influence des paramètres du climat

2.1 L'influence de la température sur les émissions de gaz

La température dans les bâtiments de poules pondeuses a une influence sur les émissions des gaz polluants. (Gutiérrez-Zapata et al, 2016), mentionne qu'une température élevée génère une formation et une volatilisation accrues de NH_3 en raison de la dégradation microbienne accrue de l'acide urique et des protéines. (Gutiérrez-Zapata et al, 2016) observe que la température supérieure à 25 °C favorise une augmentation des niveaux de NH_3 dans les installations à ventilation naturelle. L'étude de (Kilic et al, 2014), montre qu'il existe une relation entre la concentration des gaz polluants et les paramètres du climat dans le bâtiment

de poules. Des modèles de régression ont été développés pour les concentrations de NH_3 dans les bâtiments, la température de l'air intérieur, la vitesse de l'air intérieur et l'humidité relative intérieure ont été considérées comme des variables indépendantes. Il en ressort que seule la température de l'air intérieur a eu un effet significatif sur les concentrations de gaz polluants dans le bâtiment de poules pondeuses. Il en est de même des émissions des particules dans l'air ambiant du bâtiment. Ainsi, (Zhao et al, 2015), montre qu'à partir d'une certaine température 10°C les concentrations de gaz d' NH_3 et de particules étaient inversement proportionnelles à la température ambiante et au taux de ventilation du bâtiment. Car le dessèchement des fientes ne permet pas l'émission d' NH_3 .

2.2 L'influence de l'humidité sur les émissions de polluants

L'humidité relative a un effet sur les émissions de polluants. L'auteur (Gutiérrez-Zapata et al, 2016), avance qu'une humidité supérieure à 80% favorise une augmentation des niveaux de NH_3 dans les installations à ventilation naturelle d'une part, et que pour (Kocaman et al, 2006), la poussière augmente en cas de faible humidité relative, d'autre part.

2.3 L'influence de la lumière sur les émissions de polluants

La lumière favorise les émissions de polluants. (Gustafsson et al, 2009), a constaté que la production de dioxyde de carbone était plus élevée pendant la lumière que pendant les périodes sombres dans les bâtiments de poules pondeuses. La production de dioxyde de carbone a augmenté d'environ 30%, selon (Gustafsson et al, 2009) pendant les périodes de lumière par rapport aux périodes d'obscurité, probablement en raison de l'augmentation de l'activité et de la respiration.

Dans les bâtiments de poules pondeuses, (Cavalchini et al, 1990) a montré que les animaux sont plus sensibles aux conditions d'hébergement inadaptées et doivent être maintenus dans des conditions environnementales spécifiques et bien contrôlées. Outre la lumière et la température, d'autres facteurs environnementaux jouent un rôle important. Ceux-ci sont répertoriés dans le schéma (Annexe 5) et incluent la nutrition, la gestion, la santé, et d'autres. Tous ces facteurs peuvent avoir des conséquences immédiates et / ou des impacts à long terme sur la production animale. Pour (Kocaman et al, 2006), les valeurs de température et d'humidité relative recommandées pour les bâtiments de poules en cage devraient être de 15 à 20°C et de 60 à 70%. En considérant la température et l'humidité relative dans les bâtiments, (Prodanov et al, 2016) trouve que les valeurs maximales de température, d'humidité relative et les valeurs minimales de débit d'air ont été enregistrées aux points de mesure situés à l'arrière du bâtiment, et en particulier aux coins du bâtiment. En ces points de mesure, les valeurs

maximales de NH_3 ont été enregistrées, ce qui confirme la littérature pour qui les niveaux de NH_3 dépendent de la température, de l'humidité relative et du débit de l'air extrait du bâtiment. La qualité de l'air dans différentes positions dans les bâtiments est d'une grande importance non seulement pour le bien-être animal, mais aussi pour la sécurité du personnel. Aussi, (Gutiérrez-Zapata et al, 2016), mentionne que la température et l'humidité relative affectent tous deux l'activité microbienne, ils sont donc directement impliqués dans la formation et l'émission de NH_3 . Les conditions optimales pour les faibles niveaux de NH_3 sont proches de la zone thermo neutre (entre 13 et 24 ° C et 50 à 70% HR).

L'éclairage dans les bâtiments de poules pondeuses joue un grand rôle dans la production de ces animaux. Selon (Jácome et al, 2014), il est bien établi dans la littérature que les oiseaux perçoivent la lumière à travers les voies transcrâniennes et oculaires. Cependant, la voie transcrânienne est plus importante pour la stimulation de la reproduction chez les poules pondeuses. Ces auteurs concluent, compte tenu de la nécessité d'une période lumineuse et de la perception de la lumière par la voie crânienne pour stimuler la reproduction, que des études sur la régulation de l'éclairage artificiel pour retarder ou activer la ponte sont de plus en plus importantes. Dans les bâtiments d'élevage de poules pondeuses il est nécessaire de renouveler l'air ambiant continuellement. Les raisons de se renouvellement sont mentionnées par (Polat, 2015) : il est très important de fournir un flux d'air uniforme dans le bâtiment tout au long de l'année, afin de maintenir la température à l'intérieur dans les limites optimales, pour empêcher la condensation de l'humidité et pour disperser les gaz nocifs, les particules et autres agents pathogènes de l'environnement intérieur avant d'atteindre des niveaux nuisibles aux poules. Les agents pathogènes et les micro-organismes sont directement associés aux maladies chroniques et allergiques chez l'homme et les animaux. L'auteur (Zhao et al, 2015), explique que des variations spatiales des constituants aériens peuvent exister dans les bâtiments en raison des différences dans la distribution de l'air de ventilation et la génération localisée des constituants. Cette caractéristique souligne l'importance de l'échantillonnage à plusieurs emplacements lors de l'évaluation de la qualité de l'air et des émissions aériennes. (Prodanov et al, 2016), confirme que la qualité de l'air dans un bâtiment peut différer selon les endroits où ces mesures sont prises. La qualité de l'air dans différentes positions dans les bâtiments est d'une grande importance non seulement pour le bien-être animal et donc pour une production optimale, mais également pour la sécurité du personnel. (Gutiérrez-Zapata et al, 2016), souligne que c'est dans les bâtiments naturellement ventilées, qu'il est difficile de contrôler la qualité de l'air et le bien-être, alors les performances des poules sont compromises.

3. Etude des paramètres du climat dans les bâtiments de poules pondeuses à Batna

La littérature explique bien qu'il existe une forte corrélation entre les paramètres du climat intérieur du bâtiment et les émissions de polluants d'une part, et les performances des poules pondeuses d'autre part. Cependant, la gestion de ces paramètres du climat est primordiale et pose problème à sa mise en œuvre car elle nécessite une attention particulière quant au respect des seuils optimum des températures, des humidités et de la lumière qui permettent aux poules d'exprimer leur potentiel de production.

De nombreuses contraintes contribuent, de manières différentes, à la variation de ces paramètres. Celles-ci dépendent du site géographique du bâtiment, sa position, ses éléments constitutifs et des équipements, de la bande d'élevage et de leurs gestions.

Ainsi, afin de compléter les travaux d'enquête sur les systèmes de d'élevage de poules pondeuses dans la wilaya de Batna, chapitre précédent, nous avons réalisé une étude sur l'évaluation des paramètres du climat intérieur des bâtiments de poules pondeuses.

De ce fait, nous avons choisi d'une manière aléatoire dix bâtiments de poules pondeuses en activités répartis sur la wilaya de Batna (Figure 22). Au niveau de chaque bâtiment nous avons déterminé les températures, les humidités et la luminance en différents endroits et à différentes hauteurs du bâtiment.

Les résultats de ces mesures nous ont permis de déterminer la répartition de chaque paramètre du climat, la température, l'humidité et la lumière, à l'intérieur de chaque bâtiment, aussi bien le long du bâtiment que suivant la largeur et la hauteur de celui-ci. Il en ressort de cette évaluation que les valeurs de ces paramètres ne sont pas homogènes aussi bien au niveau de chaque bâtiment qu'entre les bâtiments.

Il est à signaler que deux grandes contraintes ont affecté ce travail. La première contrainte est d'ordre sociétale, les éleveurs étaient très méfiants à notre égard, nous avons mis beaucoup de temps pour les convaincre de nous autoriser à accéder à leur bâtiment ; la deuxième contrainte est d'ordre matériel car nous avons effectué beaucoup de déplacement aussi bien lors de la prospection pour obtenir l'autorisation d'accès au bâtiment que lors de la réalisation des mesures.

3.1 Matériel et méthode

3.1.1 Matériel

Les bâtiments sites de notre étude sont répartis dans la wilaya sur les zones à forte concentration de bâtiments d'élevage de poules pondeuses et par conséquent de production d'œufs. La (Figure 22) montre les différentes communes où se trouvent ces bâtiments. Le

climat dans la wilaya est caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers froids et humides. Le choix de ces bâtiments s'est fait d'une manière aléatoire après autorisation des éleveurs propriétaires. Des discussions assez longues ont lieu en présence des services agricoles concernés pour convaincre ces éleveurs de nous permettre d'accéder à leur bâtiment d'une part et de nous communiquer les informations concernant leur bâtiment, les équipements, la bande et la gestion de l'élevage (Tableau 12).

Tous les bâtiments possèdent un sas d'entrée où sont déposés les aliments et les œufs du jour.



Figure 22. Sites des différents bâtiments d'étude.

Les bâtiments se trouvent éloignés les uns des autres sur des distances qui peuvent atteindre au minimum 10km. Ils sont orientés, différemment, comme suit : 40% sont Sud Est, 20 % au Sud-Ouest, 20% à l'Est-Ouest, 10 % à l'Ouest-Est et 10% au Nord-Ouest ; 50% des bâtiments ont leur pignon arrière orientés vers l'Est et les autres 50 % vers l'Ouest. Les murs sont en parpaing à 60 %, en briques pour 30% et 10% en panneaux sandwich. La majorité, 60%, des toits est en fibrociment (Eternit), 30% en tôles ondulées et 10% en panneaux sandwich. 50% de l'effectif des bâtiments possèdent une longueur comprise entre 30 et 55m, 30% entre 60 et 70m et 20% entre 90 et 100m. La largeur est de 5m chez 20% des bâtiments, elle est de 14m pour 50% de l'effectif et, est comprise entre 11 et 12m chez 30% des bâtiments ; ces derniers ont une hauteur de 3m pour 10%, entre 4 et 5m pour 70% et 6m pour 20%. 90% des bâtiments ne possèdent pas de plafond, un seul a un plafond en panneaux sandwich.

Les principaux équipements de la gestion du climat intérieur du bâtiment sont composés d'extracteurs pour renouveler l'air vicié, l'humidificateur pour humidifier et rafraichir l'air intérieur et d'une installation électrique avec des ampoules incandescences pour éclairer le

bâtiment. Dans les bâtiments de notre étude ces équipements se répartissent et se situent différemment d'un bâtiment à un autre. Le nombre d'extracteurs est de 5 à 7 dans 40% des bâtiments, de 2 à 4 pour 50% et un bâtiment possède 13 extracteurs. L'emplacement des ces extracteurs est à l'arrière pour 70% des bâtiments, à gauche chez 10%, à droite pour 10% et à droite et à gauche pour 10%. Les humidificateurs sont au nombre de 8 chez 20% des éleveurs ; de 4 pour 20% des éleveurs, de 2 chez 40% des éleveurs, 10% possèdent un humidificateur et 10% ne possède pas d'humidificateur. Les surfaces des humidificateurs et leurs emplacements se présentent comme suit : 50% des bâtiments ont une surface d'humidification comprise entre 20 et 34 m², 40% entre 8 et 15m² ; l'emplacement de cet équipement est reparti à droite et à gauche du bâtiment dans 50% des cas, seulement à gauche pour 20% et seulement à droite pour 20%.

Les ampoules incandescences de 40w, pour un souci d'économie, sont utilisées et se trouvent à 2m du sol dans tous les bâtiments. Le nombre d'ampoules par bâtiment est de 120 dans 10% des cas, de 60 ampoules chez 30% des éleveurs et, est compris entre 48 et 55 pour 60% des bâtiments. La durée de l'éclairage du bâtiment n'est pas la même au sein des différents bâtiments. Elle est de 16 h, entre 5h et 23h, dans 50% des Bâtiments, de 15h, entre 4h et 22h, pour 20% des cas et, est de 14h, entre 6h et 21h, chez les 30% des bâtiments.

La direction des vents est du Nord pour 50% des bâtiments, de l'Ouest pour 20% il en est de même pour les vents en provenance de l'Est et pour 10% des bâtiments les vents viennent du Sud Est. Les effectifs des poules par bâtiment sont de 25 600 sujets chez 10% des éleveurs, entre 11 000 et 16 000 au niveau de 40% des éleveurs et entre 4 800 et 7 200 chez 50% des éleveurs. Les poules élevées dans ces bâtiments sont de race ISA Brown ; la densité, poules par cage, est entre 4 à 5 chez 90% des éleveurs et de 10 chez 10% des éleveurs. Le taux de mortalité est déterminé en considérant les effectifs du début et de la fin de la bande. Il est compris entre 1.04 et 9.72% chez 70% des élevages dont les bandes, en générale, ont des effectifs inférieurs à 10 000 sujets et il est compris entre 12.57 et 16.66% chez 30% dans les élevages ayant des effectifs supérieurs à 10 000 poules.

La durée de stockage des fientes dans les bâtiments considérés, n'est pas la même. 10% des éleveurs la stocke durant 4 jours, 30% la stocke pendant 3 jours, 20% la stocke pendant 2 jours et 40% la stocke pendant 1 jour.

La référence des appareils utilisés pour les mesures des températures et des humidités relatives est : (RANGE : HUMIDITY : 10-95% ; TEMP : -20 C à 60 C / -4 F TYPE-K : -50 C - 1370 C / -58 F - 2498 F.).

Bâtiments caractéristiques	1 A touta el merja	2 A touta Guebla	3 A yagot	4 Ayoun lassafer	5 Bouilef	6 Djerma	7 Lazrou	8 Markouna	9 O azouz arris	10 Zana beida
Orientation	SE	OE	SE	SE	SO	SO	EO	NO	SE	EO
Type murs	Parpaing	Brique	Parpaing	Brique	Parpaing	Pan sanch	Parpaing	Parpaing	Brique	Parpaing
Type Toitures	Eternit	Eternit	Eternit	Eternit	Eternit	Pan sanch	Tole ondulée	Tole ondulée	Tole ondulée	Eternit
Sas d'entrée	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Nbre Extracteurs	5	7	6	6	2	13	3	4	2	3
Site extracteurs	droite	Ar et droi	Arrière	Arrière	Arrière	gauche	Arrière	Arrière	Arriere	arrière
Nbre Humidificateurs	3	8	8	2	4	4	2	2	0	2
Sites humidificateur	G=27m ²	D=14.4 m ² G=14.4 m ²	G=7.2m ² D=7.2m ²	G =6.5m ² D=6.5m ²	G=8 m ²	D=34m ²	G=10 m ² D= 5m ²	D= 30m ²	0	G=10m ² D=10m ²
Température ext(°)	28	24.6	26.6	28	22.6	28	25.5	16	24.3	18.2
Humidité externe (%)	55	35.5	46.8	50	56.5	39	44.5	80	33.3	47
Luminosités ext(lux)	1000	5970	9120	900	1100	1009	8370	1000	617	4180
Longueur (m)	65	60	75	90	45	100	30	55	45	50
Largeur (m)	14	14	14	15	15	12	12	14	11	14
Hauteur mur(m)	4	4	4.5	5	4	3	6	6	4	5
plafond	non	non	non	non	non	0.15 m	non	non	non	non
Direction des vents	O	E	N	N	O	N	N	E	N	SE
EFFECTIF	8 600	11 000	16 000	12 000	15 000	25 600	4 800	9 600	7 200	7 200
Taux de mortalité %	4.65	9.09	6.25	16.66	16.56	12.57	4.16	1.04	2.77	9.72
Duree stock fientes/j	1	1	3	4	3	2	2	3	1	1
Nbre ampoules de 40W	60	55	60	48	54	120	50	55	60	52
Ampoules/ sol(m)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Durée d'éclairage h	16	16	16	14	16	14	15	15	16	14

Tableau 12. Les Caractéristiques des bâtiments sites des mesures des températures, des humidités relatives et de la luminosité.

D= cote droit du bâtiment ; G = cote gauche du bâtiment ; épaisseur du panneau sandwich=0.06m ;

3.1.2 Méthode

Les mesures des températures, des humidités relatives et de la luminosité, dans les bâtiments de cette étude, sont réalisées entre 9h et 14h, d'avril à octobre 2016, période de pleine production des élevages. La (Figure 23) montre le schéma des positions des mesures effectuées dans le bâtiment. Les mesures sont effectuées à l'extérieur (Tableau 12) et à l'intérieur du bâtiment. Dans ce dernier cas, elles sont effectuées à des positions suivantes :

- La position avant, Av, et arrière, Ar, se trouvent à 2m des murs avant et arrière du bâtiment, la position milieu, Mil, se trouve à égale distance des deux précédentes,
- La position gauche, G, et droite, D, à partir de l'avant du bâtiment, se situent à 1m des murs, au bord des batteries, la position milieu, M, se trouve entre les deux précédentes.
- Les positions des hauteurs se trouvent à 1; 1,5 et 2m du sol. Ainsi, en chacune des 6 positions (Av, Mil, Ar, G, M, D,) nous avons réalisé une mesure pour chacune des 3 hauteurs, ce qui donne 27 mesures par paramètre et par bâtiment.

Les mesures des différents paramètres sont réalisées en même temps en chaque fois.

Pour traiter les données des mesures des paramètres du climat intérieur des différents bâtiments nous avons considéré le logiciel statistique (STATISTICA 5, édition 97) et les tests statistiques suivants ont été utilisés : ANOVA, analyse de régression linéaire et statistiques descriptives. Les résultats obtenus sont présentés, sous forme de tableaux ou de graphes, pour montrer les variations de chaque paramètre du climat intérieur étudié en utilisant, soit toutes les mesures obtenues pour les dix bâtiments, soit, seulement, celles obtenues par bâtiment.

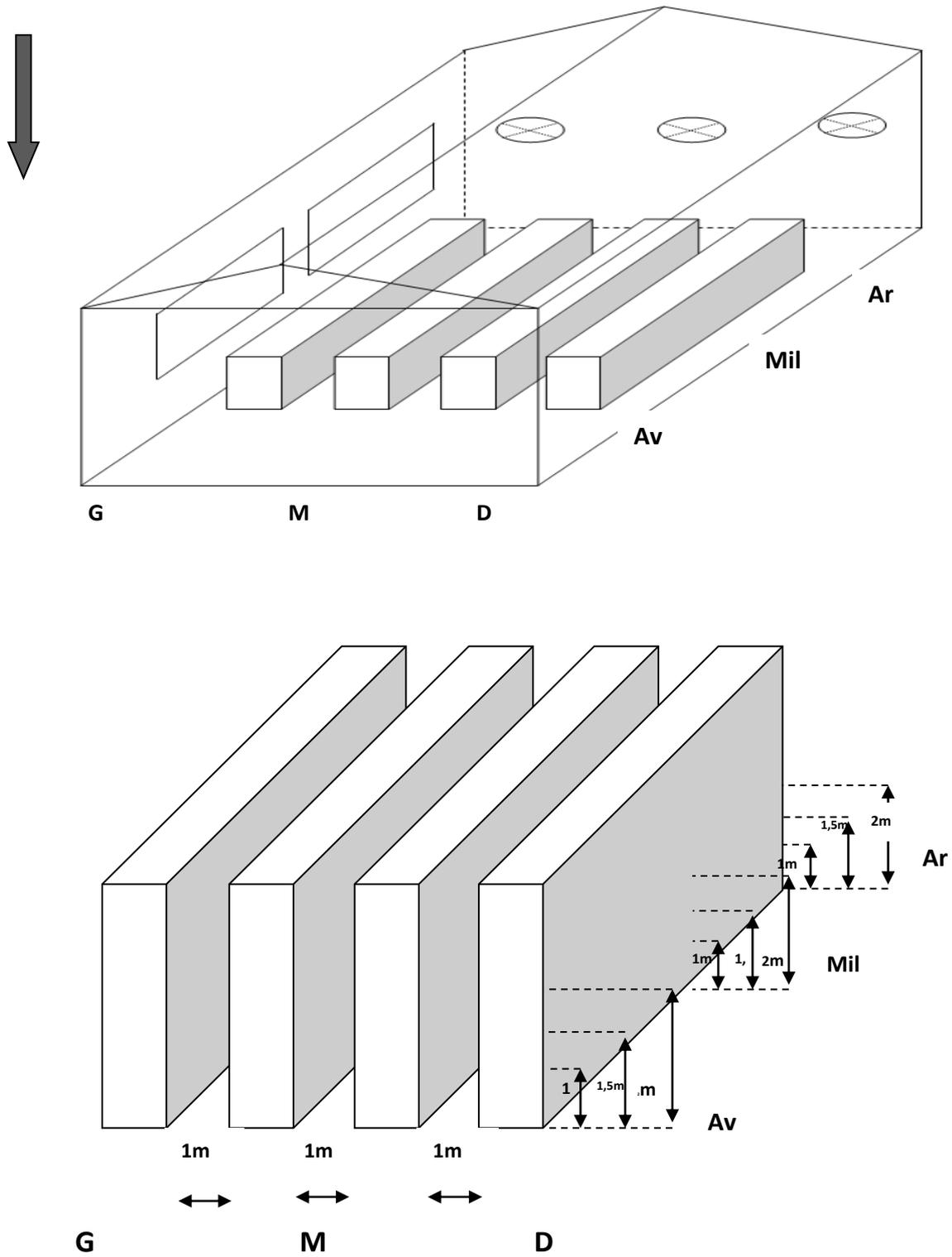


Figure 23. Schémas des positions des mesures effectuées dans le bâtiment.

3.2 Résultats

3.2.1 La distribution des paramètres du climat intérieur pour l'ensemble des bâtiments.

Les paramètres statistiques et les graphes des températures, des humidités relatives, HR, et de l'éclairage, mesurés dans l'ensemble des bâtiments sont présentés, respectivement, sur le (Tableau 13 et Figure 24).

3.2.1.1 Les Paramètres du climat pour tous les bâtiments

Tableau 13. Statistiques descriptives des paramètres moyens du climat intérieur pour l'ensemble des batiments.

	N nombre mesures	moyenne	médiane	min	max	étendue	Q1	Q3	Quartile étendue	Ecart type	asymétrie	Applatissement
Température (°C)	270	23,43	23,50	12,00	33,20	21,20	22,30	25,10	2,80	2,84	-0,64	1,58
Humidité relative (%)	270	56,02	56,80	32,40	81,10	48,70	47,60	65,00	17,40	12,56	-0,10	-,80
Eclairage (lux)	270	10,23	6,08	0,40	90,00	89,60	2,10	12,20	10,10	12,46	2,5	8,56

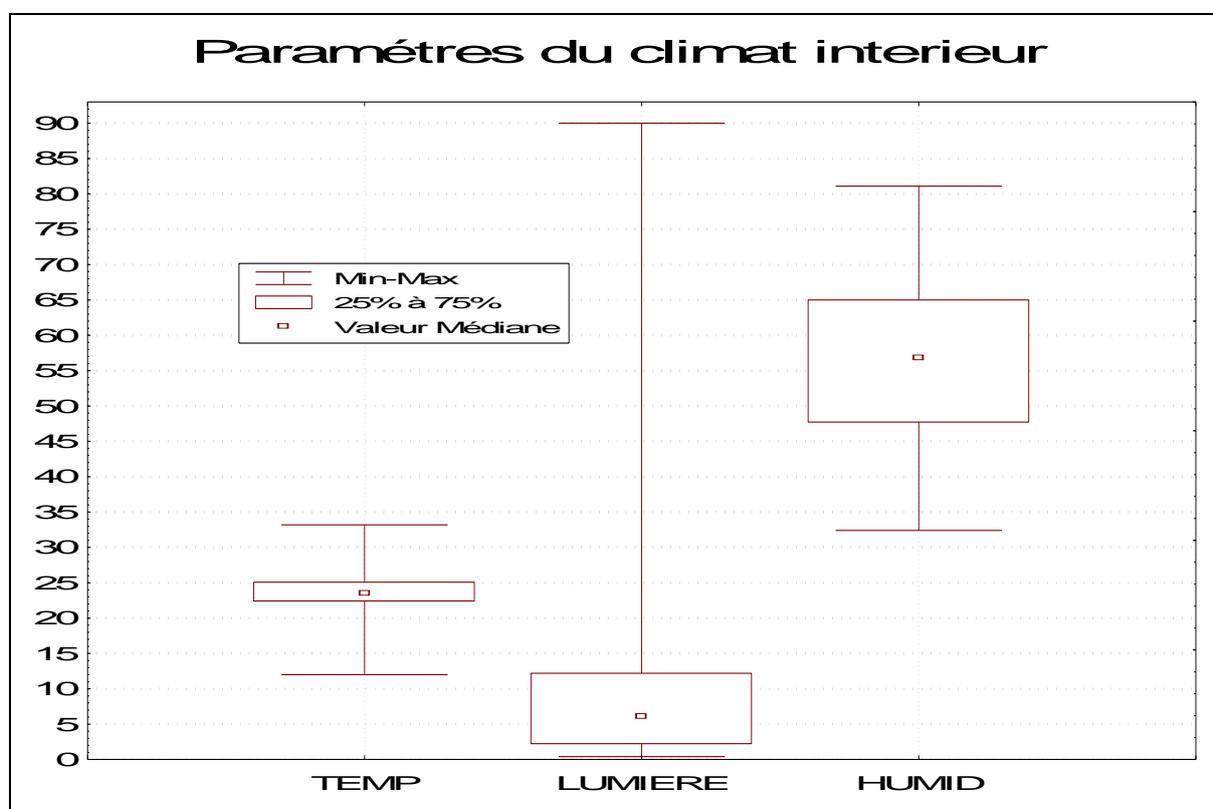


Figure 24. La distribution des températures (°C), des humidités relatives (HR%) et de l'éclairage (lux) dans l'ensemble des bâtiments

La température ($T^{\circ}C$)

En considérant le (Tableaux 13 et la Figures 24) on remarque que la température moyenne pour l'ensemble des bâtiments est de $23.43^{\circ}C$ avec une médiane de $23.50^{\circ}C$. Ces températures sont comprises entre 12 et $33.2^{\circ}C$ et ont un écart type, faible, de $2.84^{\circ}C$. Ces statistiques montrent que la température moyenne dans les élevages est hétérogène, elle fluctue, différemment, de 12 à $22.3^{\circ}C$ avec 25% des mesures, de 22.31 à $25.10^{\circ}C$ pour 50%, et de 25.11 à $33.2^{\circ}C$ pour 25% des mesures. 75% de ces dernières sont inférieures à $25.11^{\circ}C$.

L'humidité relative (HR, %)

On observe du (Tableau 13) une HR moyenne de 56.02%, une médiane de 56.80% et un écart type élevé de 12.56%. Ces informations montrent que HR est hétérogène, elle varie de 32.40 à 47.60% pour 25% des mesures, de 47.61 à 65% pour 50% et de 65.1 à 81.10% pour 25% des mesures. 75% des humidités sont inférieures à 65.1%. Donc, l'HR varie dans l'ensemble des bâtiments entre 32.40 à 81.10 %.

L'éclairage (lux)

Le (Tableau 13) montre que l'éclairage moyen est de 10.23 lux, une médiane de 6.08 lux et un écart type très élevé de 12.46 lux. Ce dernier montre qu'il y a une grande variabilité dans les mesures de la lumière, ainsi, 25% des mesures sont entre 0.4 et 2.10 lux, 50 % des mesures entre 2.11 et 12.20 lux et 25 % entre 12.21 et 90 lux. 75% des mesures sont inférieures à 12.21 lux.

Sur la (Figure 25) sont présentées, sous forme de boîte à moustaches, les distributions, longitudinales, transversales et selon les hauteurs des paramètres du climat intérieur, dans l'ensemble des bâtiments. La température est très variable le long, au travers et aux différentes hauteurs du bâtiment. Cette variabilité est observée, aussi bien pour l'humidité relative que pour la lumière et ceci pour les différentes positions (Av, Mil, Ar, G, M, D, 1m, 1.5m, 2m) des mesures. La température augmente de l'avant vers l'arrière, elle est, relativement, identique transversalement, elle fluctue à toutes les hauteurs et en particulier à 1m. L'humidité relative augmente de l'avant vers l'arrière avec une forte variation à l'arrière, transversalement elle est équivalente de gauche à droite, elle varie entre 32 et 80% aux différentes hauteurs. L'éclairage augmente de l'avant vers l'arrière et varie fortement à l'arrière, transversalement il est équivalent de gauche à droite, aux différentes hauteurs il est fortement fluctuant à 1 m.

Il en ressort que les paramètres du climat intérieur sont hétérogènes lorsqu'on considère l'ensemble des bâtiments étudiés.

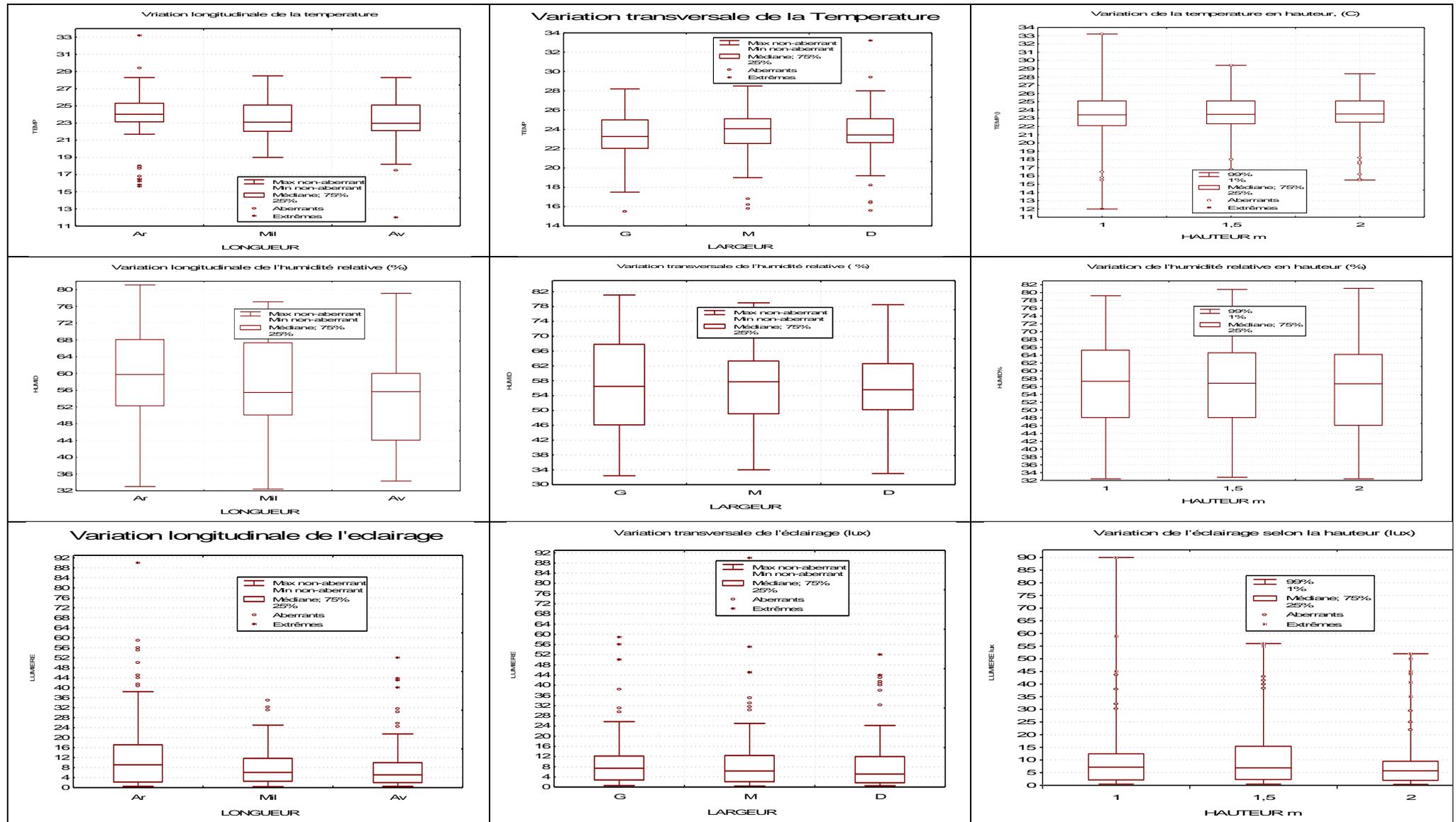


Figure 25. Distribution longitudinale, transversale et en hauteur des paramètres du climat intérieur dans l'ensemble des bâtiments.

3.2.1.2 Les relations entre les paramètres du climat et les autres variables

Afin de vérifier l'existence des effets conjugués des paramètres des climats internes et externes du bâtiment d'une part et de certains paramètres physiques du système d'élevage susceptibles d'interagir, d'autre part, nous avons calculé les corrélations et les régressions linéaires multiples entre ces différents paramètres (Tableaux 14 à 17).

Les régressions linéaires multiples

La prospection, dans l'analyse des données globales dans tous les bâtiments, pour déterminer les variables quantitatives susceptibles d'influer le climat interne, tels la TEMP_EXT, l'HUMID_EXT, la LUM_EXT, l'effectif des poules, EFFECT, et la durée de stockage des fientes, SEJ_FIENT, en nombre de jours, dans le bâtiment. Nous avons utilisé la régression linéaire multiple en procédant par élimination des variables non significatives. Le (Tableau 14) donne les corrélations significatives entre les variables considérées.

Tableau 14. Les Corrélations significatives entre les variables (marquées à $p < ,050$, $N=270$).

	TEMP	HUMID	LUM	EFFECT	SEJ_FIENT	TEMP_EXT	HUMID_EXT	LUM_EXT
TEMP	1,00							
HUMID	-,66	1,00						
LUM	,19	-,23	1,00					
EFFECT	-,28	,03	-,05	1,00				
SEJ_FIENT	-,38	,65	-,43	-,08	1,00			
TEMP_EXT	,59	-,33	-,04	-,62	,05	1,00		
HUMID_EXT	-,68	,77	-,03	,07	,48	-,56	1,00	
LUM_EXT	-,16	,11	-,26	-,17	-,06	,09	-,28	1,00

Dans ce qui suit nous nous intéressons seulement aux variables du climat interne.

a. La température interne (TEMP).

L'étude de la régression linéaire multiple de la variable TEMP, pour l'ensemble des valeurs des températures au niveau de tous les bâtiments, a donné une analyse de la variance de la régression multiple significative, ($p=0.00$), est une synthèse de la régression avec des prédictors significatifs (Tableau 15), EFFECTIF ($p=0.000$), SEJ_FIENTE ($p=0.014$), HUMID_EXT ($p=0.000$), LUM_EXT ($p=0.000$).

Ainsi, nous déduisons que le modèle de prédiction de la température interne, TEMP, dans tous les bâtiments étudiés est l'équation, Eq (27). Le coefficient de détermination de cette équation, $R^2=0.69$, montre que le modèle explique la variabilité de la température à 69%.

Tableau 15. Synthèse de la régression linéaire multiple de la variable dépendante température interne (TEMP).

R= ,83 F(4,265)=146,61		R²= ,69 p<0,0000		R² Ajusté= ,68 Err-Type de l'Estim.: 1,5952		
predicteurs, N=270	beta	Erreur typ beta	B	Erreur typ B	T (262)	Niveau p
			66,5593	3,83	17,37	,000000
EFFECTIF	-,31	,04	-,3197	,04	-8,79	,000000
SEJ_FIENT	-,08	,04	-,2193	,11	-2,04	,041898
HUMID_EXT	-,74	,04	-,1648	,01	-18,06	0,000000
LUM_EXT	-,42	,04	-,0004	,00	-11,66	,000000

L'équation de la régression linéaire multiple est :

$$\text{TEMP} = 66.56 - 0.32\text{EFFECTIF} - 0.22\text{SEJ_FIENT} - 0.16\text{HUMID_EXT} - 0.0004\text{LUM_EXT}$$

$$R = 0.83 \quad \text{Eq (27).}$$

b. L'humidité relative interne (HUMID).

L'étude de la régression linéaire multiple de la variable HUMID, pour l'ensemble des valeurs des humidités relatives au niveau de tous les bâtiments, a donné une analyse de la variance de la régression multiple significative, ($p=0.00$), et une synthèse de la régression avec des prédicteurs significatifs (Tableau 16), EFFECTIF($p=0.00000$), SEJ_FIENTE ($p=0.00000$), TEMP_EXT ($p=0.00000$), HUMID_EXT ($p=0.00000$), LUM_EXT ($p=0.00000$). Ainsi, nous avons déduit que le modèle de prédiction de l'humidité relative interne, HUMID, dans tous les dix bâtiments étudiés est donné par l'équation, Eq (28). Le coefficient de détermination de cette équation, $R^2=0.82$, montre que le modèle explique la variabilité de l'humidité relative à 82%.

Tableau 16. Synthèse régression multiple de la variable dépendante Humidité relative interne (HUMID).

R= ,91 F(5,264)=248,43		R²= ,82 p<0,0000		R² Ajusté= ,82 Err-Type de l'Estim.: 5,3096		
predicteurs, N=270	beta	Erreur typ beta	B	Erreur typ B	T (262)	Niveau p
			-132,697	23,953	-5,540	,000000
EFFECTIF	,233	,040	1,071	,185	5,790	,000000
SEJ_FIENT	,245	,035	2,942	,420	7,007	,000000
TEMP_EXT	,284	,054	,898	,170	5,298	,000000
HUMI_EXT	,910	,050	,899	,050	18,113	,000000
LUM_EXT	,395	,029	,002	,000	13,640	,000000

L'équation de régression linéaire multiple est :

$$\text{HUMID} = -132,697 + 1,071\text{EFFECT} + 2,942\text{SEJ_FIENT} + 0,898\text{TEMP_EXT} + 0,899\text{HUMID_EXT} + 0,002\text{LUM_EXT}$$

$$R = 0.91 \quad \text{Eq (28).}$$

c. L'éclairage (LUM)

L'Etude de la régression linéaire multiple de la variable LUM, pour l'ensemble des valeurs de la luminosité au niveau de tous les bâtiments, a donné une analyse de la variance, de la régression linéaire multiple significative, ($p=0.0000$) et une synthèse, de la régression avec des prédictors significatifs, (Tableau 17), SEJ_FIENTE ($p=0.000000$), LUM_EXT ($p=0.00003$), HUMID_EXT ($p=0.00076$), TEMP_EXT ($p=0.014$). De ce fait, le modèle de prédiction de l'éclairage interne dans tous les bâtiments étudiés est donné par l'équation, Eq (29). Le coefficient de détermination de cette équation, $R^2=0.29$, montre que le modèle explique la variabilité de l'éclairage à 29%.

Lorsqu'on élimine par étape les variables non significatives on obtient ce qui suit.

Tableau 17. Synthèse régression multiple de la variable dépendante éclairage (LUM).

predicteurs, N=270	R= 0,54	R²= 0,29		R² Ajusté= 0,28			
	F(4,265)=27,790	beta	Errer typ beta	B	Errer typ B	T (262)	Niveau p
				1,2700	7,898	,161	,872372
SEJ_FIENT	-,587	,066		-6,9962	,787	-8,893	,000000
TEMP_EXT	,173	,070		,5446	,220	2,473	,014042
HUMI_EXT	,282	,083		,2766	,081	3,405	,000764
LUM_EXT	-,231	,054		-,0009	,000	-4,243	,000030

L'équation de régression linéaire multiple est :

$$\text{LUM} = 1.27 - 6,996\text{SEJ_FIENT} + 0,544\text{TEMP_EXT} + 0,276\text{HUMID_EXT} - 0,009\text{LUM_EXT}$$

$$R=0,54 \quad \text{Eq (29).}$$

3.2.2 La distribution des paramètres du climat intérieur pour chaque bâtiment.

Les résultats du traitement statistique des mesures des températures, des humidités relatives et de la lumière par bâtiment sont présentés dans le (Tableau 18, 19 et 20) et sous forme de boîte à moustaches pour la distribution de ces paramètres dans chaque bâtiment, (Figure 26, 27 et 28). En (Annexe 06a et 06b, 07a et 07b et 08a et 08b) nous présentons la variation surfacique dans chaque bâtiment d'une part et une distribution longitudinale par bâtiment sous forme de

boite à moustaches d'autre part. Les valeurs qui ont permis de réaliser la distribution surfacique, pour chacun des paramètres, sont les moyennes obtenues aux différentes hauteurs pour chaque position et celles qui ont permis de réaliser la distribution longitudinale sont les moyennes, des mesures aux différentes hauteurs et positions transversales, gauche, G, milieu, M et droite, D.

Les températures (T°C)

L'étude du (Tableau 18 et de la Figure 26) montrent que les températures moyennes, dans les différents bâtiments, sont comprises entre 22.4 et 27.5°C pour 70% des élevages. Les étendues des températures mesurées sont inférieures à 3.20°C dans 80% des bâtiments. L'étendue interquartile est inférieure à 1.4°C pour 70% des dix bâtiments. De ce fait, nous pouvons dire que les températures dans les bâtiments de notre étude sont relativement hétérogènes et sont comprises entre 22.4 et 27.5°C.

La distribution de la température surfacique (Annexe 7a et b) est différente dans les bâtiments étudiés. Cependant, nous constatons des ressemblances entre certains bâtiments tels que :

- Les bâtiments, 6, 7, 10, où la température est relativement homogène le long, au milieu et de l'arrière vers l'avant de celui-ci. Il est à signaler que la température diminue à l'arrière aux coins, à gauche au bâtiment 7 et à droite dans le bâtiment 10, et à l'avant à droite au bâtiment 6.
- Dans les bâtiments 1, 2, 3, 4, 5 nous observons que la température diminue sur les cotés gauches et / ou droits et qui peu atteindre le milieu du bâtiment. Ce phénomène est plus net dans les bâtiments 1, 3, 5 où la température est plus élevée à l'avant et l'arrière.
- Les bâtiments 7 et 8 se distinguent des autres, pour le premier la température est basse sauf à l'arrière aux cotés droit et gauche du bâtiment, pour le bâtiment 8 la température est plus élevée de l'avant gauche vers le milieu droit avec des températures basses à l'arrière coté gauche.

Dans 60% des bâtiments la température est plus élevée à l'arrière qu'à l'avant.

En considérant la distribution longitudinale, (Annexe 6a et b) des températures dans chaque bâtiment, nous constatons que celle-ci augmente de l'avant (Av) vers l'arrière (Ar) du bâtiment (1, 3, 4, 5, 7, 9 et 10) ce qui représente 70% des élevages ; pour les bâtiments 2, 6, 8 elle diminue de l'avant (Av) vers l'arrière (Ar).

L'analyse de la variance montre qu'il existe des différences significatives de température entre les différents bâtiments ($F(9, 260)$; $p=0.000$).

Tableau 18. Les paramètres statistiques des températures selon les bâtiments.

Bâtiments	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Q1	Q3	Etendue	Q etend	Ecart typ	assym	aplatti
1	27	24,90	25,00	24,20	25,60	24,60	25,10	1,40	,50	,39	-,29	-,72
2	27	25,34	25,20	23,20	29,40	24,90	25,40	6,20	,50	1,14	1,72	5,89
3	27	1,50	1,50	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	,42	,00	-1,56
4	27	22,93	23,00	21,20	24,00	22,40	23,40	2,80	1,00	,71	-,40	-,28
5	27	23,93	23,40	20,60	33,20	23,10	24,80	12,60	1,70	2,17	2,97	13,32
6	27	27,53	27,70	25,20	28,50	27,00	28,10	3,30	1,10	,83	-1,14	,94
7	27	21,80	22,40	17,50	23,50	21,40	22,80	6,00	1,40	1,70	-1,39	1,01
8	27	17,81	18,20	12,00	20,50	16,20	19,30	8,50	3,10	2,02	-,94	,85
9	27	25,20	25,10	24,10	27,00	24,70	25,50	2,90	,80	,78	1,14	1,27
10	27	22,50	22,60	20,30	23,50	22,07	23,05	3,20	,98	,79	-1,36	2,04

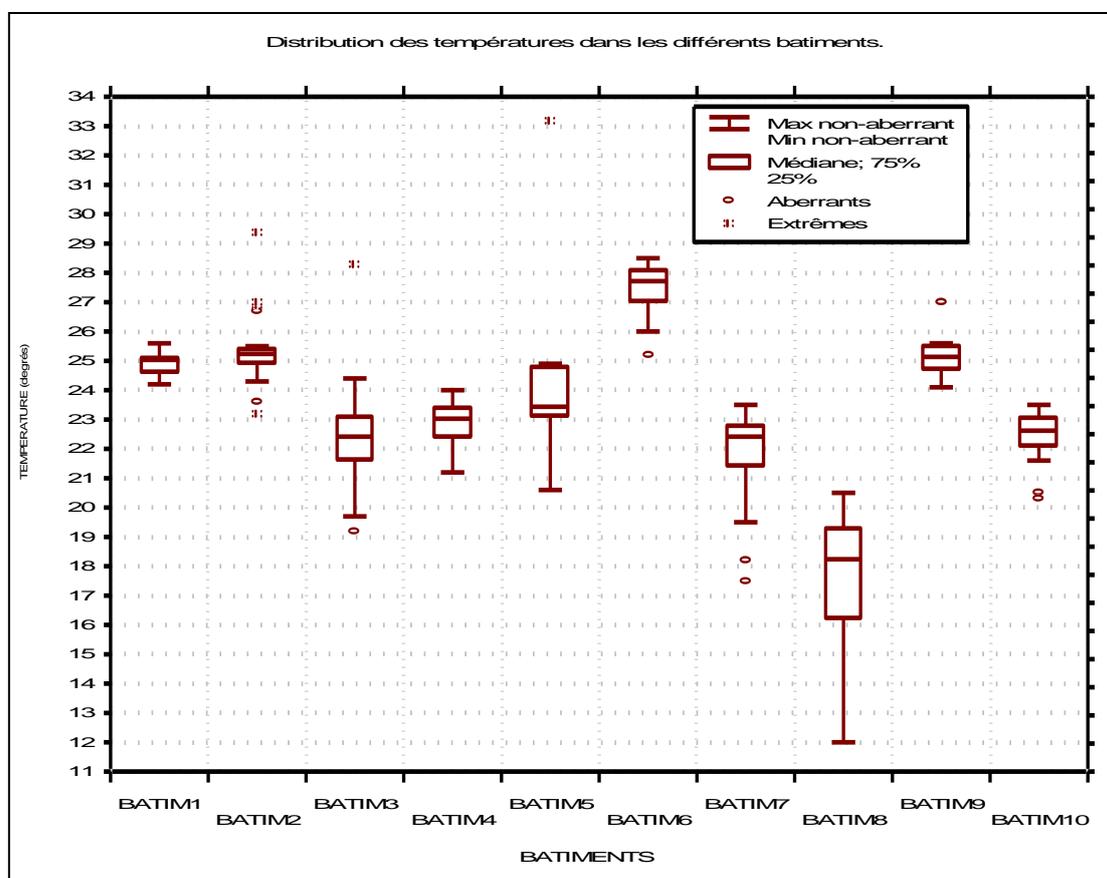


Figure 26. La distribution des températures intérieures dans chaque bâtiment.

L'humidité relative (HR).

L'étude du (Tableau 19 et de la Figure 27) montre que la moyenne de l'humidité relative est entre 36.14 et 75,55%, elle est inférieure à 64% pour 80% des bâtiments. Les valeurs minimales sont supérieures à 32.% dans 100% des cas et les maximales entre 41 et 75.5% pour 90% des cas ; l'étendue varie entre 8 et 21.6% dans 90% des cas, c'est à dire une fluctuation dans un intervalle 14%. Les valeurs, 50%, interquartiles (Q1, Q3) sont comprises entre 34.60 et 78.50% avec une étendue (Q étendue) variant de 2.70 et 9.60% chez 80% des cas, et est inférieure à 6% dans 60% des cas. L'écart type est faible et inférieur à 5.5 chez 80% des élevages.

Donc, nous déduisons que les humidités relatives dans les bâtiments de notre étude varient entre 32 et 75.5% dans 90% des bâtiments, avec un écart type petit, et fluctuent dans un intervalle de 10%.

La distribution des HR surfaciques n'est pas la même dans les différents bâtiments. Cependant, nous observons des similitudes entre certains bâtiments. Ainsi, en analysant les graphes (Annexe 7a et b) nous constatons que l'humidité relative est plus élevée à l'arrière qu'à l'avant, bâtiments 3 et 6, ce phénomène s'inverse de l'avant vers l'arrière progressivement, bâtiment 5, vers la gauche bâtiment 10, vers la droite au bâtiment 1 et d'une manière nette dans le bâtiment 4. Il fait moins humide à gauche, dans les bâtiments 2 et 8, et il fait plus humide du coté gauche du bâtiment 7 et du coté droit au bâtiment 9. On constate que la distribution surfacique de l'humidité relative dans les bâtiments est hétérogène avec une tendance d'une élévation de l'humidité de l'avant vers l'arrière dans 60% des bâtiments.

Les graphes de la distribution longitudinale montrent que celle-ci augmente de l'avant (Av) vers l'arrière (Ar) des bâtiments dans 70 % des cas, elle est plus étendue au milieu des bâtiments (Annexe 7a et b) pour 60% des élevages.

L'analyse de la variance montre qu'il existe des différences significatives des humidités relatives entre les différents bâtiments ($F=9,260$; $p=0.000$).

Nous concluons que l'humidité relative est variable dans les bâtiments de notre étude augmente de l'avant vers l'arrière dans 60 % des cas.

Tableau 19. Les paramètres Statistiques des humidités relatives selon les bâtiments.

Batiments	N	moy	med	min	max	Q1	Q3	étendu	Q etend	Ecart typ	assym	aplati
1	27	54,50	53,80	50,60	60,00	53,10	55,80	9,40	2,70	2,34	,38	-,01
2	27	38,96	39,50	32,40	45,30	37,60	42,20	12,90	4,60	3,55	-,33	-,47
3	27	65,95	68,10	55,80	77,40	58,30	70,70	21,60	12,40	6,73	-,29	-1,23
4	27	60,24	60,20	50,20	67,80	58,30	61,80	17,60	3,50	3,41	-,36	2,44
5	27	63,71	64,20	56,60	69,00	60,50	66,00	12,40	5,50	3,41	-,17	-,96
6	27	48,15	48,00	40,00	57,70	43,40	52,20	17,70	8,80	5,22	-,00	-,95
7	27	62,25	63,30	50,10	75,50	52,60	70,00	25,40	17,40	8,46	,04	-1,30
8	27	75,55	77,10	61,30	81,10	72,80	78,50	19,80	5,70	4,373	-1,53	3,02
9	27	36,14	35,10	33,00	41,00	34,60	38,70	8,00	4,10	2,29	,67	-,88
10	27	54,78	54,09	45,50	62,70	50,40	60,00	17,20	9,60	4,86	,05	-1,02

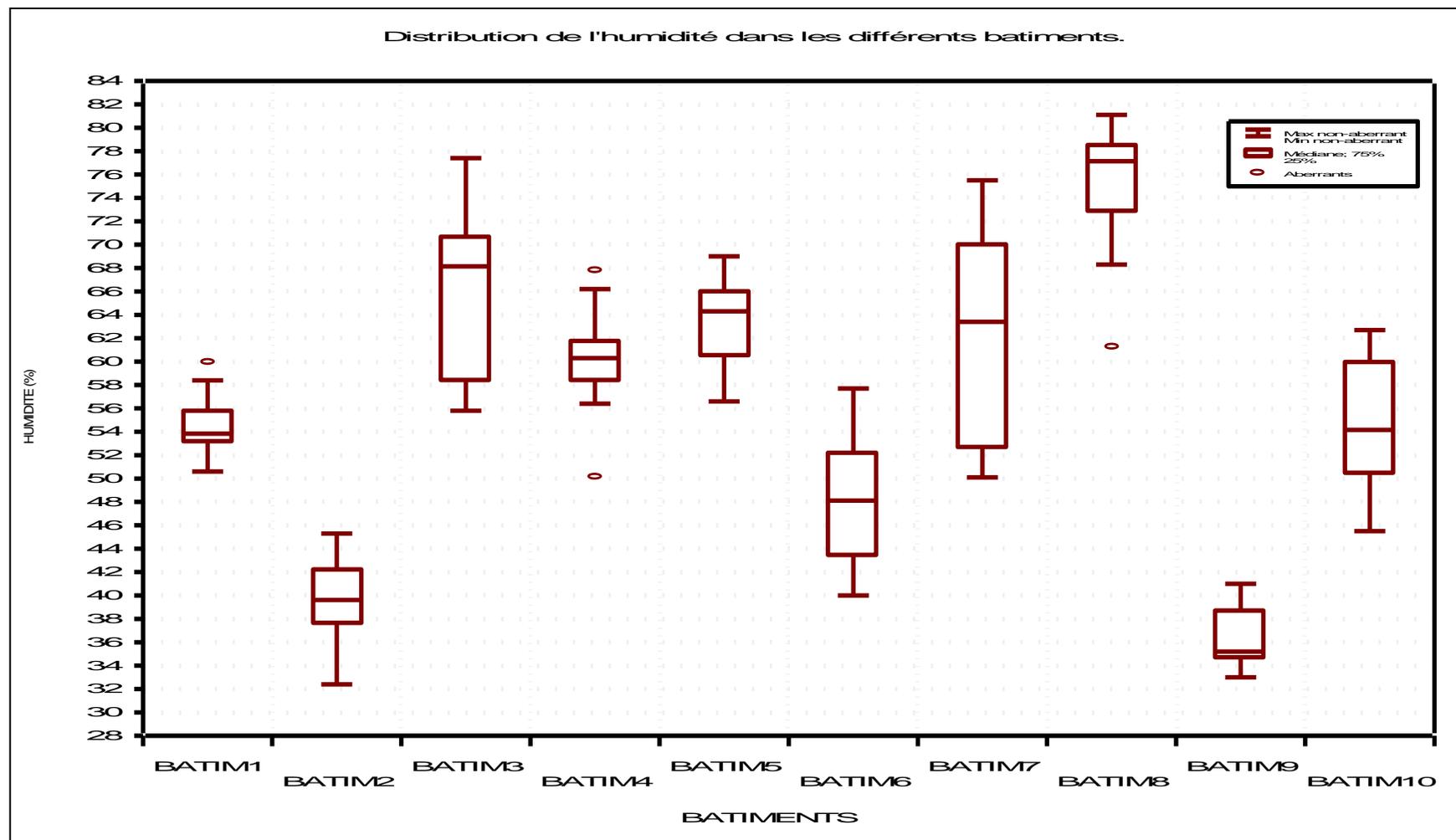


Figure 27. La distribution des humidités relatives dans chaque bâtiment.

L'éclairage (lux)

Des résultats du (Tableau 20 et de la Figure 28) nous constatons que la moyenne de l'éclairage est entre 0.76 et 26.77 lux avec des écarts types, élevés et variables, compris entre 0.41 et 19.31lux. Cette luminosité est comprise 0.40 et 90 lux avec des étendues, importantes, et très variables comprises entre 1.4 et 84.4 lux. L'étendue interquartile, très variable, est comprise entre 0,5 et 11 lux dans 80% des bâtiments. 75% des valeurs mesurées sont inférieures à 23.10 lux chez 90% des éleveurs. On constate de par, les écarts types élevés, les étendues importantes et de grandes étendues interquartiles, que les valeurs de la luminosité varient, sauf dans les bâtiments 3 et 7 où elles sont très faibles et homogènes.

Ainsi, nous déduisons que l'éclairage, dans les bâtiments de notre étude, varie beaucoup avec de forte amplitude, ce qui nous permet de dire que l'éclairage dans les différents bâtiments est très hétérogène.

La distribution surfacique de la lumière n'est pas la même dans tous les bâtiments. Cependant, il y a des bâtiments qui présentent des ressemblances. Ainsi, l'éclairage croît de l'avant vers l'arrière dans 50% des bâtiments (1, 2, 7, 8, 9), constant dans 20% des bâtiments (4 et 6), variable dans 20% des bâtiments (3 et 10) et dans le bâtiment 5 il est faible au milieu, et élevée à l'avant et à l'arrière.

La distribution longitudinale de la lumière au sein des bâtiments n'est pas homogène (ANNEXE 8a et b). La lumière augmente de l'avant (Av) vers l'arrière (Ar) dans les bâtiments 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, ce qui correspond à 70% des cas, elle est constante dans le bâtiment 6, et est importante à l'avant (Av) et à l'arrière (Ar) pour le 5, enfin, elle diminue de l'avant vers l'arrière dans le bâtiment 4.

L'analyse de la variance montre qu'il existe des différences significatives d'éclairage entre les différents bâtiments ($F= 9,260$; $p=0.00000$).

Tableau 20. Les Paramètres Statistiques de l'éclairage selon les bâtiments.

Batiments	N	moy	med	min	max	Q1	Q3	etend	Q etend	Ecart typ	assym	aplati
1	27	26,77	24,40	5,60	90,00	11,70	40,00	84,40	28,30	19,31	1,40	2,90
2	27	8,59	6,30	2,10	18,00	3,40	13,40	15,90	10,00	5,64	,54	-1,19
3	27	22,41	22,40	19,20	28,30	21,60	23,10	9,10	1,50	1,76	1,05	4,13
4	27	,76	,60	,40	1,80	0,50	1,00	1,40	,50	,41	1,53	1,11
5	27	12,90	10,00	4,60	31,60	7,40	17,50	27,00	10,10	7,62	1,07	,45
6	27	7,31	5,60	,80	21,80	2,50	9,50	21,00	7,00	6,10	1,17	,56
7	27	1,79	1,70	1,00	3,00	1,40	2,10	2,00	,70	,51	,55	-,32
8	27	5,79	5,00	1,60	12,50	3,00	8,00	10,90	5,00	3,191	,58	-,72
9	27	17,57	12,00	1,40	58,90	5,80	22,00	57,50	16,20	17,08	1,38	,76
10	27	16,82	12,00	5,04	52,00	8,80	18,05	46,96	9,25	12,59	1,57	1,57

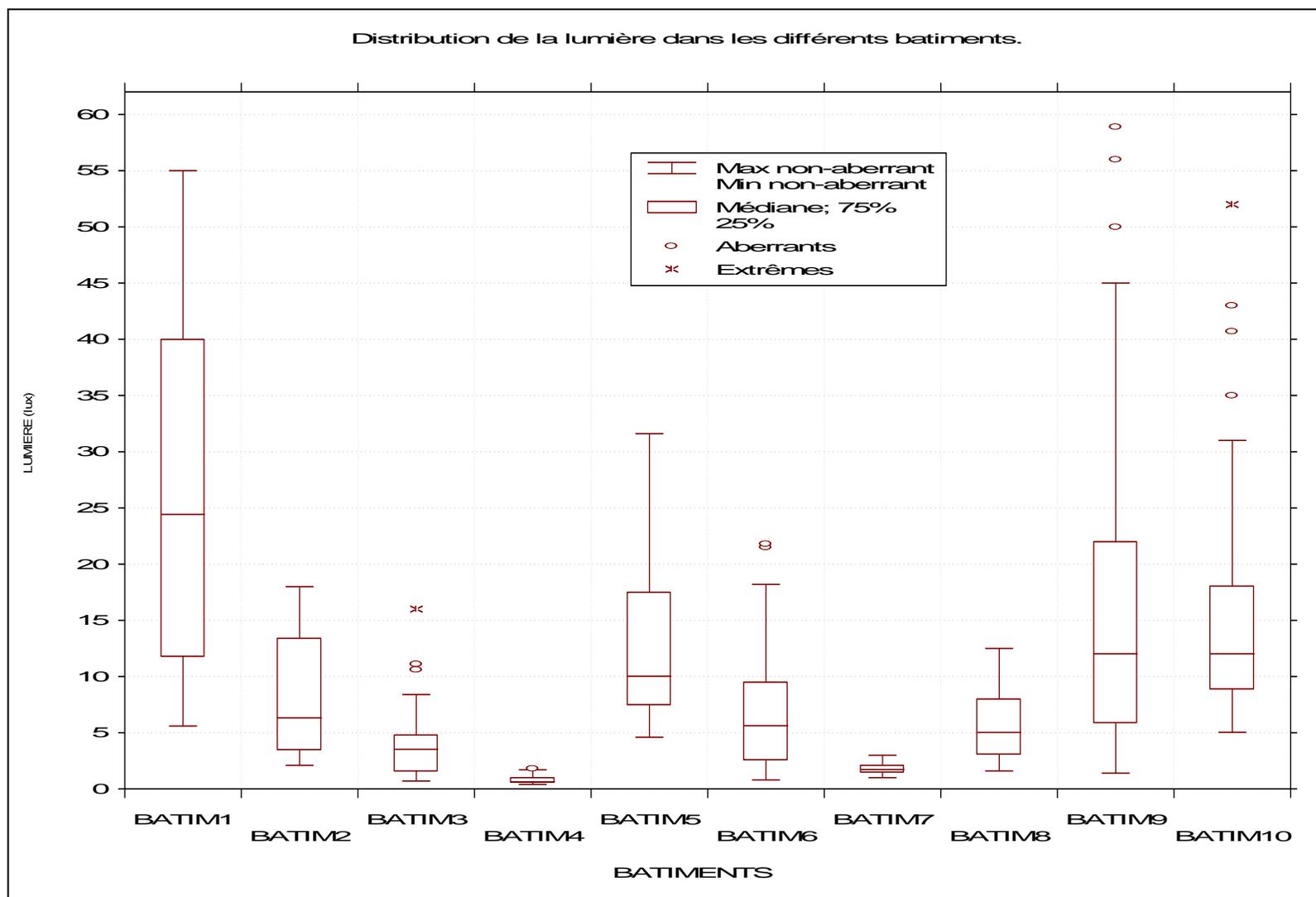


Figure 28. La distribution de la lumière intérieure dans chaque bâtiment.

3.3 Discussion

3.3.1 La distribution des paramètres du climat intérieur pour l'ensemble des bâtiments

L'analyse des mesures paramètres du climat interne, dans l'ensemble des bâtiments, montre que la température, l'humidité relative et l'éclairage interne augmentent, longitudinalement, de l'avant vers l'arrière, ils sont relativement constants, transversalement, de la gauche à la droite ; ils fluctuent fortement aux trois hauteurs et en particulier à la hauteur égale à 1m.

Il en ressort que les paramètres du climat intérieur sont hétérogènes dans les bâtiments étudiés.

3.3.2 Relation entre les paramètres du climat et d'autres variables

L'analyse de la régression linéaire multiple a permis de montrer que :

- Les deux paramètres du climat intérieur TEMP et HUMID sont prédictibles par les variables HUMI_EXT, LUM_EXT, EFFECT et SEJ_FIENT pour le premier et par TEMP_EXT, HUMID_EXT, LUM_EXT, EFFECT et SEJ_FIENT pour le second.
- Le modèle de prédiction de la température intérieure, TEMP, est hautement significatif ($p=0.0000$, $R^2= 0.69$), il explique 69% de la variabilité de la température dans les bâtiments.
- Le modèle de prédiction de l'humidité relative intérieure, HUMID, est très hautement significatif ($p=0.0000$, $R^2= 0.83$), il explique 83% de la variabilité de l'humidité relative dans les bâtiments.

Les prédicteurs n'ont pas la même influence lorsqu'ils sont considérés en même temps, leur poids diffère dans le modèle, celui de l'effectif et de la durée de stockage est important.

Le model de l'éclairage est un non sens du fait qu'on ne voit pas comment la lumière interne peu être reliaer à la température et à l'humidité externe d'une part et la durée de séjour des fientes dans le bâtiment d'autre part. D'ailleurs les corrélations bien que significatives restent très faibles (Tableau 14).

3.3.3 La distribution des paramètres du climat intérieur pour chaque bâtiment

Les températures (T°C)

90% des bâtiments ont une température moyenne entre 17.81 et 27.53°C, elle est supérieure à 22.4°C pour 70% des cas. Donc, nous pouvons dire que les températures dans les bâtiments de l'étude sont relativement homogènes et sont comprises entre 22.4 et 27.5°C ce qui est conforme à ce qui est rapporté par la littérature. Pour (Zhao et al, 2015), la température

moyenne dans les cages conventionnelles était de 24,6°C, selon (Prodanov et al, 2016), la température optimale recommandée dans les bâtiments est de 18°C. Chez (Cavalchini et al, 1990), habituellement, la température corporelle est maintenue (reste constante) lorsque la température ambiante est de 26 à 27°C. Cependant, les températures dans les élevages ne sont pas constantes elles varient, de 15 à 20°C (Jácome et al, 2014), pour (Prodanov et al, 2016), elle se situe entre 15,31 et 25,6°C, selon (Talukder et al, 2010), elle est plus tolérable pour la poule pondeuse entre 15 à 27°C, chez (Gutiérrez-Zapata et al, 2016), elle est la plus élevée le matin de 21 à 23°C et fraîche; le soir ou tôt le matin et oscillait entre 14 et 16°C . Pour (Kilic et al, 2014), elle variait de 16,80 à 34,71 °C. Cette variation est observée dans nos travaux au travers de l'étude surfacique de la température qui relève, une diminution de celle-ci sur les cotés gauches et / ou droits et une augmentation de l'avant vers l'arrière dans 60% des bâtiments et la distribution longitudinale confirme cette tendance dans 70% des bâtiments. L'écart de température dans un bâtiment dépend des hauteurs de la batterie et du débit d'air dans celui-ci (Prodanov et al, 2016).

La température dans un bâtiment dépend de son environnement en l'occurrence, les échanges des masses d'air, avec l'extérieur, par les différentes parois (murs, sol et toiture) non isolées et par les extracteurs sans volets et les humidificateurs lorsqu'ils ne fonctionnent pas. Aussi par le dégagement de chaleur par les poules et lors de la décomposition des fientes.

L'humidité relative (HR)

L'analyse de la variance montre qu'il existe des différences significatives entre les humidités relatives moyennes des différents bâtiments ((F=9,260) ; p=0.000).

La moyenne de l'humidité relative est entre 36.14 et 75,55%, elle est inférieure à 64% pour 80% des bâtiments. Les valeurs minimales sont supérieures à 32.% dans 100% des cas et les maximales entre 41 et 75.5% pour 90% des cas ; L'écart type est faible et inférieur à 5.5 chez 80% des élevages. Nous déduisons que l'humidité relative dans les bâtiments de notre étude varie entre 32 et 75.5% dans 90% des bâtiments, elle est très proche, si non similaire, à celle donnée par plusieurs auteurs. (Prodanov et al, 2016), conseille que l'humidité relative optimale dans les poulaillers de pondeuses doit être entre 50 et 70%. Pour (Kocaman et al, 2006), la dynamique de l'air en interaction avec la gestion et l'activité des animaux fait varier l'humidité relative entre 34,60% et 85% et que l'optimale devrait se situer entre 60 et 70%. Les résultats de (Prodanov et al, 2016), donnent une humidité relative comprise entre 48,03% et 81,12% avec l'écart type maximum de 4,89%. Les travaux de (Kilic et al, 2014), montrent que l'humidité relative varie de 34,60% à 86,18% ; les humidités relatives de l'air intérieur

diurne et nocturne étaient respectivement de 59 et 69%. Enfin, (Gutiérrez-Zapata et al, 2016), précise que l'humidité moyenne varie de 61 à 67% durant la journée et oscillait entre 83 à 85% pendant les heures fraîches; le soir ou tôt le matin. Ces auteurs n'expliquent pas les différents intervalles de variation de l'humidité relative, dans les élevages de leurs études, qui sont de 2% pendant le soir et 6% lors de la journée (Gutiérrez-Zapata et al, 2016), 10% (Kocaman et al, 2006), 20% et 31% (Prodanov et al, 2016), 50% (Kocaman et al, 2006) et 52% (Kilic et al, 2014). Alors que les résultats de notre étude apportent une explication assez éclairée. Car on constate que la distribution surfacique de l'humidité relative dans les bâtiments est hétérogène avec une diminution de l'humidité de l'arrière vers l'avant dans 60% des bâtiments. La distribution longitudinale des HR, confirme cette tendance, montre qu'elle augmente de l'avant (Av) vers l'arrière (Ar) des bâtiments dans 70 % des cas, elle est plus étendue au milieu des bâtiments pour 60% des élevages.

Nous considérons que cette variabilité est causée en partie par la mauvaise isolation et aux extracteurs sans volets et humidificateurs lorsqu'ils ne fonctionnent pas deviennent source de mouvement d'air qui crée des échanges entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur.

L'éclairage (lux)

L'analyse de la variance montre qu'il existe des différences significatives entre les moyennes d'éclairage des différents bâtiments ($F(9,260)$, $p=0.00000$). L'éclairage mesuré dans les bâtiments est entre 0.40 et 90 lux, la moyenne est entre 0.76 et 26.77 lux et les écarts types entre 0.41 et 19.31 lux. 75% des valeurs mesurées sont inférieures à 23.10 lux et 25% inférieures à 11.7lux chez 90% des éleveurs. L'éclairage dans les bâtiments de notre étude varie beaucoup avec de forte amplitude, ce qui nous permet de dire qu'il est très hétérogène. Ainsi, l'éclairage dans les élevages de l'étude n'est pas en conformité avec ce que préconise la littérature. Celle-ci donne des références de luminance, à observer, très différentes de celles que nous avons obtenues. (Cavalchini et al, 1990), préconise au moins 10 lux de lumière pour une bonne activité de reproduction de la poule. Les résultats de (Prodanov et al, 2016), montrent que la luminance était entre 1,83 et 28,25 lux et l'intensité lumineuse minimale requis pour la production maximale d'œufs chez (Jácome et al, 2014), est de 5,38 lux dans les bâtiments d'élevage sombres et de 10 lux, dans ceux ouverts ; au delà de cette dernière il y a diminution de la production et augmentation d'agressivité des poules. (Renema et al, 2001), donne un seuil minimum de rentabilité à 5 lux, pour Olanrewaju et al, 2006, elle varie entre 0.5 et 12 lux, (Patel et al, 2016), préconise un éclairage à l'âge adulte de 10 lux et au deçà de 5 lux il y a risque de dégénérescence de la rétine de l'œil de la poule, (Liu et al, 2018),

suggère une intensité de 10 lux avec un seuil max de 25 lux au delà duquel il y a agressivité des sujets. L'intervalle de la variation de l'intensité lumineuse est entre 16 et 23 lux pour (Gunnarsson a et al, 2008), et de 20 et 25 lux selon (El-Sagheer et al, 2006).

La distribution surfacique de la lumière n'est pas la même dans tous les bâtiments. Ainsi, l'éclairage, augmente de l'avant vers l'arrière, au minimum, dans 50% des bâtiments, il est bas tout le long ou au milieu et élevée sur les cotés dans 30% des cas. La distribution longitudinale de la lumière au sein des bâtiments n'est pas homogène, elle augmente de l'avant (Av) vers l'arrière (Ar) dans 70% des cas.

Nous considérons que la variabilité de la luminosité dans les bâtiments est causée en partie par la mauvaise isolation des bâtiments et aux équipements, principalement les extracteurs sans volets qui facilitent à la lumière d'accéder de l'extérieur vers l'intérieur du bâtiment et d'augmenter l'éclairage à l'arrière. Le manque de nettoyage des ampoules, empoussiérées, diminue l'éclairage des bâtiments.

Conclusion

Les paramètres du climat intérieur mesurés dans les bâtiments étudiés sont hétérogènes dans l'ensemble des bâtiments. Cette variabilité est observée, aussi bien pour la température, l'humidité relative que pour la lumière et ceci pour les différentes positions des mesures : Avant, Milieu, Arrière, Gauche, Milieu, Droite, 1m, 1.5m et 2m.

Les températures dans les bâtiments de l'étude sont comprises entre 22.4 et 27.5°C. L'étude surfacique de la température révèle, une diminution de celle-ci sur les cotés gauches et / ou droits et une augmentation de l'avant vers l'arrière dans 60% des bâtiments. Ce que confirme la distribution longitudinale qui montre que la température augmente de l'avant vers l'arrière dans 70% des bâtiments.

Les humidités relatives mesurées dans ces bâtiments varient entre 32 et 75.5% dans 90% des bâtiments. Parallèlement, leur distribution surfacique est hétérogène avec une diminution de l'humidité de l'arrière vers l'avant dans 60% des bâtiments.

Quant à l'intensité de l'éclairage, comprise entre 0.40 et 90 lux, elle varie beaucoup avec de forte amplitude. En effet, sa distribution surfacique n'est pas la même dans tous les bâtiments. Ainsi, l'éclairage, augmente de l'avant vers l'arrière dans 50% des bâtiments. De même, la distribution longitudinale de la lumière au sein des bâtiments n'est pas homogène.

L'aspect hétérogène du climat interne des bâtiments vérifié dans ce chapitre, appuie le fait que les structures d'élevage de la région sont de caractère modeste et ne peuvent pas offrir des

conditions homogènes en tout point du bâtiment. Déterminant de la sorte, des paramètres irréguliers qui conditionnent la formation aléatoire des polluants au sein des bâtiments et rendent difficile leur maîtrise.

References bibliographiques

- Bruce David, Cecilie Mejdell, Virginie Michel, Vonne Lund : and Randi Oppermann Moe, 2015, Air Quality in Alternative Housing Systems May Have an Impact on Laying Hen Welfare. Part II—AmmoniaAnimals, 5, 886-896.
- Cavalchini, L.G., Cerolini S., Mariani, R., 1990. Environmental influences on laying hens production. In : Sauveur B. (ed.). L'aviculture en Méditerranée. Montpellier : CIHEAM, p. 153-172 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n . 7).
- El-Sagheer, M., Hassanein, H.H., 2006. Productive performance of Bovans brown and Hy-sex brown laying hens as affected by body weight at 20 weeks of age, Egyptian Poultry Science Journal, Vol. 26, (II): 731-747.
- Gunnarsson,A., Heikkilä,M., Valros,A., 2008. Effect of day length and natural versus incandescent light on perching and the diurnal rhythm of feeding behaviour in layer chicks (*Gallus g. domesticus*), Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science, 58:2, 93-99.
- Gustafsson, G., von Wachenfelt, E., 2009. Laying-Hen Reactions to Artificial Light in a Floor Housing System, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript BC.
- Gutiérrez-Zapata, D.M., Galeano-Vasco, L.F., Cerón-Muñoz, M.F., 2016. Semiparametric Modeling of Daily Ammonia Levels in Naturally Ventilated Caged-Egg Facilities. PLoS ONE 11(1).
- International Commission of Agricultural Engineering, Section II, 2002, Climatization of Animal Houses Heat and moisture production at animal and house levels. ISBN 87-88976-60-2.
- Jácome, I.M.T.D. Rossi LA Borille, R., 2014. Influence of Artificial Lighting on the Performance and Egg Quality of Commercial Layers: a Review Brazilian Journal of Poultry Science / v.16 / n.4 / 337-344.
- Kilic,I., Yaslioglu,E., 2014. Ammonia and Carbon Dioxide Concentrations in a Layer house, Asian Australas. J. Anim. Sci. Vol. 27, No. 8 : 1211-1218.
- Kjaer, J.B., Vestergaard, K.S., 1999. Development of feather pecking in relation to light intensity, Applied Animal Behaviour Science 62 . 243–254.
- Kocaman, B., Esenbuga, N., Yildiz, A., Laçin, E., Macit, M., 2006. Effect of Environmental Conditions in Poultry Houses on the Performance of Laying Hens, International Journal of Poultry Science 5 (1): 26-30.
- Liu, K., Xin, H., Sekhon, J., Wang, T., 2018. Effect of Fluorescent vs. Poultry-Specific Light-Emitting Diode Lights on Production Performance and Egg Quality of W-36 Laying Hens, Poultry Science 0:1–11.
- Olanrewaju, H.A., Thaxton, J.P., Dozier, W.A., Purswell, J., Roush, W.B., Branton, S.L., 2006. A Review of Lighting Programs for Broiler Production, International Journal of Poultry Science 5 (4): 301-308.
- Patel, S. J., Patel, A. S., Patel, M. D., Patel, J. H., 2016. REVIEW PAPER Significance of Light in Poultry Production: A Review, Advances in Life Sciences 5(4).
- Polat, H. E., 2015. Effects Of Poultry Building Design On Indoor Air Quality In Humid

- Climates, *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(5):1264-1272.ISSN: 1018-7081.
- Prodanov, M., Radeski, M., Ilieski, V., 2016. Air Quality Measurements In Laying Hens Housing, *Macedonian Veterinary Review*; 39 (1): 91-95.
- Renema, R. A., Robinson, F. E., Feddes, J. J. R., Fasenko, G. M., Zuidhof, M. J., 2001. Effects of Light Intensity from Photostimulation in Four Strains of Commercial Egg Layers: 2. Egg Production Parameters, *Poultry Science* 80:1121–1131.
- Surbhi, V.K., 2014. Avian photoreceptors and their role in the regulation of daily and seasonal physiology, *General and Comparative Endocrinology*.
- Talukder,S., Islam,T., Sarker,S., Islam,M.M., 2010. Effects of environment on layer performance *J. Bangladesh Agril. Univ.* 8(2): 253–258.
- Lim, T.T., Heber, M.A.J., Ni, J.Q., 2003. Air Quality Measurements at a Laying Hen House: Ammonia Concentrations and Emissions. Purdue University, 225 S. University St., West Lafayette, Indiana, USA.
- Zhao,Y., Shepherd, T.A., Li, H., Xin, H., 2015. Environmental assessment of three egg production systems–*Part I:Monitoring system and indoor air quality*, *Poultry Science* 94:518–533.

PARTIE 3

ESTIMATION DES EMISSIONS D'AMMONIAC ET DE PARTICULES

Introduction

Dans la première partie, nous nous sommes intéressés à la subdivision du système d'élevage avicole. Il en ressort une répartition en cinq compartiments distribués entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. L'intérêt de ce concept, était de faire ressortir les éléments pouvant agir ou participer directement à l'émission de polluants dans un système d'élevage avicole, à travers une synthèse bibliographique qui témoigne de l'implication de chacun des compartiments désignés. Ainsi, l'animal (la poule) partie intégrante du système, n'est que peu incriminé dans la participation directe au phénomène d'émission. Dans cette troisième et dernière partie de la thèse, nous avons voulu décrire la participation de la poule aux émissions d'ammoniac ; gaz emblématique de l'élevage avicole, ainsi qu'aux émissions de particules ; polluant particulièrement lié aux milieux confinés (le bâtiment). L'étude a portée donc, sur l'estimation des émissions des particules et de l'ammoniac générées directement par la poule. Parallèlement, il est à noter que l'antagonisme potentiel qui peut exister lors de la formation de ces deux polluants est particulièrement lié aux paramètres d'ambiance ; on parle alors de l'humidité relative, de la température, de la lumière et des flux d'air dans le bâtiment qui permettent, ou non, le renouvellement d'air et l'évacuation des émissions. De là, émerge l'intérêt de la deuxième partie de cette thèse, où nous avons caractérisé les systèmes d'élevage locaux de poules pondeuse et décrit l'ambiance interne d'un échantillon de bâtiments. Retenons que, la première étape a permis de distinguer trois classes de systèmes d'élevage, dont plus de la moitié sont modestes et la deuxième étape a permis de souligner l'hétérogénéité des paramètres du climat intérieur des bâtiments. Effectivement, il ya grand intérêt à décrire ces aspects, afin de mieux comprendre les phénomènes de formation et d'émission des polluant. Ainsi, les paramètres influençant la formation et l'émission de l'ammoniac peuvent entraver celles des particules et inversement. En effet, un contexte de faibles émissions d'ammoniac à cause d'une humidité basse, par exemple, peut favoriser des émissions importantes de poussières. De plus, l'ammoniac est un précurseur de particules. L'air du bâtiment chargé en molécules d'ammoniac, peut transporter les particules fines émises à l'intérieur, ces dernières deviennent alors des particules secondaires. Aussi, l'une de nos préoccupations dans cette thèse, était de comprendre comment ce fait l'émission de l'ammoniac et des particules dégagées à partir de sources différentes de celles habituellement étudiées (fientes, litière, fumier, lisier). Les deux expérimentations décrites dans cette troisième et dernière partie auront pour but d'estimer les émissions à partir de l'éventuelle source « la poule ». Pour cela, nous avons mis au point des dispositifs expérimentaux d'étude des émissions de particules et d'ammoniac en conditions semi-contrôlées.

CHAPITRE 1

ESTIMATION DES EMISSIONS DE PARTICULES EN CONDITIONS, D'ÉLEVAGE INDIVIDUEL, SEMI-CONTROLÉES

Introduction

Le secteur de l'élevage intensif, notamment celui de la volaille, constitue l'un des environnements les plus fortement contaminés par les poussières organiques (Guingand et al, 1998 ; Paris, 2014). Ces poussières sont un mélange complexe de particules extrêmement petites et de gouttelettes liquides ; composées d'acides, de produits chimiques et organiques, de métaux et de particules de terre ou de poussière (EPA, 2011). Le mélange est particulièrement composé de fragments de produits alimentaires et d'excréments (Guingand et al, 1998). Les éleveurs de volaille, sont exposés à des concentrations élevées de poussières dans leurs bâtiments d'élevage, qui sont de 10 à 200 fois supérieures à celles de l'air extérieur (Aarnink et Ellen, 2007). Ces particules comprennent des bactéries et leurs endotoxines (Zucker et al, 2005 ; Von Essen et al, 2005 ; Zheng et al, 2013), des fragments de plumes, des matières fécales, de peau, des particules d'aliments, des spores de moisissures, des fragments de champignons et des fragments de litière (Stelman, 2002 ; Aarnink et Ellen, 2007; Cambra-López et al, 2010 ; Yauschew, 2013). Par contre, la poussière inorganiques se compose de fragments de matériaux de constructions ; béton, isolants minéraux, particules de terre.

Le lien entre les bioaérosols organiques et les pathologies respiratoires a été établi dans de nombreux travaux (Simpson et al, 1998 ; Seifert et al, 2003 ; Paris, 2014). L'exposition massive par inhalation à des niveaux élevés de particules en suspension dans l'air des animaleries, cause des problèmes respiratoires chez les éleveurs (Takai et al, 1998 ; Heederik et al, 2007 ; Zheng et al, 2013) et peut nuire à la santé des animaux (Takai et al, 1998 ; Al-Homidan et al, 2003 ; Zhongchao et al, 2004 ; Cambra-López et al, 2010).

C'est la taille de ces bioaérosols qui détermine leurs comportements de déplacement aérien et de dépôts dans les voies respiratoires des animaux et des humains (Zheng et al, 2013), et les définit en termes de poussières inhalables, thorajuciques et respirables (Bruce et al, 2015). En effet, les chercheurs subdivisent traditionnellement les particules, PM, de poussière selon leur diamètre équivalent aérodynamique (DEA), en fonction de la manière dont elles sont générées et de l'endroit où elles se déposent dans les voies respiratoires : PM10: $<10 \mu\text{m}$; PM2.5: $<2.5\mu\text{m}$ et PM0.1 : $<0.1 \mu\text{m}$ (Anderson, 2012). Cependant, on sait peu de choses sur la distribution granulométrique des particules aéroportées dans les bâtiments d'élevage, en

particulier dans les systèmes d'élevage alternatifs visant à améliorer le bien-être des animaux (Zheng et al, 2013).

La composition chimique des particules en élevage, montre des teneurs élevées en éléments suivants : C, O, N, P, S, Na, Ca, Cl, Mg et K dans la plupart des sources contributives. Parallèlement, la composition chimique, des particules d'origine alimentaire, de matière fécales et cutanées, présente des concentrations relativement similaires en éléments suivants : N, K, Cl, P et Na. La concentration de l'élément P est plus élevée dans les particules fécales que dans les particules de nourriture ou de la peau (Aarnink et al, 1999).

Plusieurs sources sont impliquées dans la génération des particules de poussières dans l'élevage de poules pondeuses en bâtiment. Sachant que plus de 80% des poussières générées en bâtiment de poules pondeuses sont liées à leur alimentation (Godbout, 2008), et compte tenu de la nécessité d'alimenter quotidiennement la bande et de la densité des animaux dans un élevage, le picorage, peut être à l'origine de la plus grande partie des poussières produites à partir de l'aliment. Dans le but d'évaluer les quantités émises, par cette activité, nous avons procédé, dans cette étude, à la conception d'un dispositif qui permet de capter les poussières qui se soulèvent de la mangeoire lors du picorage.

1. Matériel et méthodes

Dans cette partie de l'étude, l'expérimentation utilisée pour l'estimation des particules d'aliment émises lors de l'activité de l'alimentation, le picorage, a été réalisée au niveau du département d'agronomie de l'université de Batna 1. Elle s'est déroulée en deux périodes distinctes ; la première englobe deux étapes allant de janvier à juin 2016. La deuxième période de Janvier à Juin 2017, la durée requise à chaque étape était partagée entre conception des boîtiers de captage, le montage du matériel et le déroulement des essais.

La première période avec ses deux étapes était nécessaire pour le développement d'un dispositif de captage efficace. En effet, deux boîtiers de captage différents ont été conçus, et utilisés séparément durant deux phases successives. C'est à l'issue des résultats obtenus, que nous avons mis au point le troisième boîtier de captage, celui avec lequel nous avons réalisé le plus d'essais et utilisé plus de poules.

1.1 Matériel

1.1.1 Matériel biologique

Pour la première période d'évaluation, nous avons utilisé trois poules de souche ISA-Brown, elles étaient élevées en cages individuelles, au laboratoire (Photo 01). Quant à la deuxième période de l'expérimentation, nous avons élevé seize poules de la même race que

précédemment, également en cages individuelles. Au démarrage des essais, les poules étaient âgées de 22 semaines pour la première période de l'expérimentation et de 24 semaines pour la deuxième période de l'expérimentation.

L'aliment distribué aux poules durant les deux périodes d'essai était de la même composition : 60% de maïs, de 20% de tourteau de soja, de 1.5 % CMV (complément minéraux et vitamines), de 8% de gros son, de 6 % de calcaire, et de 4.5% de phosphate bi calcique.

1.1.2 Dispositif expérimental

Pour réaliser cette expérimentation de captage de particules nous avons conçu des dispositifs de captage identiques ; trois pour chacune des deux étapes de la première période d'étude et seize autres dispositifs identiques pour la deuxième période de l'expérimentation. Ces dispositifs sont constitués de cages, de matériel pour le captage de particules émis à l'intérieur de la cage (boîtiers de captage et cache en plastique), du matériel utilisé pour la pesée des particules captées, du matériel utilisé pour la détermination de la granulométrie de l'aliment et des particules captées et enfin le matériel pour la mesure des paramètres d'ambiance.

1.1.2.1 Description des cages

Les cages utilisées, dans cette expérimentation ; sont en plastique, et font 62 cm de hauteur, avec une base carrée, ouverte, qui fait 0.2 m^2 (0.447m de coté); et un toit carré de 0.19 m^2 (0.435m de coté). Ces cages sont déposées chacune sur une boîte (support) carré en bois, de 55 cm de coté extérieur et d'une profondeur de 7 cm. La cage est placée par dessus ce support qui permet la récupération facile des fientes.

Selon l'étape de l'expérimentation, des ouvertures rectangulaires de taille différentes ont été faites au niveaux des parois des cages. Elles sont situées juste au dessus des mangeoires et des abreuvoirs. Ces derniers sont de forme cylindrique de 8 cm de diamètre sur une longueur de 55 cm, ils possèdent une ouverture en leur milieu en face de celle faites dans les cages (Photo 01).



Photo 01. Équipement de la cage d'élevage.

1.1.2.2 Matériel utilisé pour le captage de particules

Le captage des poussières se fait grâce à des boîtiers situés au dessus, immédiat, de l'ouverture de la mangeoire. Ils font fonction d'hotte qui piège les poussières qui se soulèvent lors du picorage. Ils sont conçus de manière à retenir le maximum de poussières piégées.

- Description des dispositifs de prospection

Au début de la réalisation de cette expérimentation, lors de la première étape de la première période, le captage des poussières se fait grâce à un boîtier accroché à la face externe de chaque cage, coté mangeoire. Il est placé juste au dessus de l'ouverture qui permet à la poule de s'alimenter. Ce premier boîtier est constitué d'un élément unique; avec une partie inférieure, conique faisant guise de hotte. La partie supérieure, cylindrique, communique avec la première et fait office de réservoir d'accumulation de particules. Elle est munie d'une barrière de rétention, qui empêche le retour des particules par sédimentation une fois captées (Figure 29).

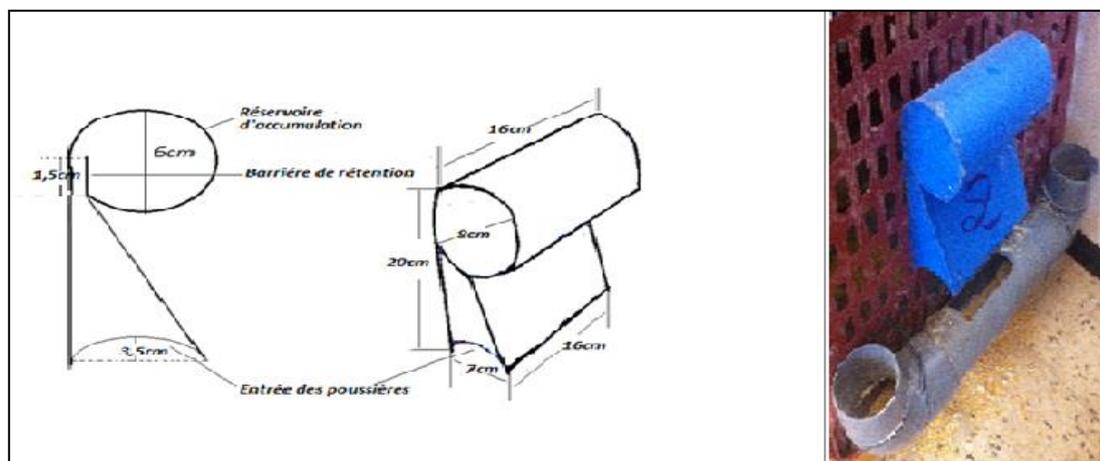


Figure 29. Le premier boîtier de captage des particules d'aliment lors du picorage.

Le deuxième boîtier de captage utilisé dans cette expérimentation est composé de deux éléments; un premier élément fixé à la cage assure l'immobilité du dispositif. Un second élément cylindrique et amovible s'emboîte par dessus le premier. Le cylindre est muni sur toute sa longueur d'une ouverture à double fonction. Celle-ci permet le passage des particules, d'une part, et permet l'assemblage des deux éléments du boîtier, d'autre part.

Pour ce deuxième dispositif de captage, le boîtier est placé, toujours, côté mangeoire, mais de manière à s'emboîter complètement sur cette dernière. Il dispose toutefois, d'un accès qui communique avec l'ouverture de la cage destinée à l'alimentation de la poule (Figure 30).

Pour assurer une plus grande efficacité de ce deuxième boîtier, la face externe de la cage côté mangeoire, a été couverte par une paroi (cache) en plastique transparent, laissant entrevoir uniquement l'ouverture qui permet à la poule de s'alimenter.

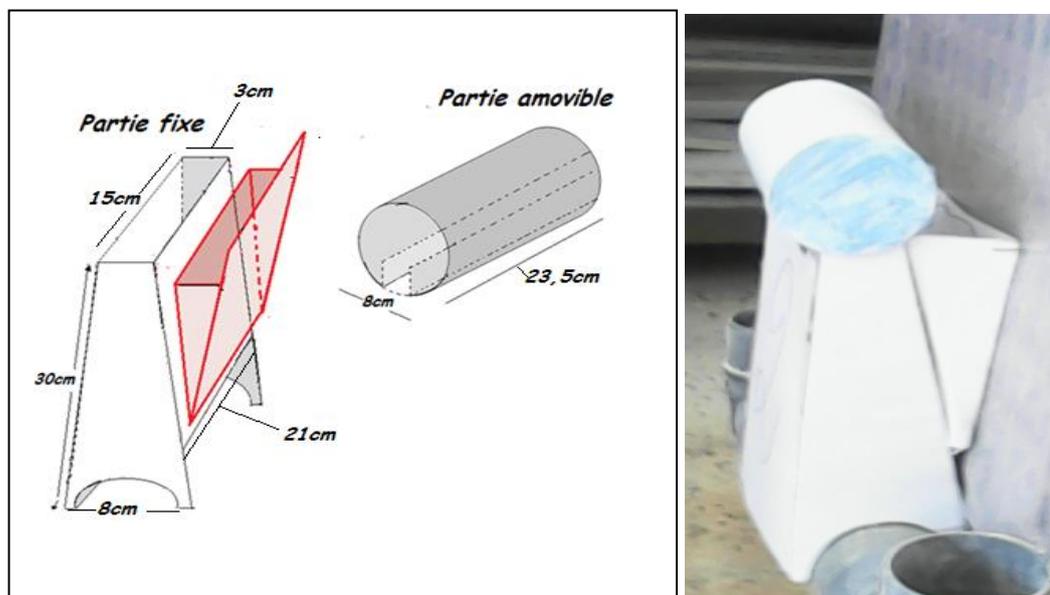


Figure 30. Le deuxième boîtier de captage des particules d'aliment lors du picorage.

- Description du dispositif de captage final

Pour la troisième partie de cette expérimentation, nous avons utilisé 32 boîtiers pour le captage des poussières, deux boîtiers pour chacune des 16 cages utilisées. Pour cela nous avons conçu un troisième prototype, constitué d'un élément unique, avec une partie supérieure cylindrique. Le cylindre fait 10 cm de diamètre sur 25 cm de longueur. Il communique avec une partie inférieure de forme conique, sa base est un rectangle de 14 cm de largeur sur 17 cm de longueur. La hauteur complète du boîtier fait 25 cm (Figure 31).

Dans cette expérimentation, les deux boîtiers sont accrochés aux deux faces parallèles, côtés externes, des cages (Photo 02 et 03). Ils sont placés juste au-dessus de chaque mangeoire,

laissant entrevoir uniquement l'ouverture dans la cage destinée à l'alimentation de la poule. Les deux faces de la cage, portant les boitiers, sont couvertes d'un cache en plastique. De même, chaque boitier est recouvert d'un cache en plastique qui l'isole complètement de toute accumulation de poussières autre que celles soulevées lors du picorage (Photo 04).

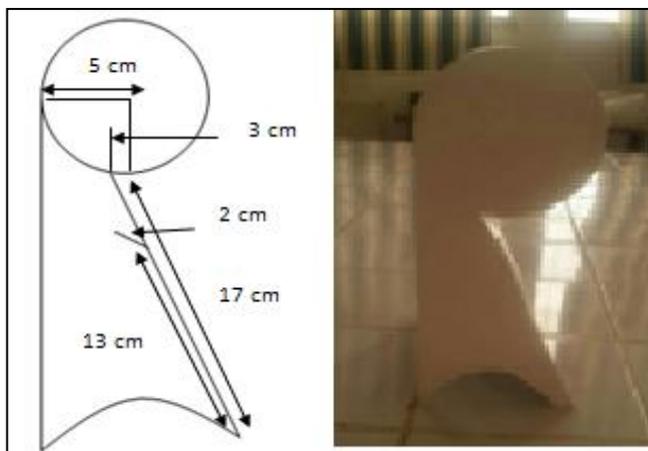


Figure 31. Le troisième boitier de captage des particules d'aliment lors du picorage.



Photos 02. Les cages avant la mise en place des boitiers de captage.

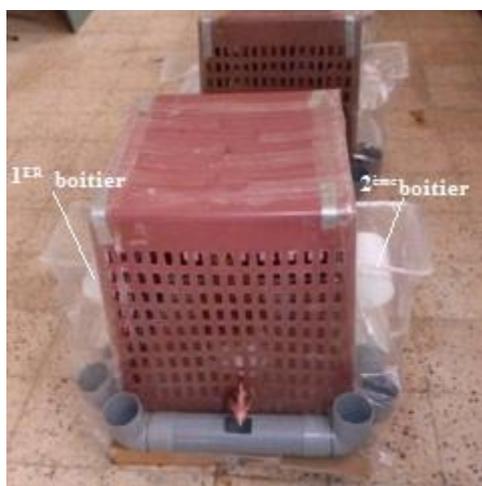


Photo 03. L'emplacement des deux boitiers d'une cage.



Photos 04. Les caches utilisés dans le dispositif.

Les précisions apportées lors de la conception des boîtiers de captage utilisés à chaque étape, leur emplacement par rapport à l'ouverture des mangeoires, les caches en plastique ou non, ont été nécessaires pour optimiser, le plus possible, le dispositif de captage de particules (Photos 05).

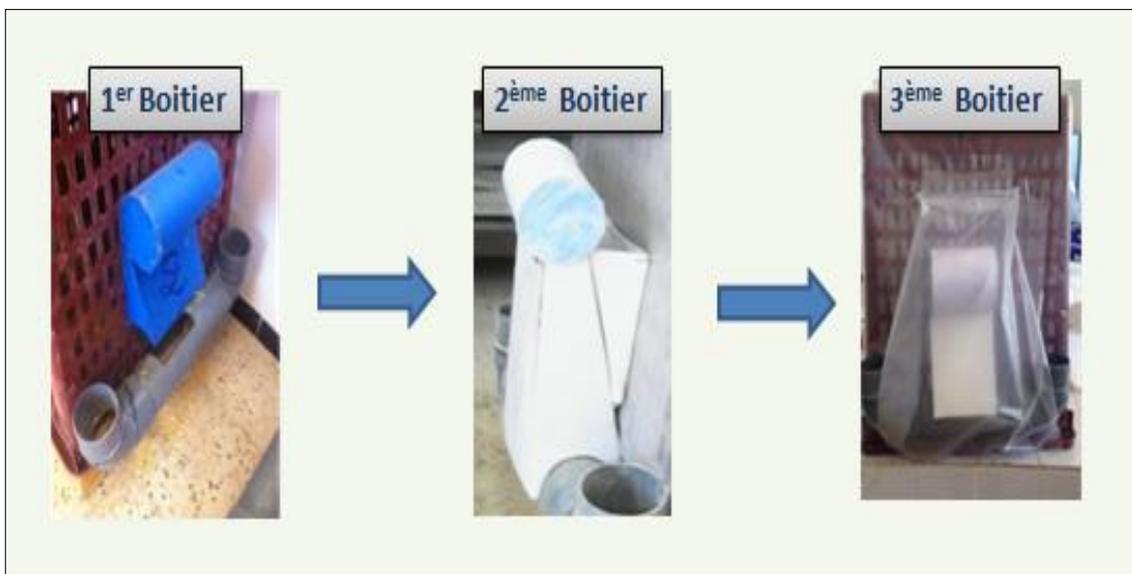


Photo 05. Les différents types de boîtiers de captage utilisés lors de l'expérimentation.

1.1.2.3 Matériel utilisé dans la pesée des particules captées

Pour mesurer la variation des poids des boîtiers, ainsi que le poids des poussières récupérées par ces boîtiers, nous avons utilisé une balance de précision (Analytical balance, série : XA 16dx, capacité : 160g /1mg, précision : 0.1mg).

1.1.2.4 Matériel utilisé dans la détermination de la granulométrie

La deuxième balance utilisée, pour les mesures du poids des fractions de l'aliment tamisé, est de marque : SOEHNLE, PRIMOSTARAR, mode : 41550-0001-00, avec une précision de 0.1g.

Pour la réalisation de la granulométrie de l'aliment, nous avons utilisé un ensemble de dix tamis, de diamètre de mailles : 28 μ m ; 48 μ m ; 80 μ m ; 125 μ m ; 200 μ m ; 300 μ m ; 500 μ m ; 800 μ m ; 1mm et 2mm.

1.1.2.5 Matériel utilisé pour la mesure de température et de l'humidité ambiante

Pour mesurer la température et l'hygrométrie ambiantes, nous avons utilisé un thermo hygromètre : (RANGE : HUMIDITY : 10-95% ; TEMP : -20 C à 60 C /-4 F TYPE-K:-50 C-1370 C/-58 F-2498 F).

1.2 Méthodes

1.2.1 Conduite d'élevage

Durant l'expérimentation, les poules ont été élevées dans des conditions semi-contrôlées. Le contrôle a notamment porté sur la conduite d'élevage; il s'agit de la distribution d'une ration quotidienne d'aliment de 120 g, cette distribution ce fait une fois par jour à une heure fixe, 10h00 du matin. Le nettoyage des cages est réalisé un jour sur deux en enlevant le carton qui recouvre, le planché de la cage, le fond de la boite en bois. Ce carton nous permet de récupérer toutes les fientes, l'aliment gaspillé, ainsi qu'une partie de l'humidité issue du lisier ou de l'eau de l'abreuvoir. Enfin, le ramassage des œufs est effectué une fois par jour, en fin de matinée. La productivité étant de l'ordre d'un œuf par jour par poule, durant toute la durée de l'expérimentation avec ces deux périodes.

1.2.2 Mesure des paramètres d'ambiance

La mesure de la température et de l'humidité ambiante du laboratoire, se fait chaque matin à 9h00 par le thermo hygromètre cité plus haut dans le document.

1.2.3 Mesure de la granulométrie de l'aliment

En parallèle au captage des particules réalisé aux moyens des boitiers, nous avons réalisé une granulométrie de l'aliment présenté aux poules, lors de la deuxième période de l'expérimentation. La détermination de cette granulométrie, débute avec la pesée d'une quantité de 100g d'aliment ; l'échantillon est pris aléatoirement dans le sac de l'aliment. Nous réalisons la granulométrie de cette quantité d'aliment en la faisant passer au travers de 10 tamis superposés, du tamis ayant la plus grande maille (2mm) à celui qui a la plus petite maille (28 μ m). L'échantillon étant déposé dans le premier tamis celui de 2mm.

Le tamisage est réalisé manuellement. L'aliment retenu au niveau de chaque tamis est récupéré, pesé et remis dans un sac en plastique. L'opération est réalisée avec une fréquence d'une fois par semaine durant toute la période de l'expérimentation, soit 9 opérations réalisées au total.

1.2.4 Réalisation du captage des particules

Dans la première période de l'expérimentation et durant ces deux étapes, trois poules de souche ISA-Brown, âgées de 22 semaines, au début de la première étape, ont été élevées dans des cages individuelles. Pour cette première période, nous avons procédé au montage de trois dispositifs identiques.

a. Au cours de la première étape de la première période, chacun des trois dispositifs est équipé par le premier boîtier. Les boîtiers sont accrochés à la face externe de la cage, côté mangeoire, à 10 cm au dessus de l'ouverture qui permet à la poule de s'alimenter (Photo 06). Les boîtiers placés au dessus des mangeoires pour capter les poussières, soulevées lors du picorage de l'aliment par la poule, sont pesés à vide avant l'expérimentation, puis ils sont repesés une fois tous les quatre jours.

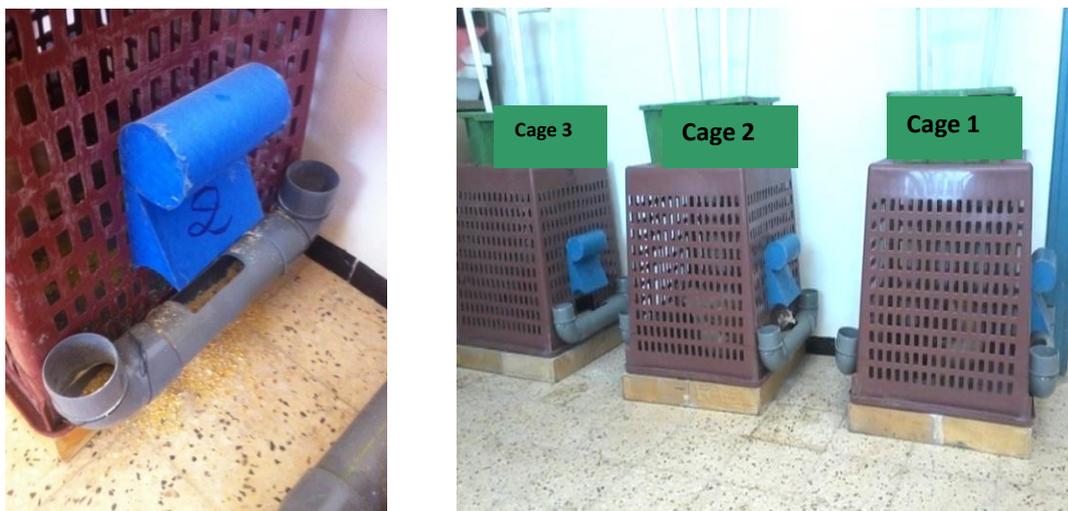


Photo 06. L'emplacement du premier boîtier.

b. Lors de la deuxième étape de l'expérimentation, nous avons utilisé le deuxième boîtier de la même manière que pour la première étape. Les boîtiers étaient fixés aux trois cages, sur la face externe de la cage côté mangeoire, ne laissant entrevoir que l'ouverture dans la cage destinée à la poule pour accéder à l'aliment. Avec cet agencement le champ d'émission des particules côté mangeoire est complètement couvert.

Lors de l'utilisation du deuxième boîtier, la face externe de la cage côté mangeoire a été couverte par du plastique transparent, laissant entrevoir uniquement l'ouverture qui permet à la poule de s'alimenter (Photo 07).



Photo 07. L'Agencement du deuxième dispositif.

c. Durant la deuxième période de l'expérimentation, 16 poules de la souche ISA-BROWN, âgées de 24 semaines, ont été élevées dans des cages individuelles, équipées chacune de deux boîtiers de captage (troisième prototype). Pendant cette période expérimentale nous considérons deux boîtiers identiques :

- Le premier boîtier, destiné pour le captage des poussières, est fixé à la cage sur sa face externe, juste au dessus de l'ouverture de la mangeoire qui contient l'aliment (Photo 08). Ainsi, le boîtier de captage couvrira le champ d'émission des particules du côté mangeoire.
- Le deuxième boîtier, témoin, est placé de la même façon que le premier, au dessus de la deuxième mangeoire vide, du coté opposé au précédent boîtier. Il est connecté avec l'intérieur de la cage à partir d'une ouverture identique à celle du premier boîtier.

Afin d'éviter toutes influences extérieures, accumulation des particules sur les boîtiers (autres que celles soulevées lors du picorage), nous avons mis des caches en plastique sur la totalité des deux faces extérieures de la cage cotés mangeoires et sur les boîtiers de captage de façon à les recouvrir complètement.



Photo 08. L'emplacement des boîtiers et du cache en plastique lors de la deuxième période de l'expérimentation.

Les seize cages de l'expérimentation ont été divisées en quatre groupes de quatre cages chacun. L'emplacement de chaque groupe dans le laboratoire est indiqué dans la (Figure 32, Photo 09).

- Les cages du premier groupe, (C1, C2, C3, C4), sont situées au fond du laboratoire coté gauche.
- Les cages du deuxième groupe, (C5, C6, C7, C8), sont situées juste en dessous des fenêtres du laboratoire.

- Les cages du troisième groupe, (C9, C10, C11, C12), sont également placées au fond du laboratoire coté gauche en face des cages du premier groupe.
- Les cages du quatrième groupe, (C13, C14, C15, C16), sont placées en face des fenêtres, elles font face aux cages du deuxième groupe et séparées par une paillasse.



Figure 32. Schéma représentant la localisation des cages dans le laboratoire



Photo 09. Les cages d'élevage (rangées des groupes 1 et 4).

De la même manière qu'en première période de l'expérimentation, les poules sont placées dans des cages. La mise en place des boîtiers de captage et des boîtiers témoins, aux niveaux des faces externe des cages, est précédée par leur pesée à vide. Une fois pesés, les boîtiers sont accrochés au dessus des mangeoires et sont soigneusement recouverts avec leurs caches en plastique.

A la fin d'une période de 6 jours (durée de chaque essai), les boîtiers sont repesés, puis remis en place pour une nouvelle période de captage. A la fin de l'expérimentation nous avons totalisé 9 pesées, la durée de la période de captage étant de 54 jours.

Une fois les neufs pesées réalisées, le contenu de chaque boîtier est soigneusement récupéré et pesé avec une balance analytique. Les poussières récupérées ont été tamisées à travers un tamis de maille 28µm. Les deux fractions de particules obtenues, supérieures et inférieures à 28 µm, sont pesées.

2. Résultats

2.1 Les résultats obtenus à partir des deux premiers boîtiers

Dans cette partie nous présentons l'essentiel des résultats obtenus lors de la première période de l'expérimentation, où nous avons utilisé les résultats des deux premiers boîtiers.

2.1.1 Les paramètres d'ambiance de la première période de l'expérimentation

L'humidité relative mesurée dans le laboratoire durant cette première période a variée entre 27.7% et 56.6%. Il est à noter, que la limite inférieure (27.7%) était exceptionnelle. En effet, hormis cette valeur, l'humidité ne diminuait pas en dessous de 34% durant toute cette première période. Les températures ont variées de 12.9 à 21.8 °C (Figure 33).

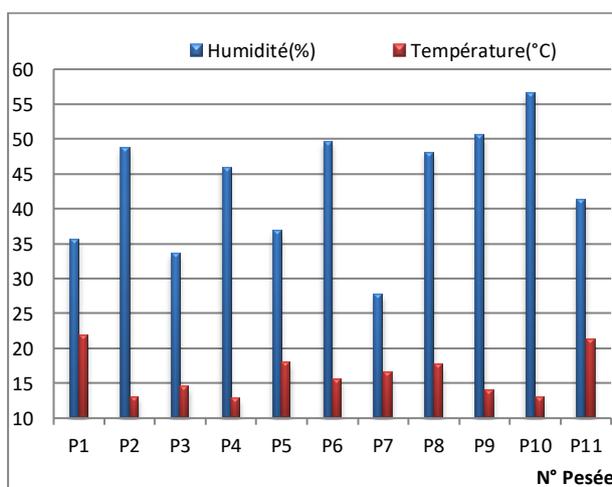


Figure 33. La variation des paramètres d'ambiance de la première période de l'expérimentation (première partie).

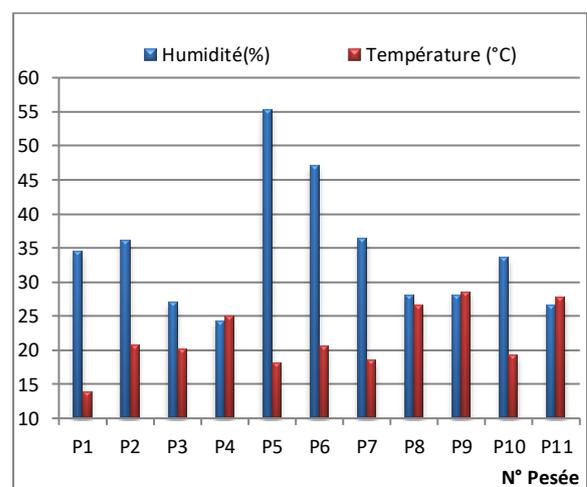


Figure 34. La variation des paramètres d'ambiance de la première période de l'expérimentation (deuxième partie).

Durant la deuxième étape de l'expérimentation (Figure 34), les paramètres d'ambiance mesurés ne diffèrent pas de ceux enregistrés en première étape. Ils variaient de 25 % à 55.4% pour l'humidité relative et de 13.9 à 28.5°C pour les températures.

2.1.2 La comparaison des poids des particules captées par les deux boîtiers de la première période

Pour réaliser cette comparaison, nous avons calculé la moyenne des poids des particules captées par le premier boîtier de captage dans chacune des trois cages, et la moyenne des poids des particules captées par le deuxième boîtier de captage dans chacune des trois cages. Les résultats (Figure 35), indiquent que les particules captées par le deuxième boîtier sont plus élevées que les particules captées par le premier boîtier, ceci est valable dans les trois cages. Le poids moyen des particules captées par jour étant compris entre 0.012 et 0.06 g pour le premier boîtier et entre 0.09 et 0.13 g pour le deuxième boîtier. L'écart le plus marqué entre les particules captées par le premier et le deuxième boîtier, était enregistré pour la troisième cage.

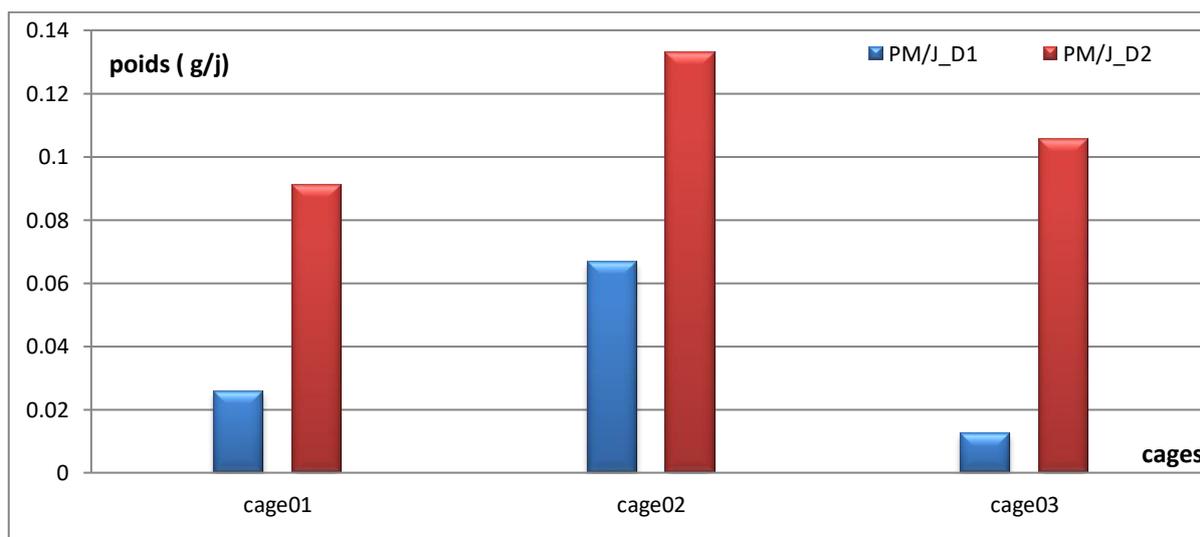


Figure 35. Poids des particules captées par les deux premiers boîtiers.
PM : particules ; D1 : premier boîtier. ; D2 : deuxième boîtier ; J : jour.

2.2 Les résultats obtenus à partir du troisième boîtier

2.2.1 La granulométrie de l'aliment présenté aux poules

La (Figure 36), présente la variation des fractions de l'aliment des poules durant la deuxième période de l'expérimentation. Pour une meilleure lecture des résultats, nous avons utilisé la (Figure 37) pour montrer la fluctuation des fractions allant de 28µm à 500µm.

La (Figure 36) montre la variation des proportions des différentes fractions granulométriques de l'aliment lors des neuf pesées. Les fluctuations des pourcentages des fractions est faible sauf pour les fractions 45µm, 80 µm, 500µm, 1mm et 2mm. Ces deux dernières fractions

représentent, ensemble, plus de 60% de la granulométrie de l'aliment. Ainsi, au fur et à mesure que le diamètre des particules d'aliment augmente, leur pourcentage augmente. Le (Tableau 21) montre la variation des pourcentages des différentes fractions de l'aliment. Les plus petits pourcentages correspondent aux plus fines fractions ; celles inférieures à 28µm et celles de 45µm, le plus grand pourcentage est attribué à la fraction de 2mm.

Tableau 21. La variation des fractions dans l'aliment.

Diamètres des fractions µm	≤ 28	45	80	125	200	300	500	800	10 ³	2 . 10 ³
%	≤ 0.5	0.35 et 4	5 et 8.55	3.7et 6	3.5 et 4.5	7 et 8	11 et 14	6 et 7	25 et 30	26 et 37

La (Figure 37) montre la distribution des proportions des fractions de 28 µm à 500 µm. Les pourcentages des 7 fractions pris dans les neuf échantillons sont inférieurs à 15% ; ils varient de 11.02% à 14.17% pour la fraction de 500 µm, de 4.82% à 8.58% pour la fraction de 80 µm, de 0.35% à 3.89% pour la fraction de 45µm. Pour les autres fractions ; 125 µm, 200 et 300 µm, le pourcentage des fractions ne varie que très peu.

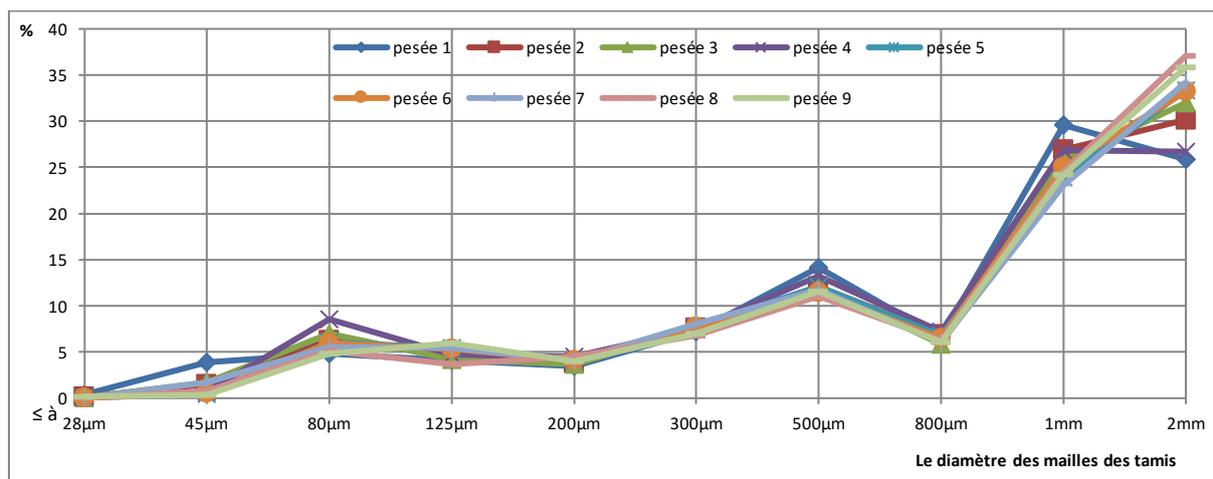


Figure 36. La granulométrie de l'aliment présenté aux poules.

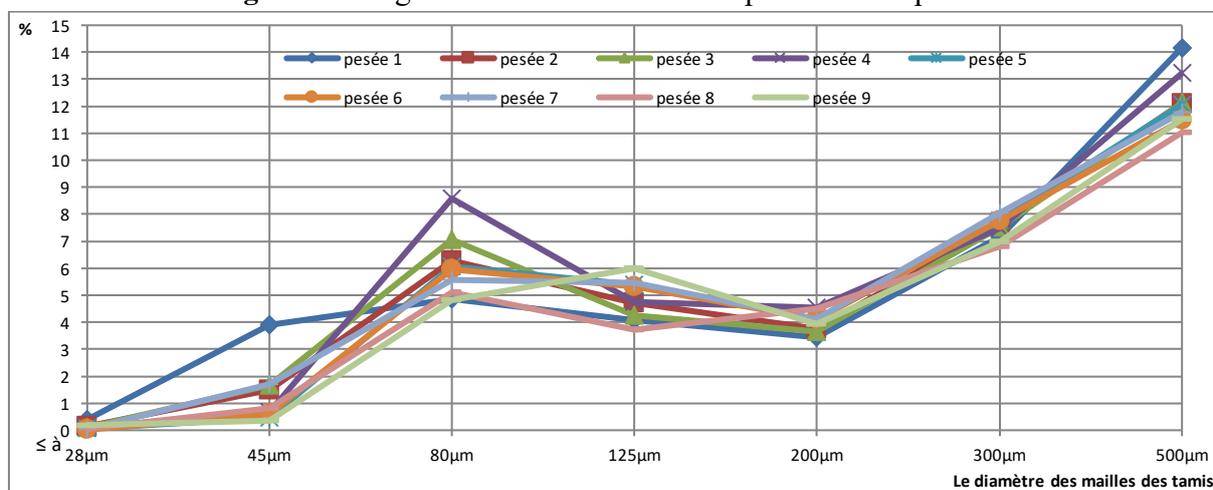


Figure 37. La variation des fractions de 28µm à 500µm de diamètre.

2.2.2 La variation des paramètres d'ambiance, température et humidité relative durant la deuxième période de l'expérimentation

La variation des paramètres d'ambiance, température et humidité relative durant cette deuxième période de l'expérimentation sont représentées dans la (Figure 38 a et b).

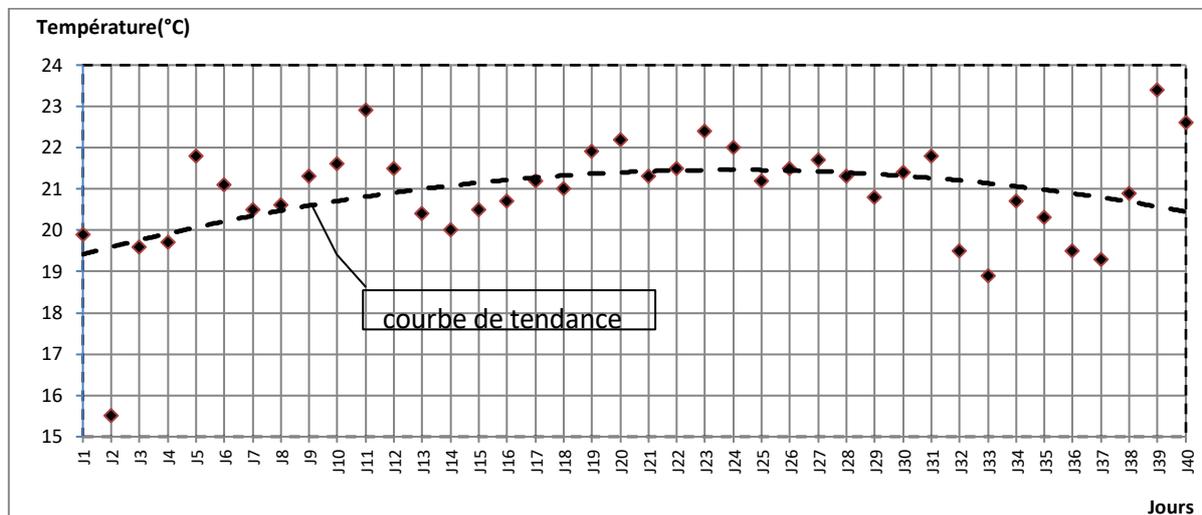


Figure 38a. La variation des températures durant la deuxième période de l'expérimentation.

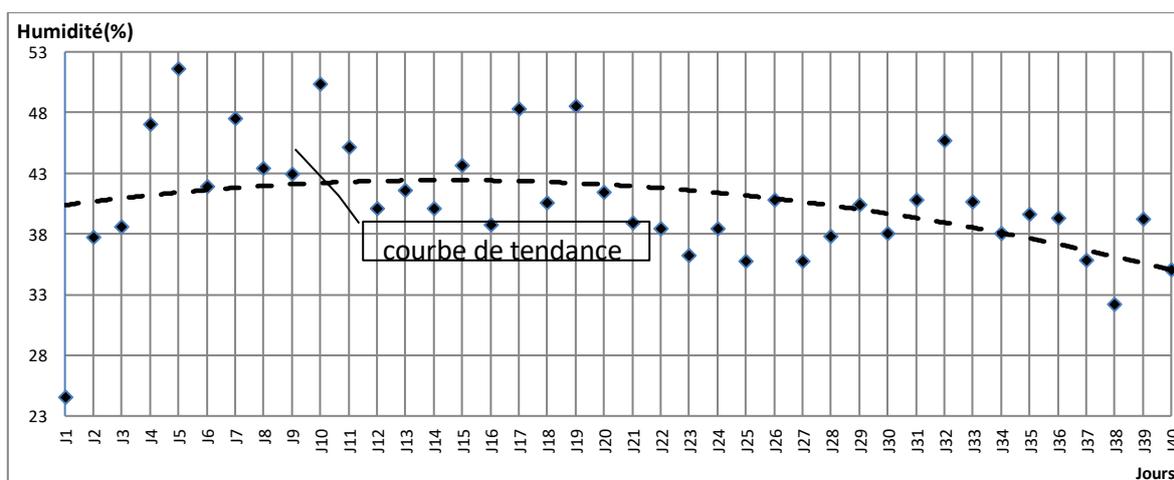


Figure 38b. La variation des humidités durant la deuxième période de l'expérimentation.

Les températures durant cette période ont variées entre 15,5 et 23,5 °C avec une température moyenne de 20,5°C et une étendue de 8°C ; l'humidité est comprise entre 24,5 et 51,6% avec une humidité moyenne de 40,5% et une étendue de 27,1%.

Pour connaître la variation des poids des particules captées à chaque pesée nous avons calculé la quantité moyenne des particules captées par les seize cages durant chaque période qui sépare deux essais successifs. Les résultats sont présentés dans la (Figure 39). La comparaison des (Figures 38a, 38b et 39), montre que la température et l'humidité enregistrées durant l'expérimentation, et l'évolution du poids moyen des particules captées par les 16 cages et

mesuré entre deux pesées, n'évoluent pas de la même manière. La Température et l'humidité fluctuent énormément tout au long de l'expérimentation, et leur courbe de tendance sont de la forme parabole inversée (négative), alors que, l'évolution des quantités de particules captées tend vers une courbe parabolique (positive), avec un coefficient de détermination assez fort, $R^2 = 0.94$.

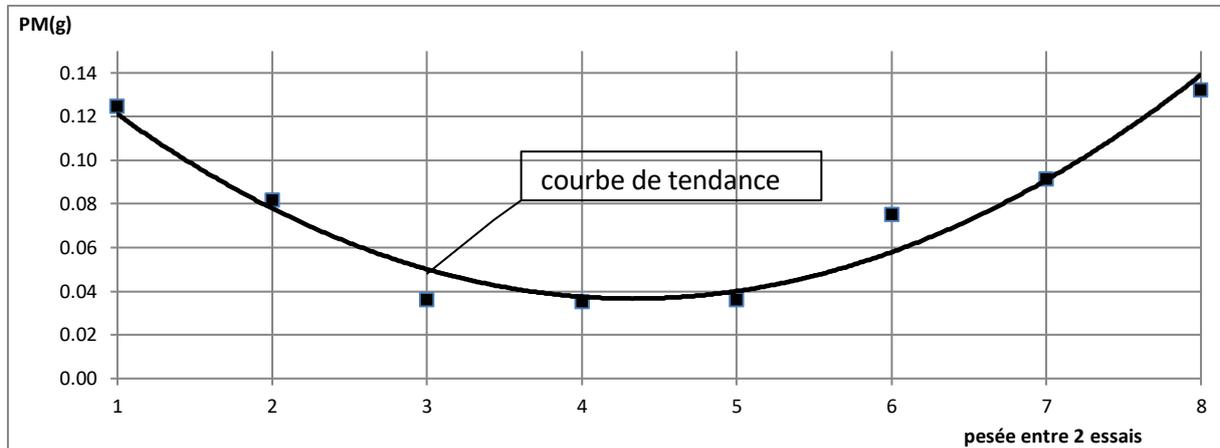


Figure 39. Evolution du poids moyen des particules captées par les 16 cages durant l'expérimentation.

2.2.3 Les particules émises lors du picorage par poule et par jour

Les résultats obtenus concernent le troisième type de boitier. L'analyse porte sur les quantités de particules émises par le picorage des poules et interceptées par le boitier en contact avec la mangeoire rempli d'aliment, ensuite, sur les quantités de particules capturées par le boitier témoin en contact avec la mangeoire vide, où les particules sont issues de l'intérieur des cages et peuvent avoir différentes origines (reste d'aliment, fientes, squames). Il faut rappeler que les quantités de particules interceptées par les boitiers au dessus des mangeoires, sont celles émises par la ration journalière de 120g d'aliment/poule/jour.

Afin d'évaluer la variation des quantités de particules captées par les 32 boitiers qui équipent les seize cages, nous avons comparé les données par groupes de cages (selon leur emplacement au sein du laboratoire) et pour l'ensemble des cages.

Nous présenterons en suite, les résultats de la granulométrie des particules récupérées à partir des 16 boitiers de captage et des 16 boitiers témoins.

2.2.3.1 L'analyse des quantités de particules émises lors du picorage selon l'emplacement des cages au sein du laboratoire

- Statistiques descriptives

Le (Tableau 22) présente les statistiques descriptives des quantités moyennes des particules émises lors du picorage et captées par les boitiers de captage et celles captées par les boitiers

témoins. Les données sont réunies en quatre groupes constitués chacun de quatre cages. Les groupes sont désignés selon leur emplacement au sein du laboratoire (Figure 40). Les quantités de particules émises (Tableau 22), ont été obtenues en calculant le poids moyen des particules émises par poules, par jour et pour chaque groupe.

Tableau 22. Statistiques descriptives des quantités moyennes des particules captées par les boîtiers qui composent chaque groupe (g/poules/jour).

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4	
	B.Captage	B.Témoin	B.Captage	B.Témoin	B.Captage	B.Témoin	B.Captage	B.Témoin
Moyenne	0,00997	0,00592	0,00830	0,00516	0,02084	0,01340	0,00872	0,00797
Ecart type	0,00143	0,00120	0,00262	0,00055	0,00405	0,00342	0,00122	0,00053
Médiane	0,01050	0,00538	0,00726	0,00489	0,01781	0,01241	0,00811	0,00803

Selon le (Tableau 22) le groupe ayant émis le plus de particules, est le groupe 3 avec une quantité moyenne de 0,02084g/poules/jour pour les boîtiers de captage et 0,01340 g/poules/jour pour les boîtiers témoins.

Les trois autres groupes, groupe1, groupe 2 et groupe 4, semblent émettre des quantités moyennes de particules assez proches, variant entre 0,00830 g/poules/jour et 0,00997 g/poules/jour pour les boîtiers de captage et variant entre 0,00516g/poules/jour et 0,00797g/poules/jour pour les boîtiers témoins.

Les écarts-types sont sensiblement similaires, avec la plus faible variabilité pour les cages du groupe 4 et la plus grande pour les cages du groupe 3.

Pour comparer la distribution des poids des particules captées par les quatre groupes, nous avons utilisé des boîtes à moustaches juxtaposées pour les boîtiers témoins et les boîtiers de captage (Figure40). L'étude de celles-ci, permet de distinguer une légère différence de la distribution des poids de particules entre le groupe 3 et les trois autres groupes 1, 2 et 4.

La médiane est de 0,01781g/poules/jour pour le groupe 3, et 0,01050 g/poules/jour, 0,00726 g/poules/jour et 0,00811g, respectivement pour les groupes 1, 2 et 4. Il n'y a pas de poids atypique pour les 4 groupes. Par ailleurs, l'écart interquartile est plus étalé pour le groupe 2 que pour les trois autres groupes et la distribution est plus dissymétrique pour ce même groupe. Ce qui nous indique une variation plus importante des poids des particules captées à l'emplacement des cages de ce groupe, situé en dessous des fenêtres et près des radiateurs.

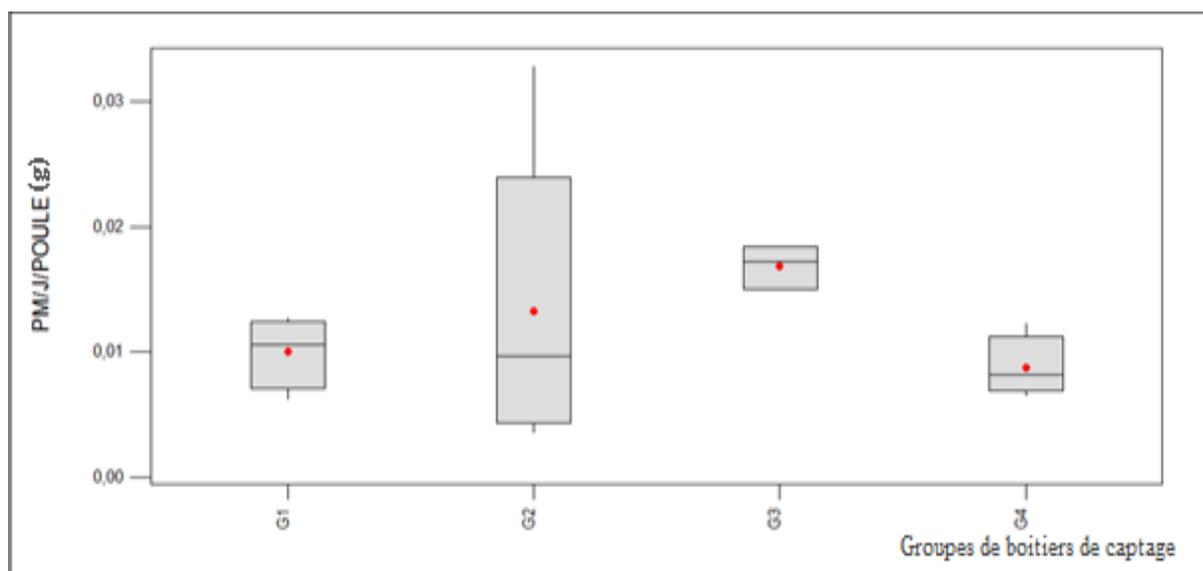


Figure 40. La distribution des poids moyens des particules captées lors du picorage selon l'emplacement des cages au sein du laboratoire (par groupe de cages).

Points rouge: moyennes ; PM : particules; J: jour.

La (Figure 41) présente la distribution des poids moyens des particules captées par les boîtiers témoins selon leurs emplacements au sein du laboratoire. Elle indique également une distinction du groupe 3 par rapport aux trois autres groupes, 1, 2 et 4. La médiane des poids des particules captées est de 0,01241g/poules/jour pour le groupe 3 et 0,00538 g/poules/jour, 0,00489 g/poules/jour et 0,00803 g/poules/jour pour les groupes 1, 2 et 4 cités dans l'ordre. Il n'y a pas de poids atypique pour les 4 groupes. Par ailleurs, l'écart interquartile est plus étalé pour le groupe 3, montrant une variation plus importante des poids des particules captées.

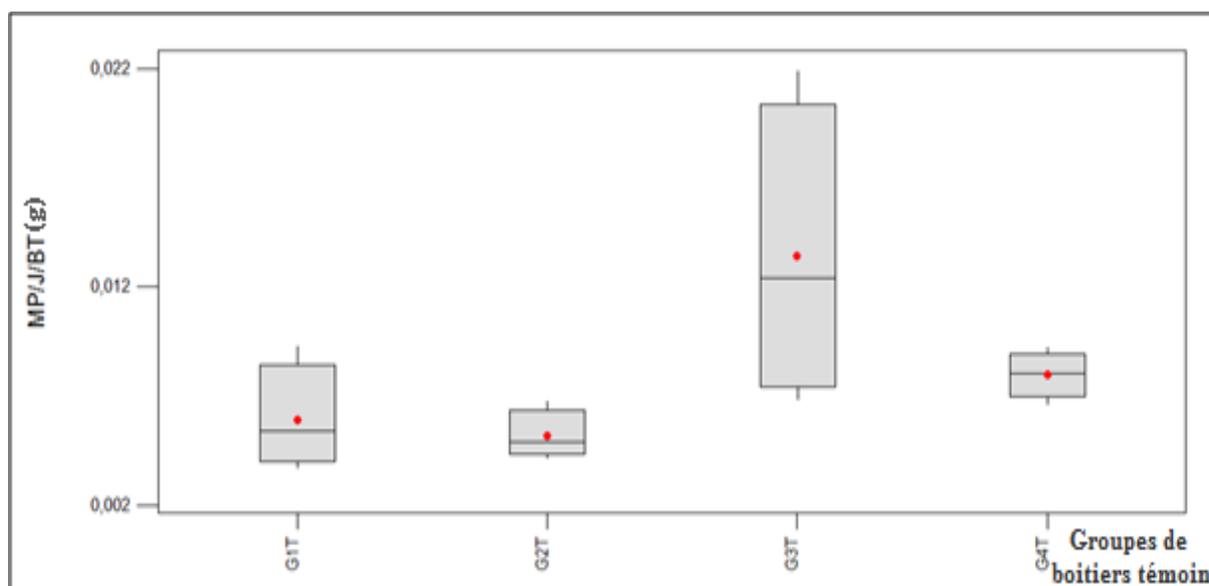


Figure 41. La distribution des poids moyens des particules captées par les boîtiers témoins selon l'emplacement des cages au sein du laboratoire (par groupe de cages).

Points rouge: moyennes ; PM : particules; J: jour ;BT : boîtier témoin.

- Analyse de la variance des quantités de particules captées selon les groupes de cages

Afin de mieux analyser la distribution des particules captées par chaque groupe nous avons réalisé une analyse de la variance ANOVA à un facteur contrôlé, que nous avons appliqué aux 4 groupes de cages (Tableau 23). Sachant que ces groupes diffèrent de part leur emplacement dans le laboratoire, le facteur pris en considération n'est autre que l'endroit qu'ils occupent. C'est ainsi que des facteurs tels que l'exposition à plus de lumière (face aux fenêtres), à moins d'humidité (proximité des radiateurs) et aux perturbations dues au passage des techniciens, peuvent éventuellement expliquer les variations des quantités de particules qui sont susceptibles d'exister entre les quatre groupes.

Tableau 23. Analyse de la variation des quantités de particules émises en fonction l'emplacement des cages au sein du laboratoire (selon les groupes).

Source	DL	SC	CM	F	P
Groupes	3	0,0001375	0,0000458	0,90	0,469
Erreur	12	0,0006106	0,0000509		
Total	15	0,0007481			

D'après le (Tableau 23) la valeur de p est supérieure à la valeur de α ($\alpha = 0,05$ et $P = 0,469$), indiquant ainsi qu'il n'existe pas des différences statistiquement significatives entre les quantités moyennes de particules émises lors du picorage en considérant le facteur emplacement des cages au sein du laboratoire. Effectivement, les moyennes des 4 groupes du facteur considérées chevauchent ne faisant pas apparaître des groupes distincts, (Tableau 24).

Tableau 24. Comparaison des quantités moyennes des particules émises en fonction de l'emplacement des cages au sein du laboratoire.

				IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé		
Niveau	N	Moyenne	EcartType	-----+-----+-----+-----		
G1	4	0,009975	0,002856	(------*-----)		
G2	4	0,013194	0,011856	(-----*-----)		
G3	4	0,016863	0,001750	(-----*-----)		
G4	4	0,008719	0,002432	(------*-----)		
				-----+-----+-----+-----		
Ecart-type groupé = 0,007133				0,0070	0,0140	0,0210

- Analyse de la variance des quantités de particules captées par les boîtiers témoins selon les groupes de cages

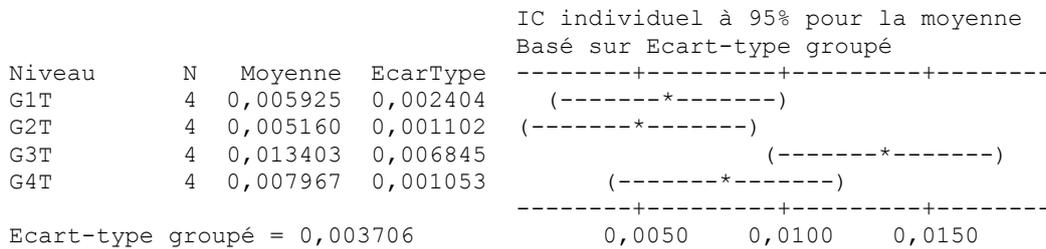
Une analyse de la variance, à un facteur contrôlé, a été réalisée sur les données obtenues par boîtiers témoins par groupes (Tableau 25).

Tableau 25. Analyse de la variation des quantités de particules captées par les boîtiers témoins fonction de l'emplacement des cages au sein du laboratoire. (BT : boîtiers témoins).

Source	DL	SC	CM	F	P
Groupes de BT	3	0,0001661	0,000055	4,03	0,034
Erreur	12	0,0001649	0,0000137		
Total	15	0,0003309			

D'après le (Tableau 25) la valeur de p est inférieure à celle de α ($\alpha = 0,05$ et $P = 0,034$), indique l'existence de différences statistiquement significatives entre certaines moyennes. Il existe donc, des différences significatives entre les quantités de poussières captées par les boîtiers témoins en considérant le facteur emplacement des cages au sein du laboratoire. Effectivement, les moyennes du groupe 1, 2 et 4 du facteur considéré, se chevauchent ne faisant pas apparaître des groupes distincts, comme le montre le (Tableau 26) de comparaison des moyennes. Cependant, la moyenne du groupe 3, semble relativement séparée. Les cages de ce troisième groupe sont placées au fond du laboratoire, à l'abri de toute perturbation.

Tableau 26. Comparaison des valeurs moyennes des quantités de particules captées par les boîtiers témoins en fonction de l'emplacement des cages au sein du laboratoire.



2.2.3.2 L'analyse des quantités de particules captées lors du picorage selon les cages considérées individuellement

- Statistiques descriptives

Pour comparer la distribution des poids des particules captées, lors du picorage par cage, nous avons utilisé des boîtes à moustaches juxtaposées. Les 16 boîtiers de captage au contact des mangeoires remplies d'aliment (Figure 42), montrent une différence dans la distribution des poids de particules. Celle-ci est plus marquée lorsqu'on observe les cages du 3^{ème} groupe avec les cages 9, 10, 11 et 12, qui présentent les moyennes des poids des particules les plus élevées avec un écart interquartile étalé, ce qui indique une grande variation des poids des particules captées dans chacune de ces cages, cet aspect est plus accentué dans la cage 9. Parallèlement, les cages 6, 7 et 8 se distinguent chacune par un écart interquartile le moins étalé, montrant

une variation infime des poids des particules captées dans ces cages. Quatre poids atypiques sont à signalés pour les cages 10, 12, 14 et 8.

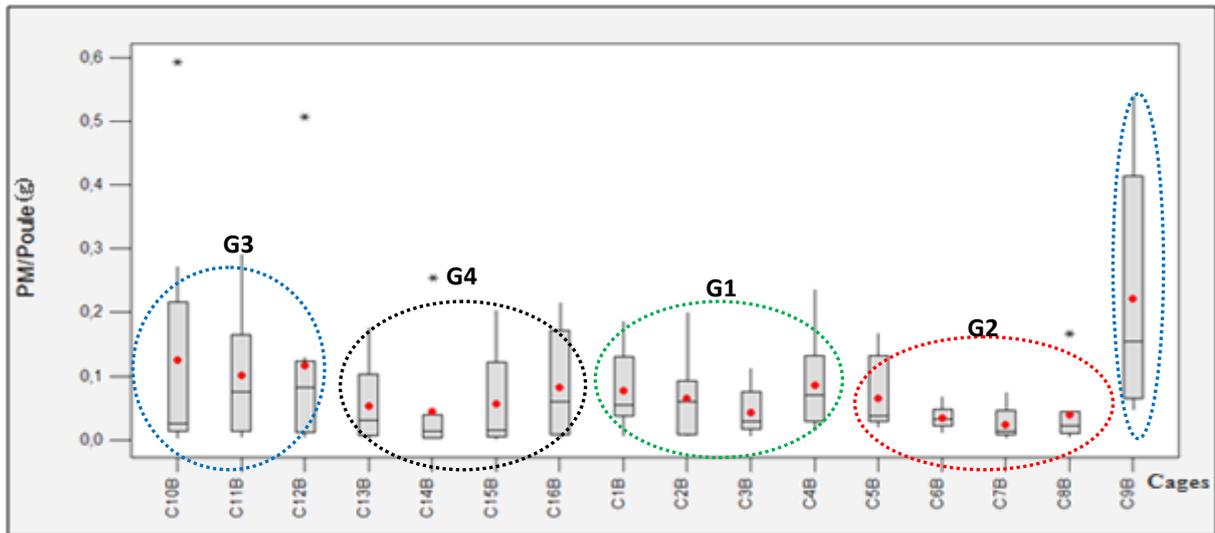


Figure 42. La distribution des poids moyens des particules captées lors du picorage par cages. (Les points plein en rouge représentent les moyennes ; G : groupe).

Par ailleurs, nous avons également comparé les distributions des poids des particules captées par les boitiers témoins en considérant les cages individuellement. Nous avons utilisé les boites à moustaches juxtaposées pour montrer la distribution des poids obtenus à partir des 16 boitiers témoins, ceux au contact des mangeoires vides. La (Figure 43), permet de distinguer la cage 12, qui présente la moyenne la plus élevée avec un écart interquartile le plus étalé. Dans l'ensemble, près de 50% des cages utilisées dans l'expérimentation, présentent un écart interquartile de même taille et par conséquent peu de variation des poids des particules captées dans ces cages. Une moyenne et une médiane assez proche. Par ailleurs, trois poids atypiques sont signalés pour les cages 10, 14 et 4.

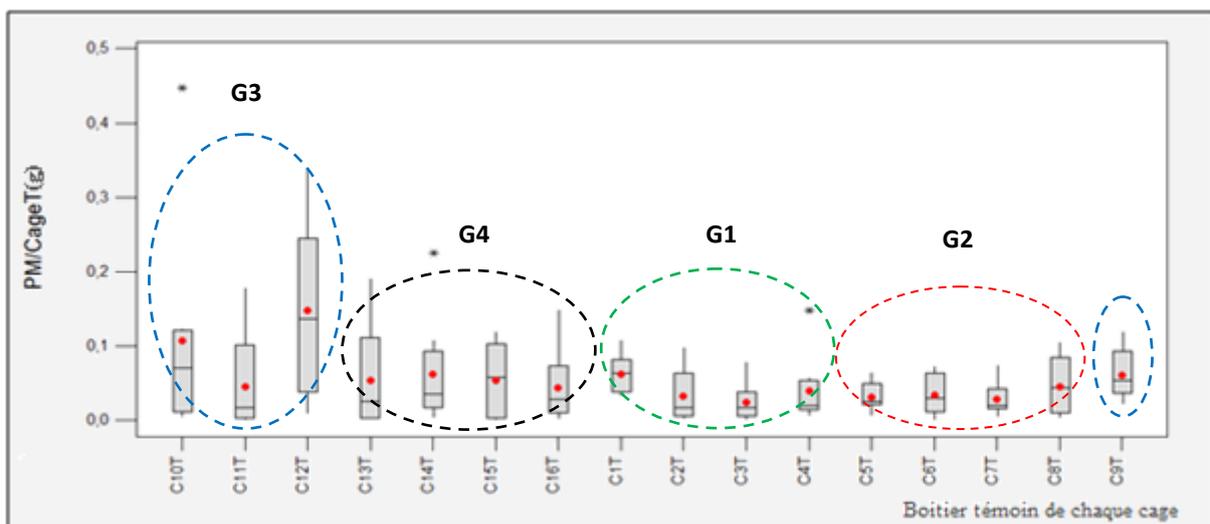


Figure 43. La distribution des poids moyens des particules captées par les boitiers témoins. (PM : particules ; T : boitiers témoins ; points plein rouge : moyennes.)

Analyse de la variation des quantités de particules captées lors du picorage en fonction des cages considérées individuellement

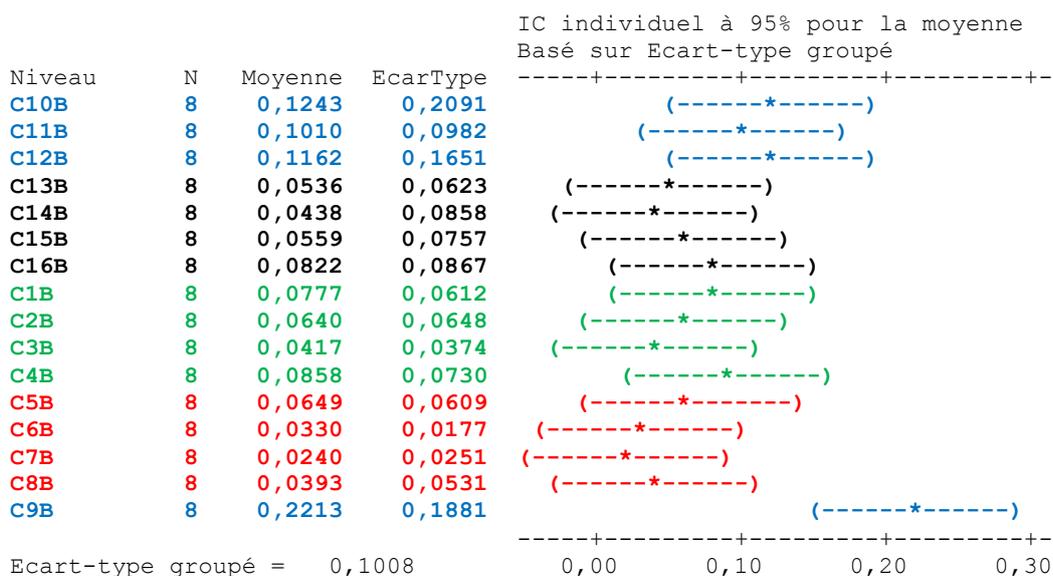
Afin de mieux comprendre ce qui distingue les 4 cages de chaque groupe considéré individuellement, autrement dit pour déterminer s'il existe des différences entre les moyennes des 16 cages de l'expérimentation et si ces différences sont statistiquement significatives, nous avons réalisé une analyse de la variance à un facteur contrôlé, (Tableau 27). La valeur de p étant inférieure au seuil de signification ($p < \alpha$, avec $\alpha = 0,05$) on n'en déduit qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les poids moyens de particules captées par les 16 cages.

Tableau 27. Analyse de la variance des quantités de particules captées par cage.

Source	DL	SC	CM	F	P
Cage	15	0,2808	0,0187	1,84	0,037
Erreur	112	1,1381	0,0102		
Total	127	1,4189			

Le (Tableau 28) montre les quantités moyennes des particules captées lors du picorage par cages qui se chevauchent, ne faisant pas ressortir un groupe en particulier. Cependant, la cage 9 enregistre la plus grande quantité de particules captées. Elle semble se détacher de l'ensemble, mais ne forme pas un groupe distinct.

Tableau 28. Comparaison des valeurs moyennes des quantités (g) de particules captées par cage en fonction des cages considérées individuellement.



- Analyse de la variation des quantités de particules captées avec les boitiers témoins par cage.

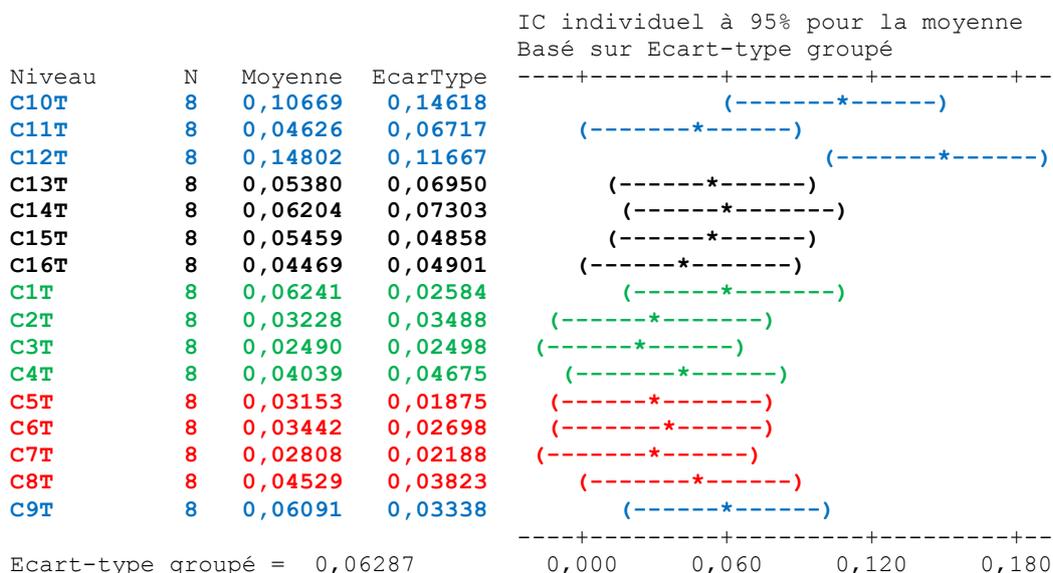
Pour déterminer s'il y a des différences entre les moyennes des particules captées par les boitiers témoins, qui équipent les 16 cages de l'expérimentation, nous avons réalisé une analyse de la variance à un facteur contrôlé (Tableau 29). Du moment que $p < \alpha$, avec $\alpha = 0,05$ on n'en déduit qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les poids moyens de particules captées.

Tableau 29. Analyse de la variance des quantités de particules captées par les boitiers témoins en considèrent les cages individuellement.

Source	DL	SC	CM	F	P
CAGE T	15	0,12062	0,00804	2,03	0,019
Erreur	112	0,44273	0,00395		
Total	127	0,56335			

D'après le (Tableau 30) les quantités des particules captées par les boitiers témoins se chevauchent pour la plus part des cages. Néanmoins, la cage 12 se détache partiellement du reste du groupe, elle pourrait éventuellement constituer un groupe distinct, mais elle chevauche avec les cages, 10, 14 et 1.

Tableau 30. Comparaison des valeurs moyennes des quantités de particules captées par les boitiers témoins en considèrent les cages individuellement.



2.2.4 Le poids réel des particules émises lors du picorage

Le but, de l'utilisation des boitiers témoins dans cette expérimentation, était d'apporter plus de précision à notre dispositif de captage. Le fait que ces derniers ont capté des quantités non négligeables de particules malgré qu'ils soient au contact des mangeoires vides, témoigne de

la présence de sources supplémentaires, autres que le picorage, qui peuvent emmètrant des particules dans l'espace de vies des poules. Cet aspect est à prendre en considération si on veut avoir des connaissances précises sur les quantités émises lors du picorage, en considérant seulement l'action du bec de la poule, dans l'activité de l'alimentation. Afin d'approfondir la compréhension de cet aspect, nous avons soustrait les quantités de particules captées par les boitiers témoins des quantités de particules retenues par les boitiers de captage appartenant aux cages correspondantes.

- **Statistiques descriptives**

A ces données, poids des particules déduit, nous avons appliqué des statistiques descriptives ainsi qu'une analyse de la variance. Le (Tableau 31 et la Figure 44) présentent les statistiques descriptives de ces quantités déduites. Ainsi, la quantité moyenne de particules captées est de l'ordre de 0,00714 g/poule/ jour.

Tableau 31. Statistique descriptives des quantités moyennes de particules déduites par jour g/poule/ jour.

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4
Moyenne	0,00766	0,00471	0,01460	0,00159
Ecart type	0,00355	0,00411	0,00918	0,00265
Médiane	0,00784	0,00360	0,01125	0,00033

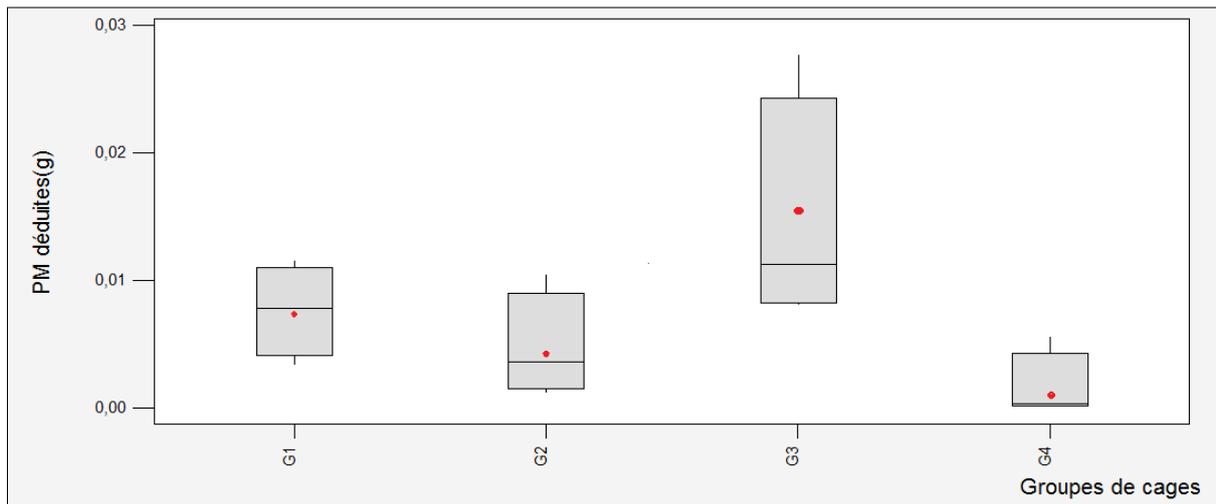


Figure 44. Le poids, déduit, des particules obtenues par picorage. (Les points plein en rouge représentent les moyennes).

- **Analyse de la variation des poids, déduits, de particules**

Pour déterminer s'il y a des différences entre les moyennes de ces particules, nous avons réalisé une analyse de la variance à un facteur contrôlé (Tableau 32). La valeur de p étant

inférieur au seuil de signification ($p > \alpha$, avec $\alpha = 0,05$) on en déduit qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les poids moyens déduits.

Tableau 32. Analyse de la variation des quantités de particules déduites.

Source	DL	SC	CM	F	P
Q particules	3	0,0003703	0,0001234	4,09	0,033
Erreur	12	0,0003624	0,0000302		
Total	15	0,0007327			

Cependant, le (Tableau 33), de comparaison des moyennes, montre que les moyennes se chevauchent. Ce qui ne permet pas de classer ces moyennes.

Tableau 33. Comparaison des valeurs moyennes des quantités (g) de particules déduites.

				IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé		
Niveau	N	Moyenne	EcartType	-----+-----+-----+-----		
G1	4	0,007663	0,003554	(-----*-----)		
G2	4	0,004714	0,004109	(-----*-----)		
G3	4	0,014596	0,009180	(-----*-----)		
G4	4	0,001589	0,002646	(-----*-----)		
Ecart-type groupé = 0,005495				0,0000	0,0070	0,0140

2.2.5 La caractérisation des particules, PM, récupérées à partir des boîtiers de captage et des boîtiers témoins

Lors de la deuxième partie de notre expérimentation, les particules captées par les 32 boîtiers à la fin des neufs essais sont récupérées, pesées et nous avons déterminé leur granulométrie. La récupération des particules à partir des boîtiers à la fin des essais a constitué une difficulté lors de cette expérimentation. En effet, une partie non négligeable des particules restait collée aux parois internes des boîtiers. Cette observation est valable pour les boîtiers de captage et les boîtiers témoins.

- **La granulométrie des particules récupérées à partir des 32 boîtiers de captage**

Pour déterminer la granulométrie des particules récupérées à la fin des neufs essais, nous avons utilisé un tamis de maille 28µm. Ne disposons pas de tamis à mailles plus petites, les fractions obtenues sont soit supérieures ou inférieures à 28µm. Les (Figures 45 et 46) illustrent la granulométrie des particules récupérées à partir des 16 boîtiers de captage et des 16 boîtiers témoins. Dans les deux figures, la fraction supérieure à 28µm est constamment dominante. Cette prédominance est plus visible pour les boîtiers de captage, où la différence entre les deux fractions de la même cage est évidente, elle peut varier de 0.006 à 0.08 g/poule/jour. Le poids de la fraction inférieure à 28µm n'atteint pas le 0.01 g/poule/jour ; cette

tendance est valable pour toutes les cages du groupe 1 et 2 pour les boîtiers de captage et les boîtiers témoins. Dans le reste des cages, le poids de cette fraction, dépasse rarement le 0.01 g/poule/ jour.

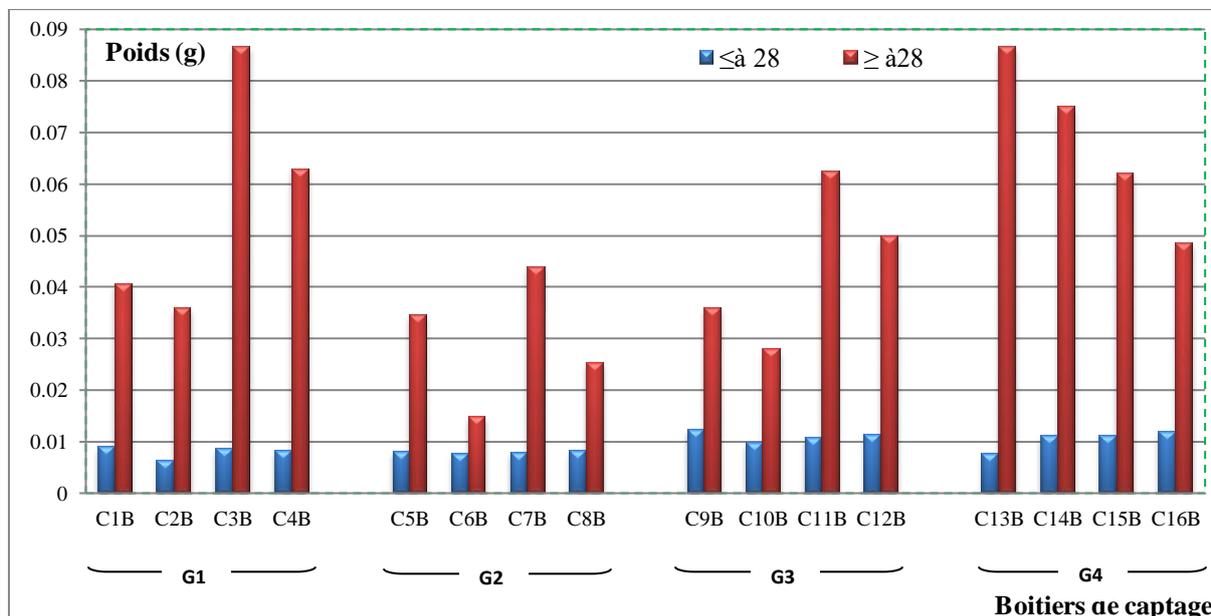


Figure 45. La granulométrie des particules récupérées à partir des 16 boîtiers de captage.

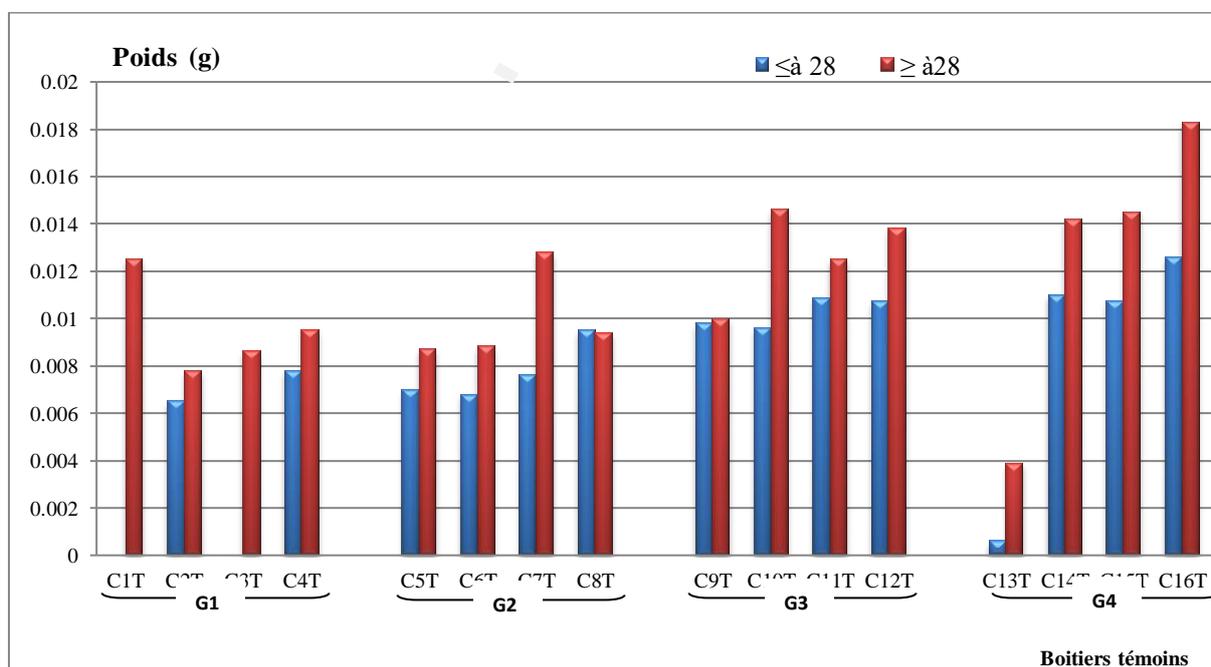


Figure 46. La granulométrie des particules récupérées à partir des 16 boîtiers témoins.

3. Discussion

De nombreuses sources sont incriminées dans l'émission de particules dans un bâtiment d'élevage avicole. L'aliment de part son utilisation et ses caractéristiques, sa granulométrie, le

fonctionnement des équipements de sa distribution, ainsi que le picorage, constitue l'une des plus importantes sources d'émissions de poussières dans les bâtiments d'élevages avicoles. En effet, l'alimentation étant une activité qui se déroule en continue dans la journée est susceptible de générer la plus grande part des poussières produites à l'intérieur des locaux. De ce fait, nous avons décidé d'explorer l'une des pistes de son utilisation, le picorage.

Pour vérifier et évaluer l'émission de particules, par picorage, nous avons réalisé une expérimentation, en considérant l'hypothèse que « la poule est source d'émission de particules via son action d'alimentation, le picorage ». Pour se faire, la conception du dispositif expérimental utilisé est passée par trois étapes, durant lesquelles nous avons testé trois prototypes de boîtiers de captage. Chacun de ces boîtiers avait une structure définie, une partie réservoir, utilisée pour l'accumulation des particules et une partie hotte utilisée pour canaliser le soulèvement des particules vers le haut. De plus, ils diffèrent de part leur emplacement par rapport à la mangeoire. La présence de caches en plastique était également un élément qui différencie les dispositifs. Ces caches étaient utilisés afin de limiter l'influence de particules qui pouvaient s'accumuler à partir d'autres sources autres que le picorage. Les trois boîtiers ont permis le captage des particules émises lors de l'alimentation. Le montage du troisième dispositif semble le plus approprié. Néanmoins, l'utilisation du dernier dispositif a révélée la présence de particules au niveau des boîtiers témoins, placés au dessus de la mangeoire vide. Malgré que les quantités captées à leurs niveaux soient nettement inférieures à celles captées par les boîtiers au dessus des mangeoires remplies d'aliment, la simple présence de particules à leurs niveaux, témoigne de l'implication de sources autres que le picorage dans l'émission de particules lors de l'activité de l'alimentation. On pourrait éventuellement évoquer le gaspillage lors de l'alimentation ; en effet, des quantités non négligeables d'aliment se déversent des mangeoires lors du picorage. C'est d'ailleurs l'une des raisons pour la quelle nous avons réajusté l'emplacement du boîtier de captage par rapport à la mangeoire. Dans le premier dispositif, le boîtier était éloigné de la mangeoire, dans le deuxième et le troisième dispositif, le boîtier couvrait complètement l'ouverture de la mangeoire, de ce fait le déversement de l'aliment était considérablement réduit. L'utilisation du cache en plastique par dessus le boîtier permet, à ceux-là de capter, seulement, les particules émises uniquement lors de picorage. Ainsi, on élimine les poussières, qui auraient pu se déposer sur les boîtiers, en provenance de l'ambiance interne du laboratoire. Le cache placé lors de l'utilisation du troisième dispositif, expliquerait la diminution des quantités de particules captées par rapport à celles interceptées par le deuxième dispositif.

Le troisième dispositif est celui qui a permis le mieux le captage de particules émises lors du picorage. La quantité moyenne de particules captées par cage varie entre 0,00356 et 0,0320 g/poule/jour.

La revue de la littérature cite plusieurs travaux, dans le domaine, qui mesurent les fractions inhalables et respirables dans l'air ambiant des bâtiments de poules pondeuses élevées en cages conventionnelles. Les résultats de ces travaux étaient de 1.7mg/ m³ (Wathes et al, 1997), de 1.22 mg/ m³ (Takai et al, 1998) et de 0.59 mg/ m³ (Zhao et al, 2015) pour les particules inhalables et ils étaient de 0.035 mg/ m³ (Zhao et al, 2015), de 0.1 mg/ m³ (Wathes et al, 1997) et de 0.14 mg / m³ (Takai et al, 1998) , pour les particules respirables. Elles étaient de 0.43 mg/ m³ pour les PM10 et 0.29 mg/ m³ pour les PM2,5 (Hadlocon et al, 2015). Dans des travaux réalisés dans un bâtiment d'élevage de poules pondeuses de la région de Batna, ces quantités variées de 0.051 à 0.346 mg/m³, avec une distribution plus accrue à l'arrière (au fond) du bâtiment (Adjroudi et Bouzeriba, 2013).

Les unités de mesure, utilisées dans la littérature, différent de celle utilisée dans ce travail, ne nous permettent pas de comparer les résultats obtenus avec ceux mentionnés dans la littérature, d'autant plus que l'originalité de ce travail, réside dans la mesure des particules captées lors du picorage, une piste inexplorée jusqu'au aujourd'hui.

Pour déterminer les particules émises lors du picorage dans un élevage de poules pondeuses de la région, nous avons pris en considération, la quantité moyenne des particules captées et mesurées par poule par jour (résultat de l'expérimentation), l'effectif minimum, moyen et maximum des élevages locaux recensés durant l'année 2017, ainsi que la durée moyenne d'un élevage de poules pondeuses de la région (d'après les données de direction de l'aviculture de la wilaya de Batna). Du (Tableau 34) on peut déduire, qu'un élevage de la région de Batna, pourrait produire de 16 à 50 kg de particules par picorage durant sa période de production qui est de 390 j en moyenne. Ainsi, avec seulement une quantité moyenne de 0.01g de particules émises par poule par jour, un effectif moyen de 7384 poules, pourrait produire en moyenne 29kg de particules émises, seulement, lors du picorage durant sa période de production, soit 0.074 kg de particules par jour par bâtiment.

Tableau 34. Estimation des particules émises par picorage en élevage de poules pondeuses de la région.

g/poule/j	Poules / bande	Durée élevage	kg /j /bâtiment	Quantité / élevage	
0,01	minimum	4 000	13 mois = 390 j	0,041	15,6 = 16kg
	moyen	7 384	13 mois = 390 j	0,074	28,78 = 29kg
	maximum	12 594	13 mois = 390 j	0,128	49,11= 50kg

Par ailleurs, les résultats de l'analyse de la variance ont démontré que les quantités de particules captées lors du picorage présentent des différences statistiquement significatives lorsqu'on considère les cages individuellement, ou lorsqu'on considère les cages réunies en groupes. Néanmoins, les moyennes des poids des particules captées se chevauchent dans les deux cas. D'un autre côté, la combinaison de ces résultats avec ceux obtenus à partir des boîtes à moustache, fait ressortir 3 classes de cages, la première, est constituée des cages, ayant des quantités moyennes PM très proches, avec des mesures qui fluctuent très peu ; il s'agit des cages : C6, C7, C8 C14 et C3. La deuxième classe est composée des cages, C2, C5, C13, C15, ayant une moyenne proche de la classel avec une variation importante. La troisième classe regroupe les cages ; C1, C4, C9, C10, C11, C12 et C16, ayant des moyennes élevées et une fluctuation encore plus importante.

Étant donné que ces cages sont placées différemment au sein du laboratoire, on pourrait attribuer la variation des quantités de particules d'une cage à une autre et d'un groupe à un autre, au fait que les seize cages utilisées dans l'expérimentation ne bénéficiaient pas toutes des mêmes conditions. Ainsi, l'exposition au courant d'air (groupe 2), à la lumière (groupe 4), la proximité du lieu de passage (groupe 2 et 4), à l'abri des perturbations (groupe 3) ou encore la proximité de la porte qui donne accès à l'extérieur (groupe 1), pourraient être une explication aux taux plus élevés enregistrés dans le troisième groupe de cages (C9, C10, C11, C12). En effet, ce groupe est à l'écart de toutes agitations qui pourraient détourner l'attention des poules de leur activité majeure, l'alimentation ce qui a engendré une plus importante émission de particules. D'un autre coté, lorsqu'on considère les cages individuellement, les cages aux extrémités de chaque groupe sont plus exposées aux influences externes, notamment aux nombreux passages liés aux activités de distribution de l'aliment, du ramassage des œufs ou du nettoyage. C'est le cas notamment de la cage, 9 du groupe 3, des cages 1 et 4 du groupe 1, de la cage 16 du groupe 4 et de la cage 5 du groupe 2, qui au contraire affichent les plus grandes quantités de particule dans leur groupe respectif malgré leur grande exposition aux perturbations externes.

Cependant, nous pensons que le climat interne a influé le captage de particules durant l'expérimentation. Car nous savons, de part la littérature, que les températures élevées favorisent le soulèvement des particules dans l'air des bâtiments et que l'humidité relative le réduit. Ainsi, en observant les courbes de tendance des variation de la température (Figure 38a), de l'humidité relative (Figure38b) durant les essais et la courbe de variation des poids des particules captées (Figure 39) tout le long de l'expérimentation, on constate que les courbes de tendances sont des paraboles « négatives » pour les paramètres du climat et une

parabole «positive» pour le poids des particules. Ces trois paraboles passent par un minimum (point d'inflexion des courbes) pour la même période de l'expérimentation, durant laquelle les boitiers ont capté le moins. Au vu de l'étendue faible des valeurs des températures, 8°C, et celle, importante, des humidités relatives, 27%, nous considérons que c'est plus l'humidité qui a plus gouvernée la variation de captage de particules.

La granulométrie des particules retenues par les 32 boitiers a révélée que la fraction supérieure à 28µm est plus dominante. Cette dominance est nettement vérifiée avec les 16 boitiers emboîtés dans les mangeoires remplies d'aliment. En effet, le poids des particules récupérées est nettement plus élevé pour la fraction supérieure à 28 µm. Par ailleurs, il est important de comprendre que dans un échantillon environnemental mixte, le nombre total des particules augmentent de manière exponentielle à mesure que le diamètre de la particule diminue. (Anderson, 2012) a démontré que la masse particulaire totale d'une substance diminue généralement de manière exponentielle avec le diamètre de particule décroissant. Autrement dit, dans un échantillon, la majorité numérique des particules serait ultrafine, mais ces particules ne représenteraient qu'une partie négligeable de la masse de particules totale de l'échantillon (plus les particules sont fines moins elles pèsent). Ce même principe pourrait expliquer les résultats de la granulométrie de l'aliment présenté aux poules ; où les fractions les plus grossières seraient les plus dominantes (en termes de poids), et les fractions les plus petites sont faiblement représentées (moins de à 0.5% du poids des échantillons de l'aliment mesuré). Sachant que c'est justement, ces fractions fines de l'aliment qui sont susceptibles de se soulever au niveau des boitiers au moment du picorage.

Conclusion

Dans cette partie de l'étude, nous avons voulu vérifier l'implication de la poule dans l'émission de particules, lors de son activité d'alimentation. A cet effet, un dispositif expérimental a été conçu et adapté au besoin de l'étude. Les résultats obtenus montrent que la poule contribue à l'émission de particules lors du picorage. Les particules émises par poule par jour lors de son alimentation est de l'ordre de 0.01g/poule/jour en moyenne. Les variations des quantités émises semblent statistiquement négligeables, toutefois, il semble qu'elles sont influencées par l'emplacement des cages. Effectivement, l'emplacement suppose des conditions différentes notamment aux niveaux des cages en bordures des groupes. Les paramètres déterminants les émissions de particules lors du picorage semblent être ceux du climat, en particulier l'humidité, mesurée durant l'expérimentation. Cependant, l'influence de la granulométrie de l'aliment sur celle des particules captées n'a pu être établie avec

précision. Néanmoins, les particules récupérées à partir des boîtiers de captage, celles qui se sont soulevées à son niveau lors du picorage, présentent des fractions fines de l'ordre de 28 μm et moins.

Références bibliographiques

- Aarnink, A.J.A., Roelofs, P. F. M. M., Ellen, H. H., Gunnink, H., 1999. Dust sources in animal houses, in Proceedings International Symposium on Dust Control in Animal Production Facilities. Aarhus, Denmark.
- Aarnink, A.J.A., Ellen, H.H., 2007. Processes and factors affecting dust emissions from livestock production, How to improve air quality. International Conference. Maastricht, The Netherlands. in Proceedings of DustConf
- Adjroudi, R., Bouzeriba, L., 2013. Une méthode de mesure de la concentration de poussière a différentes hauteurs dans un bâtiment avicole pour poules pondeuses. Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, du 26 au 28 mars 2013. JRA-JRFG, pp: 151-155.
- Al Homidan, A., Robertson, J.F., 2003. Effect of litter type and stocking density on ammonia, dust concentrations and broiler performance. *British Poultry Science* 44, S7-S8.
- Anderson. J.O., Thundiyil. J.G., Stolbach. A., 2012. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health, *J. Med. Toxicol.* (2012) 8:166–175 DOI 10.1007/s13181-011-0203.
- Bruce, D., Oppermann, M.R., Michel, V., Lund, V., Mejdell, C., 2015. Air Quality in Alternative Housing Systems May Have an Impact on Laying Hen Welfare. Part I—Dust. - 2015.
- Cambra-López, M., Aarnink, A.J.A., Zhao, Y., Calvet, S., Torres, A.G., 2010. Airborne particulate matter from livestock production systems : A review of an air pollution problem, *Environmental Pollution* (2010) 158, 1-17.
- EPA, 2011. “Particulate Matter | Air & Radiation | US EPA”. US Environmental Protection Agency, 6 July 2011. <http://www.epa.gov/pm/>. Accessed on 22 July 2011
- Godbout, S., 2008. Problématiques environnementales émergentes en production animale. Colloque en agroenvironnement, 27 novembre 2008, Drummondville. Rapport final. IRDA.
- Guinand, N., 1998. La qualité de l'air dans les porcheries. *Techniporc*. Vol 21. N°3.
- Hadlocon, L. S., Zhao, L. Y., Bohrer, G., Kenny, W., Garrity, S. R., Wang, J., Wyslouzil, B., Upadhyay, J., 2015. Modeling of particulate matter dispersion from a poultry facility using aermod. *Journal Of The Air & Waste Management Association*, 65(2): 206-217.
- Heederik, D., Sigsgaard, T., Thorne, P.S., Kline, J.N., Avery, R., Bønløkke, J.H., Chrischilles, E.A., Dosman, J.A., Duchaine, C., Kirkhorn, S.R., Kulhankova, K., Merchant, J.A., 2007. Health effects of airborne exposures from concentrated animal feeding operations. *Environmental Health Perspectives* 115, 298-302.
- Paris, C., 2014, Le syndrome toxique des poussières organiques (organic dust toxic syndrome – ODTS), références en santé au travail – N°140.
- Seifert, S.A., Von Essen, S., Jacobitz, K., Crouch, R., Lintner, C.P., 2003. Organic dust toxic syndrome: A review. *J Toxicol Clin Toxicol.* 2003;41(2):185-93.
- Simpson, J.C., Niven R.M., Pickering, C.A., Fletcher, A.M., Oldham, L.A., Francis, H.M., 1998. Prevalence and predictors of work related respiratory symptoms in workers exposed to organic dusts. *Occup Environ Med.* 1998 Oct; 55(10):668-72.
- Stelman, J., 2002. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Vol. 3.

- Takai, H., Pedersen, S., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Groot Koerkamp, P.W.G., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Hartung, J., Seedorf, J., Schroder, M., Linkert, K.H., Wathes, C.M., 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(1), 59-77.
- Yauschew, R.S., 2013. Qualité de l'air dans les couvoirs: quel impact sur la santé des salariés?. - Bretagne occidentale : université de brest, 2013.
- Von Essen, S. G., C. I. Andersen, and L. M. Smith. 2005. Organic dust toxic syndrome: A noninfectious febrile illness after exposure to the hog barn environment. *Journal of Swine Health and Production* 13: 273- 276.
- Wathes, C.M., Holden, M.R., Sneath, R.W., White, R.P., Phillips, V.R., 1997. Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *British Poultry Science* 38(1), 14-28.
- Zhao, Y., Shepherd, T. A., Li, H., Xin, H., 2015. Environmental assessment of three egg production systems—Part I: Monitoring system and indoor air quality.
- Zheng, W., Zhao, Y., Xin, H., Li, B., Gates, R.S., Zhang, Y., Soupir, M., 2013. Concentrations and size distributions of airborne particulate matter and bacteria in an experimental aviary laying-hen chamber transactions of the asabe Volume: 56 Issue: 6 Pages: 1493-1501 Published: NOV-DEC 2013.
- Zhongchao, T., Zhang, Y., 2004. A Review of Effects and Control Methods of Particulate Matter in Animal Indoor Environments, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54:7, 845-854, DOI: 10.1080/10473289.2004.10470950.
- Zucker, B.-A., H. Bonin, and W. Müller. 2005. Relationship between the concentration of different air contaminants and the hygienic condition in two pig fattening houses. In: ISAH 2005, Warsaw, Poland. p 380-382.

CHAPITRE 2

ESTIMATION DES EMISSIONS D'AMMONIAC EN CONDITIONS SEMI-CONTROLEES

Introduction

Dans l'estimation des émissions d'ammoniac plusieurs méthodes sont utilisées au niveau des élevages. Cependant, la majeure partie de ces méthodes évaluent ces gaz à partir des déjections, en abordant plusieurs problématiques et différentes situations.

Les résultats obtenus doivent être pris avec prudence à cause de l'hétérogénéité des concentrations au niveau des sources (ADME, 2010). Le bâtiment, considéré comme poste d'émission d' NH_3 , est composé de nombreux éléments qui peuvent à juste titre, être à l'origine de cette hétérogénéité. Dans cette partie de la thèse, on considère que la poule peut constituer l'un de ces éléments, par conséquent, il semble utile d'explorer sa contribution à la génération d'ammoniac non pas à partir de ses déjections, mais, en considérant des préceptes liés à l'animal lui-même. L'accent est notamment mis sur le métabolisme des composés azotés, où le cæcum aviaire joue un rôle important dans la fermentation d'éléments nutritifs non digérés et le recyclage de l'azote dans l'urine (Svihus et al, 2013). En effet, l'acide urique, qui persiste dans les caeca, est dégradé en acides gras volatils et en ammoniac par une abondante microflore (Karasawa et al, 1988 ; Braun et Campbell, 1989 ; Gabriel et al, 2005 ; Svihus et al, 2013 ; Grashorn et al, 2013). Les acides gras, sont absorbés par le tissu caecal, tandis qu'une partie de l'ammoniac est incorporée dans la production de glutamine (Gabriel et al, 2005), constituant ainsi un mécanisme efficace pour la récupération du carbone et de l'azote de l'urine (Braun et Campbell, 1989). Bien que l'importance quantitative de ce phénomène chez la volaille domestique reste à élucider (Svihus et al, 2013), des travaux de Karasawa (1989), montrent que 77% de l'acide urique injecté dans les caecas étaient dégradés principalement en ammoniac dont une partie est rapidement absorbée par les parois de ceux-ci. L'ammoniac ainsi formé à l'intérieur même de la poule, témoigne de la potentialité de considérer « l'animal » comme une source émettrice, directe, d'ammoniac.

Pour vérifier l'éventuelle contribution de la poule aux émissions de l'ammoniac, nous proposons une méthode, simple au montage et peu coûteuse, basée sur le captage du gaz d'ammoniac, par barbotage en série, dans des solutions d'acide, provenant d'une poule pondeuse sous une cage hermétique (sous cloche). La méthode utilisée est inspirée des travaux réalisés dans le but de mesurer les concentrations de différents gaz émis par les

animaux. Il s'agissait, de l'estimation des émissions de GES (CH_4 et CO_2) par les bovins, réalisée à l'échelle de l'individu, par l'utilisation du Système Greenfeed (Zimmerman et al, 2011; Zimmerman et al, 2013a ; Zimmerman et al, 2013b). De même, les travaux de Shu-Yin Wang et Da-Ji Huang (2005), ont utilisé des chambres de respiration abritant plusieurs poules et où les échantillons de gaz étaient recueillis à l'aide d'une seringue. Aussi, nous avons pris en considération les travaux de (Nascimento, 2017) réalisés pour les mesures des échanges gazeux et les fonctions respiratoires chez les poussins de chair et des poulets. Où une hotte a été utilisée pour permettre les échanges gazeux chez les poulets.

1. Principe de la mesure d'ammoniac par piégeage acide

Cette méthode mesure les quantités cumulées d'ammoniac émis pendant un temps de prélèvement déterminé (Phillips et al, 2001 ; Portejoie et al, 2012). La technique repose sur le fait que l'ammoniac soit un composé basique possédant de l'affinité avec une solution acide. Le prélèvement du gaz par aspiration au niveau de la source est réalisé avec un débit connu et l'air est piégé par une solution acide de concentration connue contenue dans un ou plusieurs flacons en série. Une fois le piégeage réalisé, la solution est titrée au laboratoire selon des méthodes adaptées au niveau de concentration de la solution initiale d'acide ou au niveau de détection de l'appareil analytique disponible (Hassouna et Eglin, 2015). Cette analyse de la quantité en azote ammoniacal (NH_4^+) permet de calculer la quantité d'ammoniac de l'air piégé à travers la connaissance de la masse de la solution de piégeage et le volume d'air piégé l'ayant traversé.

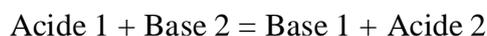
1.1 La solution acide de piégeage

(Hassouna et Eglin, 2015) énumèrent plusieurs solutions acides qui peuvent être utilisées pour le piégeage de l'ammoniac : l'acide sulfurique (H_2SO_4), l'acide borique (H_3BO_4) ainsi que l'acide ortho-phosphorique (H_3PO_4). Ils mentionnent des normalités qui varient de 0,1 à 2N. Par ailleurs, une étude sur les procédures de référence pour la mesure des émissions de polluants gazeux à partir des bâtiments d'élevage et de stockages des effluents (Robin et al, 2010), évoquent l'utilisation de solutions diluées d'acide sulfurique à 0,01 et 0,001N pour contrôler la précision de techniques de mesures de concentration en NH_3 . Une autre étude qui traite l'élimination de l'ammoniac sur divers adsorbants utilise le piégeage de ce gaz par barbotage dans une solution d'HCl à 0,1N (Samanni-vaute et al, 1993). Dans la présente partie de la thèse, la solution de barbotage utilisée ainsi que sa normalité étaient inspirées des travaux énumérés ci-dessus, néanmoins, le choix ultime faisait suite aux travaux de Bouzeriba

et Adjroudi (2012), réalisés dans le but de mesurer les émissions d'ammoniac dans un bâtiment d'élevage de poule pondeuse de la région de Batna. Où le choix de la solution de barbotage était porté sur une solution d'HCl à 10^{-5} N. Cette normalité était choisit après réalisation de nombreux essais préliminaires avec des normalités supérieures. Le seuil de 10^{-5} N, était la normalité qui a pu détecter les concentrations d' NH_3 captées lors du piégeage dans la solution d'HCl.

1.2 Réaction acido-basique

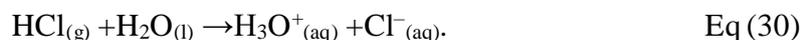
On qualifie de réaction acido-basique une transformation chimique au cours de laquelle, en solution aqueuse, un acide libère un ou plusieurs protons captés par une base. Sachant que les protons H^+ n'existent pas librement dans l'eau, un acide ne pourra en céder que s'il est mis en présence d'une base pouvant l'accepter. La réaction de transfert de proton est appelée réaction acide-base et s'écrit :



L'acide chlorhydrique concentré ou dilué, noté HCl aqueux, se présente essentiellement sous forme d'une solution aqueuse contenant les solutés ioniques suivants :

- Les ions de type oxonium ou hydronium; plus précisément des ions hydrates d'hydrogène noté H_3O^+ diversement solvatés.
- Les ions chlorure Cl on peut l'obtenir par dissolution dans l'eau (H_2O) du gaz chlorure d'hydrogène (HCl).

Lorsqu'on introduit un acide HCl dans l'eau, le proton libéré par l'acide ne reste pas libre, il est cédé à une molécule d'eau, qui joue le rôle d'accepteur d'ions H^+ , donc de base. La solution aqueuse d'acide chlorhydrique est obtenue par réaction acido-basique entre la base eau, $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, et le chlorure d'hydrogène $\text{HCl}_{(g)}$, qui est un acide gazeux appartenant au couple $\text{HCl}_{(g)} / \text{Cl}^-_{(aq)}$ (Kroonen.G et al, 2000) ; l'équation chimique de cette réaction est :



De la même manière, lorsqu'on introduit une base NH_3 dans l'eau, on observe la formation d'ions ammonium NH_4^+ ; le proton fixé par la base ne peut provenir que d'une molécule d'eau, qui dans ce cas joue le rôle de donneur d'ion H^+ , donc d'acide (Kroonen.G et al, 2000). La solution aqueuse d'ammoniac est obtenue par dissolution de l'ammoniac gazeux dans de l'eau, l'échange d'ion H^+ au sein de la solution aqueuse est donné par les équations suivantes:



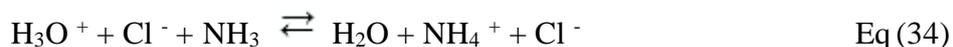
Dosage de l'ammoniac NH_3 par l'acide chlorhydrique

Un dosage acido-basique fait intervenir une réaction acide-base totale entre le réactif à doser et un réactif titrant de concentration connue. On dit qu'il y a équivalence lorsque les réactifs ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques. Le repérage de l'équivalence permet de déterminer la quantité de matière du réactif à doser.

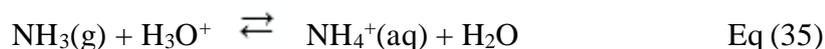
On peut repérer l'équivalence par le virage d'un indicateur coloré acido-basique, à condition d'en choisir un dont la zone de virage englobe le pH à l'équivalence : par exemple le rouge de méthyle (zone de virage 4,2 – 6,2), Hélianthine (zone de virage 3,2 – 4,4).

L'équation de la réaction

Dans la solution de barbotage, il y a de l'acide chlorhydrique, donc des ions oxonium H_3O^+ . L'ammoniac y a barboté et se retrouve sous sa forme acide NH_4^+ (ion ammonium). L'acide chlorhydrique (réactif titrant) est totalement ionisé en ions oxonium H_3O^+ (actifs) et en ions chlorure Cl^- (passifs). Les deux équations ci-dessous montrent, qu'à l'équivalence, on trouve, dans la solution aqueuse, deux types d'ions majoritaires : les ions chlorures Cl^- passifs (spectateurs) et les ions ammonium NH_4^+ , acides. Par conséquent, à l'équivalence le pH acide est inférieur à 7.



Quand l'ammoniac se dissout :



Du point de vue acido-basique, et sans parler de l'eau, il y a 2 espèces présentes : H_3O^+ et NH_4^+ .

2. Matériel et méthode

Afin de vérifier si l'hypothèse d'une éventuelle émission d'ammoniac à partir de l'animal lui-même pouvait être possible, nous avons procédé au montage d'un dispositif expérimental où nous avons mis une poule sous cloche individuelle.

L'expérimentation a été réalisée au niveau de l'institut d'agronomie de l'université Batna1. Elle s'est déroulée de la fin Mai jusqu'à la fin Juin 2016, elle a englobé 14 essais. Cependant, avant le début de ces essais, nous avons précédé cette expérimentation par la

conception et le montage des dispositifs expérimentaux, une étape qui a nécessité de nombreux réglages, notamment ceux concernant le circuit de barbotage et les pompes d'aspiration de l'air. Parallèlement, nous avons préparé la solution acide de barbotage à la normalité requise.

Une fois toutes les préparations effectuées, nous avons réalisé des essais préliminaires afin de mettre au point les derniers ajustements. Il est à noter, que plusieurs essais à blanc étaient nécessaires pour adapter la fréquence et l'intensité avec lesquelles les bulles parviennent aux niveaux des trois flacons de chaque dispositif.

2.1 Matériel

2.1.1 Matériel biologique

Dans cette expérimentation, nous avons utilisé trois poules de souche « ISA-Brown », âgées de 20 semaines, au début des essais. Pour les besoins de l'étude, les poules ont été élevées dans le même laboratoire dans des cages individuelles distinctes de celles utilisées lors des essais.

L'aliment distribué à ces poules est le même durant toute l'expérimentation. Il est constitué de 60% de maïs, de 20% de tourteau de soja, de 8% de son gros, de 6 % de calcaire, de 4.5% de phosphate bi calcique et de 1.5 % CMV (complément minéraux et vitamines).

2.1.2 Dispositif expérimental

Pour réaliser l'expérimentation de captage de l'ammoniac, nous avons procédé au montage de trois dispositifs identiques. Ces dispositifs sont constitués de cages, du matériel pour le piégeage et le barbotage du mélange gazeux émis à l'intérieur de la cloche (cage et cache en plastique) et du matériel pour la mesure des paramètres d'ambiance.

Les cages

Six cages identiques ont été utilisées, dans cette expérimentation, trois cages ont servi pour l'élevage des poules au sein du laboratoire et les trois autres pour le dispositif expérimental. Celles-ci sont en plastique, et font 62 cm de hauteur, avec une base rectangulaire, ouverte, qui fait 0.2 m² ; et un toit carré de 0.19 m² (Photos 10 a et b).

En-dessous des cages destinées à l'élevage, nous avons placé une boîte en bois de 7cm de profondeur, le fond de celui-ci était muni d'une feuille en carton destinée à recevoir les effluents de la poule, son remplacement s'effectuait une fois tous les trois jours. Parallèlement, pour les cages destinées aux essais, nous avons placé une grille métallique qui faisait office d'aire de grattage pour la poule.

La mise sous cloche recherchée dans cette expérimentation est assurée par un cache en plastique transparent, qui couvre la cage. Lors des essais, le cache est fixé à la paillasse à l'aide de ruban adhésif, assurant l'étanchéité, totale, de la cage.



Photo 10 (a et b). La cage utilisée dans le piégeage de l'ammoniac surmontée du cache en plastique.

Le circuit de captage par le barbotage en série

Durant les essais chaque cage est munie de deux pompes : la première pompe, aspire l'air intérieur de la cage et la deuxième le renouèle par de l'air de l'extérieur du laboratoire. Ces deux pompes sont de type «champion CX.0078, Aquarium Air Pump. (Air out put.0078C.C/min) »

La pompe qui extrait l'air de la cage, est reliée par des conduits en plastique de 5mm de diamètre à la solution, acide, de barbotage. Cette solution est contenue dans trois flacons (gradués) en verre, reliés en série et faisant face à la cage. La communication entre ces flacons est assurée par deux tubes de diffusion en verre, portés par leur couvercle en caoutchouc et pourvus à leur extrémité externe de conduite en plastique. L'un des deux tubes permet le passage du flux d'air dans la solution, l'autre son refoulement vers le flacon suivant, ainsi de suite jusqu'au dernier flacon (Figure 47, Photo 11).

La solution de barbotage utilisée dans cette expérimentation, est une solution d'acide chlorhydrique (HCl) à $10^{-5}N$, à laquelle nous avons ajouté quelques gouttes de rouge de méthyle, utilisé comme un indicateur coloré.

Les mesures de l'humidité et de la température

Pour la mesure de la température et de l'humidité relative de l'air ambiant ainsi que l'humidité relative et la température à l'intérieure des cages nous avons utilisé un Thermo hygromètre : (RANGE : HUMIDITY : 10-95% TEMP :-20°C-60°C /-4°F-140°F TYPE-K :-50°C-1370°C/-58°F-2498°F. BATTERY SIZE AAA 1.5V*6).

Enfin, un chronomètre a été utilisé pour la détermination de la durée de piégeage.

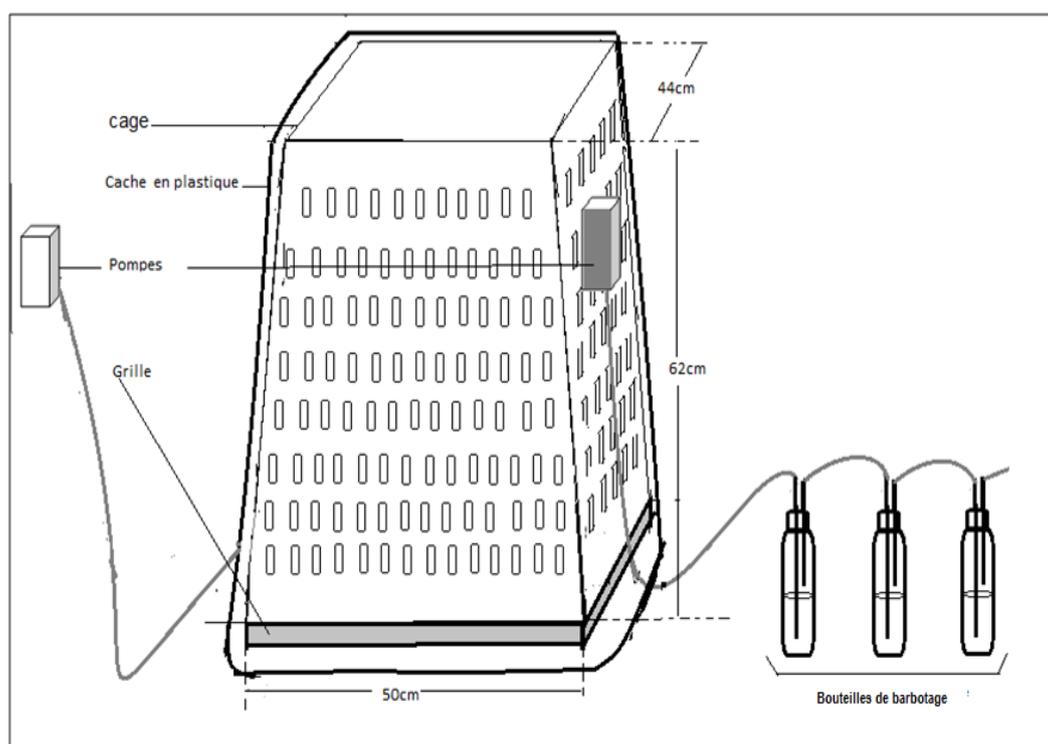


Figure 47. Schéma du dispositif expérimental utilisé pour le captage de l'ammoniac.

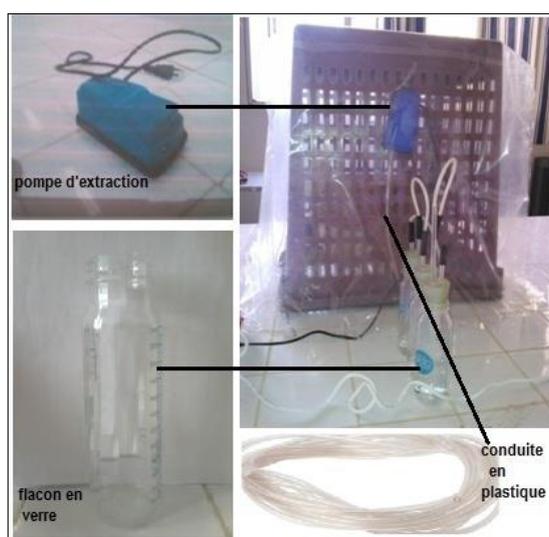


Photo 11. Le matériel utilisé dans le captage de l'ammoniac.

2.2 Méthode

Cette expérimentation, consiste à piéger l'ammoniac contenu dans le volume d'air délimité par la cage et son cache en plastique (la cloche), en l'aspirant par une pompe. L'air aspiré est refoulé vers une solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 10^{-5} N contenue dans des flacons branchés en série. L'air piégé est chargé de molécules de différents gaz, lorsqu'il barbote dans la solution acide, le gaz d'ammoniac se transforme en ammonium (NH_4^+). La concentration en ammoniac de l'air piégé, est calculée via la connaissance du volume d'air aspiré, qui dépend du débit de la pompe et du temps de virage de la couleur de la solution acide.

Dans cette expérimentation, nous avons trois dispositifs identiques. L'avantage du piégeage en série est de capter le maximum si non la totalité de l'ammoniac (Photo 12).



Photo 12. Le dispositif expérimental d'estimation de l'ammoniac.

L'expérimentation a comportée 14 essais, qui se sont déroulés pendant une période de 49 jours (7 semaines). La fréquence de réalisation était de deux essais par semaine.

Étalonnage des pompes

Avant d'entamer les essais, nous avons procédé à l'étalonnage des pompes utilisées. Les débits des pompes qui assurent l'entrée et la sortie d'air à partir des cages sont examinés. Le but étant de préciser le volume d'air refoulé par chaque pompe. Les valeurs estimées figurent dans le (Tableau 35).

Tableau 35. Débit des pompes utilisées dans l'expérimentation.

	cage1		cage 2		Cage 3	
	pompe entrée	pompe sortie	pompe entrée	pompe sortie	pompe entrée	pompe sortie
Débit Q(L/min)	1.18	0.80	1.25	1.18	1.23	1.19
volume air(L)	70.8	48	75	70.8	73.8	71.4

NB : Les volumes d'air, par heure, refoulés par chaque pompe sont notés en gras dans le (Tableau 35) et correspondent aux valeurs utilisées dans le calcul de détermination des concentrations d'ammoniac.

Déroulement des essais

Les essais commencent avec la mise sous cloche des poules. La cloche, individuelle, correspond à la cage surmontée du cache en plastique transparent. Auparavant, on nettoie les pattes des poules soigneusement à l'aide d'un pinceau, et on aérant leurs plumes par l'agitation des ailes lors de leur déplacement des cages de vie jusqu'aux cages des essais. La même poule est affectée à la même cloche durant les 14 essais. Une fois la poule en place, le dispositif est méticuleusement fermé et le renouvellement de l'air est uniquement assuré par la pompe d'entrée d'air à la cage, Cette dernière est placée en dehors du laboratoire via une fenêtre qui donne vers l'extérieur (Photo 13), pendant que l'autre pompe refoule l'air sous cloche vers les bouteilles de barbotage.

Chacun des 3 flacons de barbotage contient un volume de 140 ml de la solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 10^{-5} N, plus quelques gouttes de rouge de méthyle.



Photo 13. L'emplacement des pompes de renouvellement de l'air des cages.

L'essai commence avec la mise en marche simultanée des deux pompes de chaque cage. Pendant la durée du captage, l'air de la cage prélevé par la pompe d'extraction (de sortie), passe dans la solution de barbotage en empruntant le circuit qui lui est destiné. De ce fait, les bulles d'air formées dans la solution de barbotage, parcourent une colonne d'une hauteur de 12 cm de solution dans chaque flacon. Le passage de l'air d'un flacon à un autre libère progressivement les bulles qui échangent leur contenu avec la solution.

La couleur de la solution rouge au début de l'essai, se modifie au fur et à mesure que l'ammoniac est introduit et change progressivement pour donner au final une couleur jaune franche. Le temps du changement de la couleur de la solution est déterminé pour chaque bouteille de barbotage. Les températures et l'hygrométrie de chaque cage, sont mesurées au début et à la fin du captage en introduisant la sonde du thermo-hygromètre sous le cache en plastique, avant d'activer les pompes (début des essais) et après leur arrêt (fin des essais). Les températures et les humidités relatives extérieures sont mesurées dans l'air ambiant du laboratoire au de début de chaque essai, à 10:00 heures du matin.

2.3 Traitement des données

Durant ces essais, nous avons déterminé la concentration de NH_3 , présente dans l'air extrait de la cage, captée dans les solutions de barbotages. Les dispositifs expérimentaux sont semi contrôlés. Les paramètres d'ambiance températures et humidités relatives intérieures et extérieures, n'étant pas contrôlés, nous les avons juste mesurées. Pour toutes ces valeurs, nous avons réalisé des statistiques descriptives ainsi qu'une analyse de la variance à l'aide du logiciel « MINITAB Version13.31 ».

3. Résultats

3.1 La variation des concentrations d'ammoniac

Les concentrations d'ammoniac mesurées lors des 14 essais variaient entre 0.2 et 1.37 ppm, (Figure 48, Tableau 36). Avec une moyenne de $0,66 \text{ ppm} \pm 0,34$. Cette figure révèle que les concentrations mesurées au niveau de la première cage, sont toujours plus élevées que celles mesurées dans les deux autres cages lors du même essai, rappelons que chaque poule occupe la même cage durant chacun des 14 essais.

Tableau 36. Statistiques descriptives des concentrations d'ammoniac lors des 14 essais (ppm).

Variable	N	Moyenne	Médiane	Ecart Type	Minimum	Maximum	1 ^{er} quartil	3 ^{ème} quartil
NH_3	42	0,6612	0,6200	0,3454	0,2000	1,3700	0,3475	0,9600

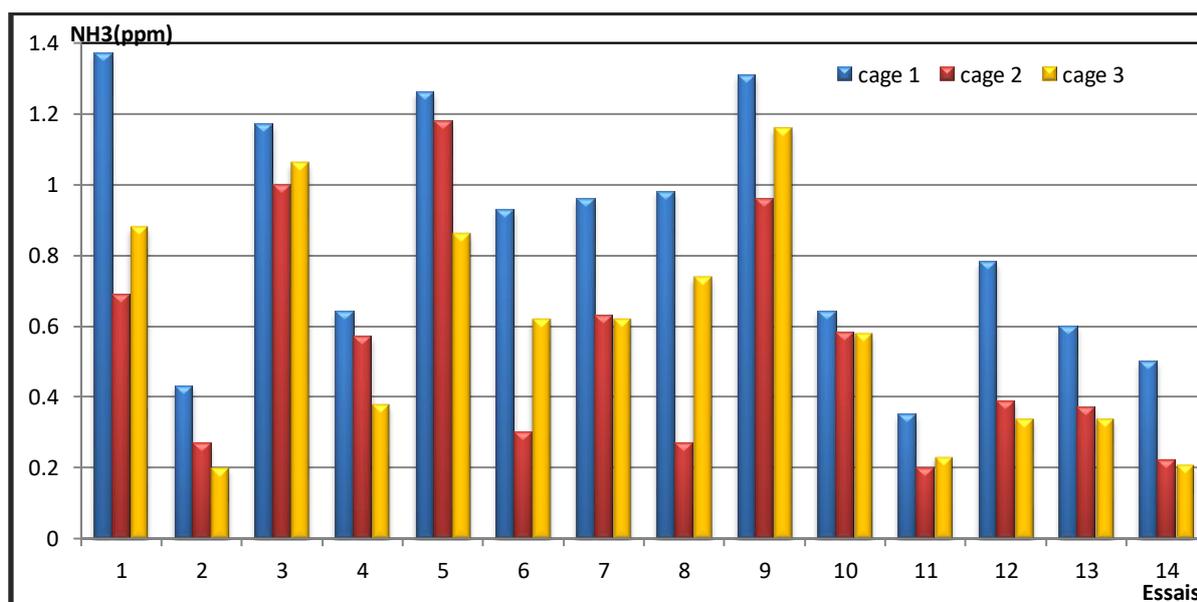


Figure 48. La variation des concentrations d'ammoniac durant les 14 essais dans les trois cages.

3.2 La variation des concentrations d'ammoniac en fonction des cages considérées individuellement

3.2.1 Statistiques descriptives

La (Figure 49 et le Tableau 37) présentent les concentrations moyennes d'ammoniac par cage pour les 14 essais.

Tableau 37. Statistiques descriptives des concentrations d'ammoniac (ppm) mesurées dans chaque cage durant les 14 essais.

Variable	N	moyenne	Médiane	Ecart type	min	max	Q1	Q2
cage 1	14	0.85	0.85	0.34	0.35	1.37	0.57	1.19
cage 2	14	0.54	0.48	0.32	0.20	1.18	0.27	0.76
cage 3	14	0.59	0.60	0.32	0.16	0.20	0.31	0.86

Le (Tableau 37) mentionne les valeurs moyennes des concentrations de NH_3 , qui sont, $0,85 \pm 0,34$; $0,54 \pm 0,32$ et $0,59 \pm 0,32$ ppm, respectivement pour les cages 1, 2 et 3. Les concentrations mesurées dans la première cage sont visiblement supérieures.

Pour analyser la distribution des concentrations d'ammoniac par cage et pour tous les essais, nous avons utilisé les boîtes à moustaches juxtaposées. La (Figure 49) montre que les concentrations mesurées dans chaque cage sont variables. Les cages 2 et 3 se ressemblent et sont différentes de la cage 1.

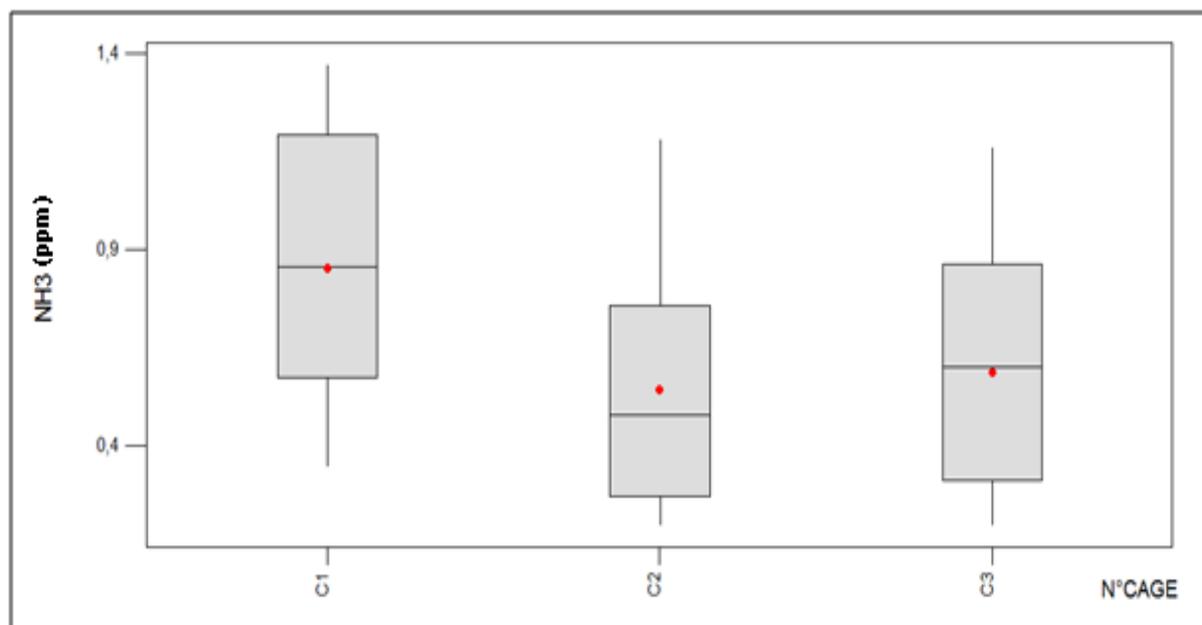


Figure 49. La distribution des concentrations d'ammoniac en fonction des cages considérées individuellement.

(C : cages, Les points plein en rouge représentent les moyennes)

3.2.2 Analyse de la variance (ANOVA) à un facteur contrôlé des concentrations d'ammoniac en fonction des cages considérées individuellement

Lors de chaque essai, les concentrations d'ammoniac mesurées dans la cage 1 sont supérieures à celles mesurées dans les cages 2 et 3. Afin de vérifier ce constat, nous avons réalisé une analyse de la variance des concentrations d'ammoniac en fonction des cages considérées séparément (Tableaux 38).

Tableau 38. L'analyse de la variance des concentrations d'NH₃ mesurées dans chaque cage lors des 14 essais.

Source	DL	SC	CM	F	P
Cages	2	0,772	0,386	3,66	0,035
Erreur	39	4,118	0,106		
Total	41	4,890			

D'après le (Tableau 38), la valeur de p est inférieure à α ($\alpha = 0,05$). Ce qui indique qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les moyennes des concentrations mesurées dans chaque cage.

Cette constatation est confirmée par le (Tableau 39), de la comparaison des valeurs moyennes des concentrations d'ammoniac par cage, où la moyenne représentant les concentrations mesurées dans la cage 1 se distingue par rapport aux moyennes mesurées dans les deux autres cages. Celles-ci forment un groupe distinct qui toutefois, chevauche partiellement avec la moyenne des concentrations mesurées dans la première cage.

Tableau 39. Comparaison des valeurs moyennes des concentrations d'ammoniac des cages considérées individuellement.

Niveau	N	Moyenne	EcartType	IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé
C1	14	0,8514	0,3388	(-----*-----)
C2	14	0,5450	0,3166	(-----*-----)
C3	14	0,5871	0,3189	(-----*-----)
Ecart-type groupé = 0,3249				0,40 0,60 0,80 1,00

3.3 La variation des concentrations d'ammoniac en fonction des essais

3.3.1 Statistiques descriptives

Afin de comprendre la distribution des concentrations mesurées lors de chaque essai, nous avons pris en compte la concentration moyenne des trois cages lors de chacun des 14 essais (Tableau 40). Les valeurs moyennes de ces concentrations avoisinent ou dépassent 1 ppm lors

des essais 1, 3, 5 et 9. Où la concentration moyenne est de $0,98 \pm 0,35$ ppm pour le premier essai, elle est de $1,07 \pm 0,08$ ppm pour le troisième essai, elle est de $1,1 \pm 0,21$ ppm pour le cinquième essai et elle est de $1,14 \pm 0,17$ ppm pour le neuvième essai. Les concentrations moyennes les plus petites sont enregistrées lors des essais 2, 11, 13 et 14 elles sont, respectivement, de $0,30 \pm 0,11$ ppm, de $0,26 \pm 0,07$ ppm, de $0,43 \pm 0,14$ ppm et de $0,31 \pm 0,16$ ppm.

On note toutefois que, les concentrations moyennes mesurées lors des essais restants, essais 4, 6, 7, 8, 10 et 12, présentent des valeurs moyennes comprises entre les concentrations des deux groupes mentionnés au par avant. Elles varient de 0,50 à 0,73 ppm.

Par ailleurs, l'étendue interquartile est plutôt importante indiquant une grande variabilité des concentrations lors de chaque essai, excepté pour l'essai 10, où très peu de variabilité des concentrations est enregistrée.

Tableau 40. Statistiques descriptives des concentrations d'ammoniac en fonction des essais.

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Q1	Q3
E1	3	0,980	0,880	0,980	0,351	0,690	1,370
E2	3	0,300	0,2700	0,3000	0,1179	0,2000	0,4300
E3	3	1,08	1,0600	1,0767	0,0862	1,0000	1,1700
E4	3	0,530	0,5700	0,5300	0,1345	0,3800	0,6400
E5	3	1,100	1,180	1,100	0,212	0,860	1,260
E6	3	0,617	0,620	0,617	0,315	0,300	0,930
E7	3	0,737	0,630	0,737	0,193	0,620	0,960
E8	3	0,663	0,740	0,663	0,361	0,270	0,980
E9	3	1,143	1,160	1,143	0,176	0,960	1,310
E10	3	0,600	0,5800	0,6000	0,0346	0,5800	0,6400
E11	3	0,260	0,2300	0,2600	0,0794	0,2000	0,3500
E12	3	0,503	0,390	0,503	0,241	0,340	0,780
E13	3	0,437	0,3700	0,4367	0,1422	0,3400	0,6000
E14	3	0,310	0,2200	0,3100	0,1646	0,2100	0,5000

3.3.2 Analyse de la variance (ANOVA) à un facteur contrôlé des concentrations d'ammoniac en fonction des essais

D'après le (Tableau 41), la valeur de p est inférieure à α ($\alpha = 0,05$), ce qui indique qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les concentrations moyennes mesurées lors de chaque essai. Par contre, le (Tableau 42), qui représente la comparaison des concentrations moyennes d'ammoniac en fonction du facteur essai, ne fait pas ressortir de groupes clairement distincts. En effet, les moyennes se chevauchent, néanmoins, les essais 1, 3, 5 et 9 semblent

former le groupe des valeurs moyennes les plus élevées et les essais 2, 11 et 14 celui des valeurs les plus faibles.

Tableau 41. L'analyse de la variation des concentrations d'NH₃ mesurées lors des 14 essais.

Source	DL	SC	CM	F	P
N° Essai	13	3,6540	0,2811	6,37	0,000
Erreur	28	1,2363	0,0442		
Total	41	4,890			

Tableau 42. Comparaison des concentrations moyennes d'ammoniac mesurées par essais.

Niveau	N	Moyenne	EcartType	IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé
E1	3	0,9800	0,3509	(-----*-----)
E10	3	0,6000	0,0346	(-----*-----)
E11	3	0,2600	0,0794	(-----*-----)
E12	3	0,5033	0,2409	(-----*-----)
E13	3	0,4367	0,1422	(-----*-----)
E14	3	0,3100	0,1646	(-----*-----)
E2	3	0,3000	0,1179	(-----*-----)
E3	3	1,0767	0,0862	(-----*-----)
E4	3	0,5300	0,1345	(-----*-----)
E5	3	1,1000	0,2117	(-----*-----)
E6	3	0,6167	0,3150	(-----*-----)
E7	3	0,7367	0,1935	(-----*-----)
E8	3	0,6633	0,3612	(-----*-----)
E9	3	1,1433	0,1756	(-----*-----)

Ecart-type groupé = 0,2101

La variation des concentrations moyennes d'ammoniac par essai (la moyenne des trois cages), (Figure 50), montre que la concentration mesurée lors du 2^{ème} essai, ainsi que celles mesurées lors des quatre derniers essais (essais 11, 12, 13 et 14) étaient moins importantes que le reste des concentrations, elles sont inférieures à 0.5 ppm.

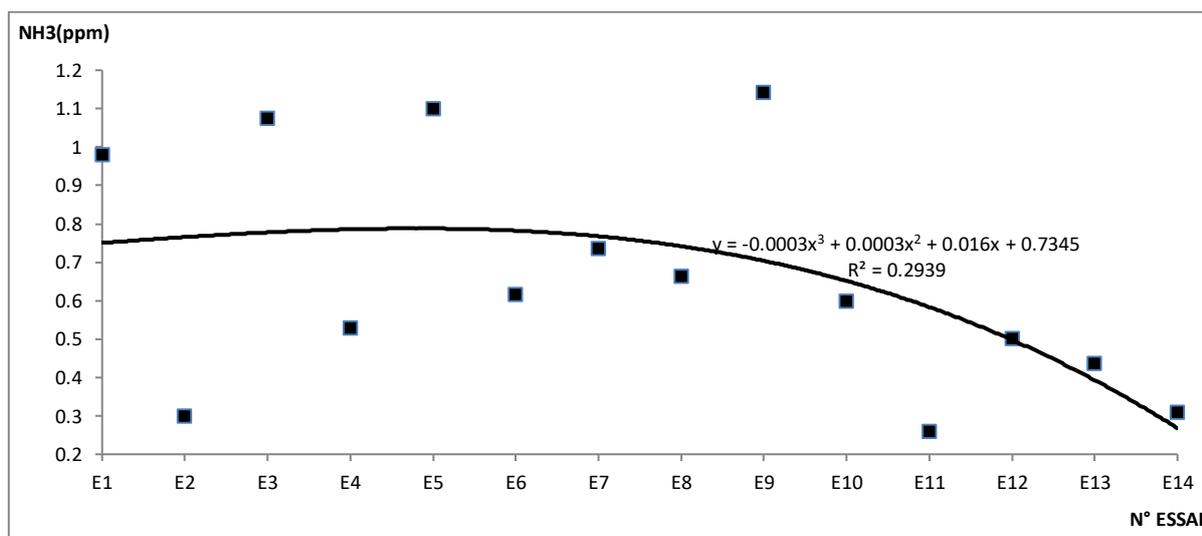


Figure 50. La variation des concentrations moyennes d'ammoniac, des 3 cages, à chaque essai.

3.4 La variation des paramètres d'ambiance, la température et l'humidité relative, durant les 14 essais.

Les températures ambiantes enregistrées durant les essais, sont comprises entre 6.8 et 19.2°C (Tableau 43). Elles sont inférieures à celles mesurées à l'intérieur des cages au début et à la fin de chaque essai (Figure 51a). Celles-ci sont proches entre elles, généralement nettement plus élevées à la fin qu'au début.

En effet, les températures intérieures du début, ont variées entre 10.9°C enregistrée lors du 12^{ème} essai dans les cages 1 et 2 et 20.3°C enregistrée lors du 14^{ème} essai dans les 3 cages.

Les valeurs des températures intérieures finales ont variées entre 14.3°C enregistrée lors du 2^{ème} et du 12^{ème} essai dans les cages 3 et 2 cités dans l'ordre et 21.8°C enregistrée lors du 10^{ème} essai dans la cage 2.

Conjointement, l'humidité relative a variée entre 30.8 % et 60.1 % (Figure 51b, Tableau 43). Ces valeurs d'humidité relative mesurées dans l'ambiance du laboratoire sont distinctement inférieures à celles mesurées à l'intérieur des cages, au début et à la fin des essais.

En effet, l'humidité relative intérieure du début (moyenne des 3 cages), a variée entre 47.93 % enregistrée lors du 11^{ème} essai et 69.47 % enregistrée lors du 1^{ème} essai.

L'humidité relative intérieure de la fin (moyenne des 3 cages), a variée entre 62.03 % enregistrée lors du 5^{ème} essai et 86.33 % enregistrée lors du 2^{ème} essai.

Les paramètres du climat, température et humidité, n'affichent pas de tendances nettes, fluctuent d'un essai à un autre. Toutefois, si l'on considère ces mesures dans l'ensemble, les températures tendent à augmenter, notamment à partir du 8^{ème} essai. A l'inverse l'humidité tend à diminuer lors de cette période, en particulier à partir du 10^{ème} essai.

Tableau 43. Statistiques descriptives des paramètres d'ambiances, températures et humidité lors des essais.

Variable	N	moyenne	Médiane	Ecart type	min	max	Q1	Q3
T° ext	14	13,43	13,45	3,77	6,80	19,20	9,95	16,20
H% ext	14	43,86	42,95	7,17	30,80	60,10	40,03	47,85

La comparaison des (Figures 50, 51a et 51b) révèle que les températures durant la période des derniers essais tendent à augmenter, à l'opposé l'humidité enregistrée durant cette même période tend à diminuer et c'est pour cette même période qu'on a mesuré les plus basses concentrations d'ammoniac.

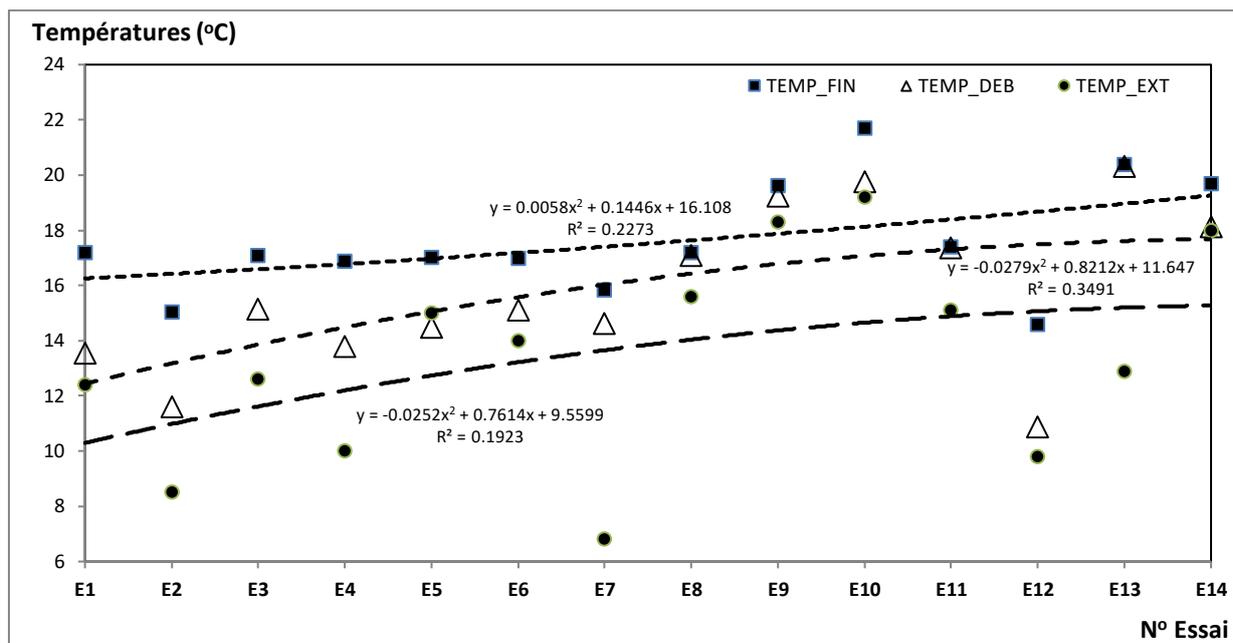


Figure 51 a. La variation moyenne de la température, des 3 cages, à chaque essai.

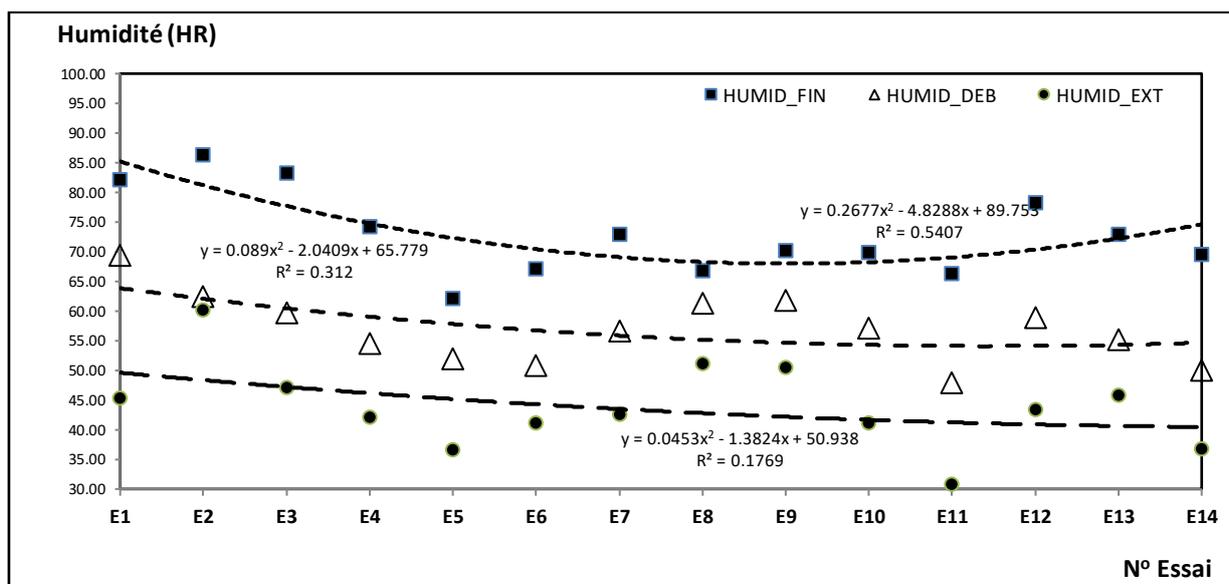


Figure 51b. La variation moyenne de l'humidité, des 3 cages, à chaque essai.

3.4.1 La variation des quantités de l'ammoniac captées en fonction des paramètres du climat

La variation des concentrations moyennes d'ammoniac captées en fonction des paramètres du climat interne de la cage, dans laquelle se trouve la poule pendant la durée de chaque essai, est présentée en fonction de la température du début de l'essai (Figures 52), à la fin de l'essai (Figures, 53), et en fonction de l'humidité au début de l'essai (Figures 54) et à la fin de l'essai (Figures 55).

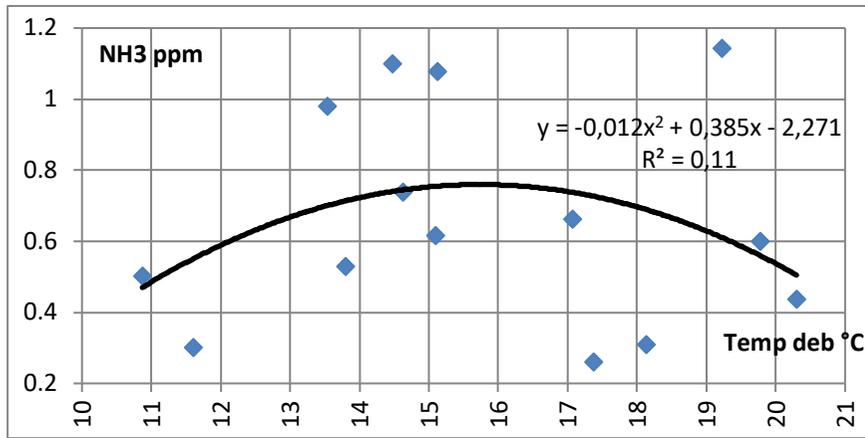


Figure 52. Variation du NH₃ selon la température du début de l'essai.

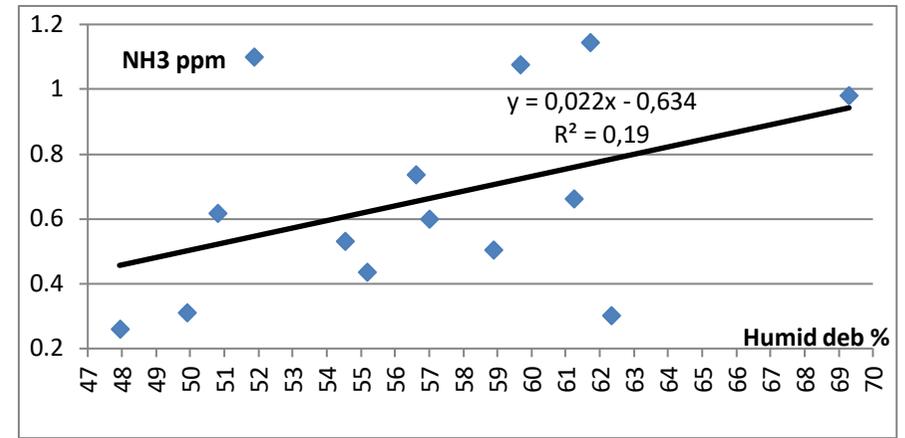


Figure 54. Variation du NH₃ selon l'humidité du début de l'essai.

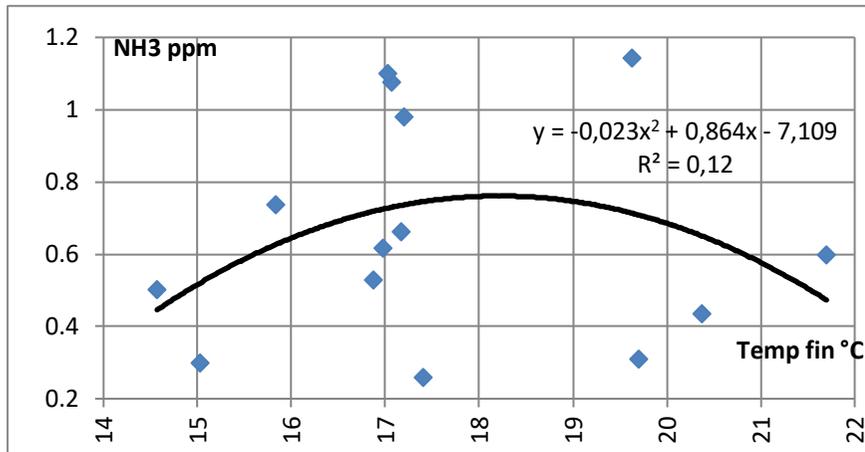


Figure 53. Variation du NH₃ selon la température à la fin de l'essai.

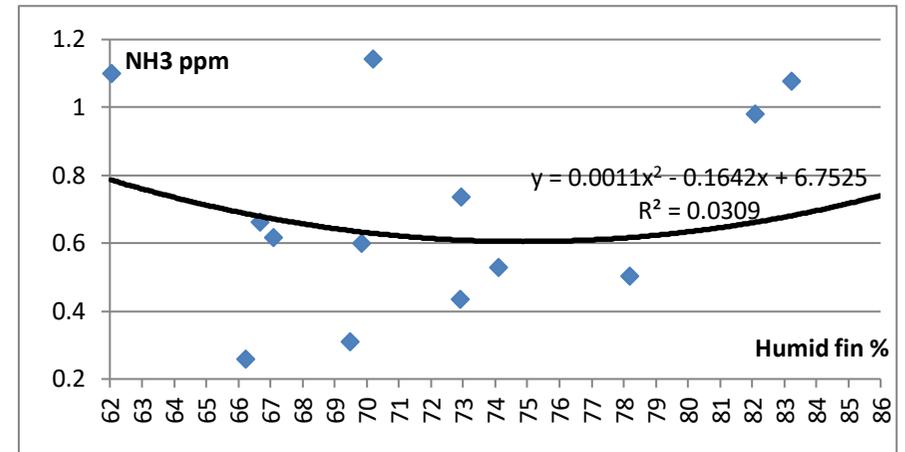


Figure 55. Variation du NH₃ selon l'humidité à la fin d l'essai.

3.4.2 Influence des paramètres d'ambiance sur les concentrations

Le (Tableau 44) des corrélations linéaires multiples montre que l'ammoniac est fortement corrélé à la variable « Essais » qui correspond, aux conditions de l'expérimentation, en l'occurrence à l'effet conjugué de tous les paramètres, du climat, considérés et la variable Poule. Les autres corrélations entre les différents paramètres du climat sont logiques c'est pour cela qu'on ne s'attardera pas dessus.

Tableau 44. Les corrélations entre les différents paramètres et les concentrations d'ammoniac.

Corrélations significatives marquées par $p < 0.05$									
VARIABLES	ESSAIS	POULES	NH ₃	TEMP_ EXT	TEMP_ DEB	TEMP_ FIN	HUMD_ EXT	HUMD_ DEB	HUMD_ FIN
ESSAI	1,00								
POULE	,00	1,00							
NH ₃	-,40	-,32	1,00						
TEMP_EXT	,43	,00	,12	1,00					
TEMP_DEB	,57	,03	-,01	,74	1,00				
TEMP_FIN	,47	-,08	,05	,77	,90	1,00			
HUMD_EXT	-,41	-,00	,11	-,30	-,23	-,21	1,00		
HUMD_DEB	-,45	,20	,26	-,21	-,24	-,20	,63	1,00	
HUMD_FIN	-,45	,10	-,00	-,54	-,48	-,37	,56	,60	1,00

L'analyse de la variance (Tableau 45), montre que de la régression linéaire multiple de la variable dépendante NH₃ est significative ($p < 0,0088$).

Tableau 45. Analyse de la variance de la variable dépendante NH₃.

Régression multiple	Sommes carrés	dl	Moyens carrés	F	Niveau p
Régression	2,125628	8	,265704	3,171589	,008886
Résidus	2,764612	33	,083776		
Total	4,890240				

Le (Tableau 46), Synthèse de la régression linéaire multiple de la variable dépendante NH₃, montre que seules deux variables, ESSAI et POULE sont significatives ($p < 0,0088$).

Tableau 46. La synthèse de la régression linéaire multiple de la variable dépendante NH₃.

R= 0,6593 F(8,33)= 3,1716		R²=0,4346 p < 0,00889		R² ajusté = 0,2976 Erreur type de l'estimation =0,2894		
Régression multiple N=42	BETA	Erreur type de BETA	B	Erreur type de B	t(33)	Niveau p
ORD ORGINE			21,59480	6,286579	3,43506	,001617
ESSAI	-,531642	,176968	-,04500	,014980	-3,00417	,005053
POULE	-,392437	,142232	-,16400	,059441	-2,75913	,009381

Ainsi, des deux (Tableaux 45 et 46), On en déduit que le modèle de prédiction de l'ammoniac, dans notre étude, peut être exprimé par (L'équation 36) :

$$\text{NH}_3 = 21,594 - 0,045\text{ESSAI} - 0,164\text{POULE} \quad \text{Eq (36)}$$

$$R^2 = 0,4346$$

Comme, la variable ESSAI correspond aux conditions de l'expérimentation, en l'occurrence, aux paramètres considérés du climat, alors on peut écrire (L'équation 37) sous la forme :

$$\text{NH}_3 = 21,594 - 0,045\text{CLIMAT} - 0,164 \text{POULE} \quad \text{Eq (37)}$$

$$R^2 = 0,4346$$

Ce modèle explique 43,46 % de la variabilité de NH₃ capté.

4. Discussion

La compartimentation des systèmes d'élevages, constitue l'une des méthodes les plus pertinentes si l'on veut procéder à une évaluation approfondie des émissions polluantes en élevage (Peigne, 2003 ; Gac, 2007). Compte tenu du fait que l'animal représente un compartiment à part entière du système d'élevage, il semble utile d'explorer sa contribution, directe, à la génération d'ammoniac, non pas à partir de ses déjections, mais, en considérant des éléments liés à l'animal lui-même.

A travers l'expérimentation menée dans cette partie de la thèse, nous avons considéré l'hypothèse que « la poule est une source directe d'émission d'ammoniac ». Pour vérifier cette hypothèse nous avons conçu un dispositif expérimental qui isole la poule, afin de mesurer la présence de l'ammoniac dans l'air ambiant sous cloche, abri d'une poule. Cette cloche est constituée d'une cage surmontée de cache en plastique, fermée hermétiquement et reliée à un circuit de conduits évacuant air de la cloche au travers de trois flacons, en séries contenant

une solution d'HCl à 10^{-5} , où il barbote. Le barbotage étant une technique de prélèvements d'échantillons d'air pour les mesures d'ammoniac et des gaz d'une manière générale (Samanni-vaute et al, 1993 ; Moal, 1994 ; Générmont, 1996 ; Phillips et al, 2001 ; Portejoie, 2002 ; Hassouna et Eglin, 2015). Le fait que le circuit, d'évacuation de l'air de la cloche, soit relié à cette dernière montre qu'on mesure, uniquement, sur ce qui est émis à partir de la poule. Cette Technique est inspirée des travaux réalisés sur des bovins (Zimmerman et al, 2011 ; Zimmerman et al, 2013a ; Zimmerman et al, 2013b). Notre dispositif, a permis de détecter des concentrations d'ammoniac, bien qu'infimes, mais bien réelles, ce qui renforce notre hypothèse qui définit la poule comme une source d'émission directe de l'ammoniac.

L'utilisation de la technique du barbotage en série, avec l'emploi de plusieurs flacons, a permis d'enregistrer des concentrations de plus en plus petites en allant du premier au troisième flacon. Le fait de détecter des concentrations même petites au niveau du troisième flacon, révèle la puissance du dispositif. Cependant, la simple présence d'ammoniac au niveau de ce dernier flacon nous interpelle quant au nombre de flacons nécessaires dans le captage de la totalité des molécules d'ammoniac émises. Donc, la réflexion doit porter sur l'utilisation de plus de flacons, de l'utilisation de pompes d'aspiration plus puissantes, avec un ajustement complémentaire de tout le circuit de barbotage, ou encore revoir la hauteur de la colonne de la solution d'HCl, où a lieu l'échange de gaz entre l'air des bulles, provenant de l'abri (cloche) de la poule, et la solution de barbotage.

Les concentrations d'ammoniac mesurées avec ce dispositif, varient entre 0.2 et 1.37 ppm. Elles demeurent relativement faibles en comparaison avec les concentrations d'ammoniac, mesurées dans les bâtiments de poules pondeuses, mentionnées dans la littérature, qui sont généralement comprises entre 1 et 20 ppm et qui varient entre 3 et 12 ppm (Nimmermark et al, 2009), entre 3,71 et 6,20 ppm (Simsek, 2013), entre 6.2 et 7.6ppm (Zhao et al, 2015), entre 0.39 et 8.50 ppm (Prodanov et al, 2016), elles étaient de 8,7 ppm (Hayes et al, 2013) et elles pouvaient atteindre 26 ppm (Nimmermark et al, 2009). Les travaux de (Bouzeriba, 2011), opérés avec un dispositif similaire (captage par barbotage), réalisés en élevage de poules pondeuses dans la région, en plaçant le dispositif de captage directement sur les fientes, ont mesuré des concentrations qui varient entre 0.81 et 14.25 ppm. Ainsi, on peut souligner le fait que toutes ces concentrations ont été mesurées dans l'air ambiant des bâtiments, ou, au niveau des structures de stockage, en utilisant différentes méthodes. Souvent, elles sont le résultat de plusieurs sources émettrices. C'est pourquoi, elles restent supérieures aux concentrations mesurées dans la présente expérimentation, qui rappelons le, étaient émises à partir d'une seule poule. De plus, il arrive que les travaux qui abordent la

problématique des émissions en élevage, expriment les résultats obtenus en différentes unités ($\text{g NH}_3\text{-N m}^{-2}$, $\text{g NH}_3\text{-N poule}^{-1} \text{ jour}^{-1}$, ou encore $\text{g jour}^{-1} \text{ AU}^{-1}$). Il s'agit généralement de protocoles et de problématiques différentes, mais qui ne mesurent pas l'émission directe à partir d'une seule poule.

Un autre aspect est à signaler dans cette expérimentation, c'est celui de la proportion des concentrations mesurées au niveau de la première cage. En effet, les concentrations mesurées au niveau de la première cage, sont toujours supérieures à celles mesurées dans les deux autres cages. Sachant que les mêmes poules sont placées sous les mêmes cloches à chaque essai, témoigne que le phénomène peut être relié à un aspect physiologique propre à la poule de la première cage.

Le fait de détecter des concentrations d'ammoniac dans l'air aspiré de la cloche, où seule la poule est présente, nous permet de déduire que cette dernière est l'unique source des concentrations d' NH_3 mesurées. Néanmoins, le mécanisme par lequel s'est dégagé le NH_3 reste inexpliqué. En revanche, nous savons que le NH_3 est effectivement formé à l'intérieur de la poule, au niveau du caecum, où l'acide urique est entre autre dégradé en ammoniac (Karasawa et al, 1988 ; Braun et Campbell, 1989 ; Gabriel et al, 2005 ; Svihus et al, 2013 ; Grashorn et al, 2013). Une partie de cet ammoniac, ainsi formé, est incorporée dans la production de glutamine (Gabriel et al, 2005). Cependant, la grandeur de ce fait chez la volaille domestique reste à déterminer (Svihus et al, 2013), ce qui laisse présager que la proportion restante, de la flatulence, pourrait éventuellement être émise (excréter) directement sous forme de gaz par la poule. L'ammoniac produit à l'intérieur même de la poule, témoigne de la potentialité de considérer « l'animal » comme une source émettrice d'ammoniac.

La poule se trouve le temps de l'essai, sous une température et une humidité, interne à la cloche, qui varient, d'un essai à un autre, tout le long de l'expérimentation. L'humidité diminue, la température augmente et l'ammoniac capté diminue lors des derniers essais. Cependant, l'étude, de la tendance, de la variation de la concentration de l'ammoniac capté en fonction de la température du début et de la fin de l'essai, d'une part, et en fonction de l'humidité du début et de la fin de l'essai, d'autre part, montre, que:

- La concentration d'ammoniac capté a tendance à augmenter avec l'accroissement de l'humidité.
- La concentration d'ammoniac capté tend à suivre une variation parabolique en fonction de la température du début et de la fin de l'essai. Elle est maximale à 16°C pour la température du début de l'essai et à 18°C pour celle de la fin de l'essai, et

diminue de part et d'autre de ces valeurs. C'est-à-dire, qu'au fur et à mesure que la température augmente, dans la cage, la concentration d'ammoniac croît jusqu'à un seuil maximum puis diminue.

Aussi, L'analyse de la variance montre que de la régression linéaire multiple de la variable dépendante NH_3 est significative ($p < 0,0088$), (Tableau 45), et est corrélée à deux variables : le climat et la poule.

Les composantes du climat, la température et l'humidité intérieure de la cloche, semblent avoir un effet conjugué sur la concentration de l'ammoniac capté, car, il existe une tendance de variation du NH_3 en fonction des températures internes et de l'humidité interne du début de l'essai.

Le (Tableau 44) de la corrélation entre les différents paramètres de l'expérimentation, le (Tableau 46) de la synthèse de la régression linéaire multiple de la variable dépendante NH_3 et l'équation de la régression linéaire multiple, (Equation 37), montrent que la variable poule est un facteur déterminant, significatif ($p = 0,009381$), dans l'émission de l'ammoniac.

Nous pensons que la flatulence, de la poule, est à l'origine de ces émissions d'ammoniac. Cependant, nous ne pouvons pas prononcer d'une manière catégorique et définitive, malgré les concentrations d'ammoniac captées qui semblent être constantes d'une poule à une autre. Ainsi, une étude, plus approfondie et plus détaillée, est nécessaire pour pouvoir déterminer avec précision, dans le temps, ces émissions à partir directement d'une seule poule.

Conclusion

Les déjections sont considérées comme étant la source la plus incriminée dans le phénomène d'émission d'ammoniac dans les systèmes d'élevage avicoles. Cependant, la détection de l'ammoniac, avec toutes les précautions prises dans le protocole expérimental pour empêcher toute interférence extérieure, témoigne de l'émission de l'ammoniac à partir de la poule. Outre l'influence des températures et de l'humidité, sur la variation des émissions d'ammoniac, les paramètres qui pouvaient influencer les émissions semblent être liés à la physiologie de la poule.

Références bibliographique

- ADEME, 2010. Procédures de référence pour la mesure des émissions de polluants gazeux des bâtiments d'élevage et stockages d'effluents d'élevage.
- ADEME, 2012. Les émissions agricoles de particules dans l'air état des lieux et leviers d'action ISBN : 978-2-35838-220-5.
- Bouzeriba, L., 2011. Contribution à la caractérisation de la pollution atmosphérique émise par les élevages avicole en bâtiment dans la wilaya de Batna (cas de la poussière et l'ammoniac), M.S. thesis, Batna 1 University, Alegria.
- Bouzeriba, L., Adjroudi, R., 2012. Measurement of ammonia emissions on a poultry farm with laying hens located in a semi-arid region (NorthEast ALGERIA). International symposium on Emission of gaz and dust from Livestock (EMILI2012). June 10-13, in Saint-Malo, France: pp 289-295.
- Braun, E., Campbell, J., Colin, E., 1989. Uric acid decomposition in the lower gastrointestinal tract, *Journal of Experimental Zoology*, Volume 252, Issue S3 Supplement: Function of the Avian Cecum <https://doi.org/10.1002/jez.1402520512>.
- Gabriel, S., Mallet, P., Sibille, 2005. La microflore digestive des volailles : facteurs de variation et conséquences pour l'animal/
- Gac, A., Deline, F., Bloteau, T., 2007. Inventaire national des émissions gazeuses [CH₄, N₂O, NH₃] liées à la gestion des déjections animales: les données bibliographiques et les résultats pour l'élevage avicole ; article : septième journée de la recherche avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007.
- Génermont, S., 1996. Modélisation de la volatilisation d'ammoniac après épandage de lisier sur parcelle agricole. These de doctorat, Université Paul Sabatier - Toulouse, 331 p.
- Grashorn, M.A., Gruzauskas, R., Dauksiene, A., Raceviciute-Stupeliene, A., Zdunczyk, Z., Juskiewicz, J., Bliznikas, S., Svirmickas, G.J., Slausgalvis, V., 2013. Influence of organic acids supplement to the diet on functioning of the digestive system in laying hens *Archiv für Geflügelkunde, Agriculture, Dairy & Animal Science*, Volume: 77 Issue: (3) 155-159.
- Hassouna, M., Eglin, T., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. Diffusion INRA-ADEME. 314p. ISBN : 2-7380-1375-9.
- Karasawa, Y., Okamoto, M., Kawai, H., 1988. Ammonia production from uric acid and its absorption from the caecum of the cockerel. *British Poultry Science* 29: 119-124.
- Kroonen, G., Cahay, R., Cornélis, A., Collignon, V., Leyh, B., Wuytack, R., 2000. Les acides et les bases en solution aqueuse. Brochure: université de Liège section de chimie groupe transition; depot legal : D/2000/0480/32.
- Moal, J.F., 1994. Volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers après épandage: quantification et étude des facteurs d'influence. Cemagref, Equipement pour l'eau et l'environnement, Université de Perpignan, 230 p.
- Nascimento, S.T., Maia, A.S.C., Gebremedhin, K.G., Nascimento, C.C.N., 2017, Metabolic heat production and evaporation of poultry, *2017 Poultry Science* 96:2691–2698 <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex094>
- Nimmermark, S., Lund, V., Gustafsson, G., Eduard, W., 2009. Ammonia, dust and bacteria in welfare-oriented systems for laying hens. *Ann Agric Environ Med.* 2009;16(1):103–113.

- Peigne, P., 2003. Methodology for assessing agricultural practices on air quality Usingagri-environmental indicators, PhD thesis, at INRA Colmar, France.
- Phillips, V.R., Lee, D.S., Scholtens, R., Garland, J.A., Sneath, R.W., 2001. A review of methods for measuring emission rates of ammonia from livestock buildings and slurry or manure stores, Part 2: Monitoring flux rates, concentrations and airflow rates. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 78 (1) :1-14 10.1006/jaer.2000.0618.
- Portejoie, S., 2002. Volatilisation ammoniacale lors du stockage et à l'épandage de lisiers de porc: impact des apports protéiques, de l'utilisation de couvertures de fosse et d'additifs. Thèse de Doctorat de L'Université de Perpignan, 137 p.
- Portejoie, S., Martinez, J., Landmann, G., 2012. L'ammoniac d'origine agricole: impacts sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel. *INRA Productions Animales*. 15 (3): 151-160.
- Prodanov, M., Radeski, M., Ilieski, V., 2016. Air Quality Measurements in Laying Hens Housing, *MacVet Rev* 2016; 39 (1): 91-95.
- Robin, P., Amand, G., Aubert, C., Babela, N., Brachet, A., 2010. Procédures de référence pour la mesure des émissions de polluants gazeux des bâtiments d'élevage et stockages d'effluents d'élevage. Rapport final. (contrat n° 06 74 C0018). 519 p.
- Samanni-vaute. J.-l. Fanlo et P. l E Gloireg , 1993. The elimination of ammonia on different adsorbents : activated charcoal, peat and sludge from sewage purification plants ; *Pollution Atmosphérique* , octobre-décembre.
- Shu-Yin, W., Huang, D.J., 2005. Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Poultry Enteric Fermentation, *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 2005. Vol 18, No. (6) : 873-878.
- Simsek, E., Kilic, I., Yaslioglu, E., Arici, I., 2013. The effects of environmental conditions on concentration and emission of ammonia in chicken farms during summer season clean-soil air water Volume: 41, No. (10):955-962 DOI: 10.1002/clen.201200270 Published: OCT.
- Svihus, B., Choct . M., Classen, H.L., 2013. Function and nutritional roles of the avian caeca: a review, *World's Poultry Science Journal*, Vol. 69, June 2013.
- Zhao, Y., Shepherd, T. A., Li, H., Xin, H., 2015. Environmental assessment of three egg production systems—Part I: Monitoring system and indoor air quality. *Poultry Science* 94:518–533.
- Zimmerman, P., Zimmerman, S., Utsumi, S., Beede, D., 2011. Development of a user-friendly online system to quantitatively measure metabolic gas fluxes from ruminants. Abstract 856. 2011 ADSA, AMPA, ASAS, CSAS, and WSASAS Joint Annual Meeting. New Orleans, Louisiane, USA, 10-14 July 2011.
- Zimmerman, S., Brito, A., Huhtanen, P., Johnson, K., Michal, J.J., 2013a. Measurement and evaluation of enteric CH₄ emissions and variability in production systems. 5th Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference (GGAA 2013). Dublin, Ireland, 23-26 June 2013.
- Zimmerman, S., Michal, J.J., White, R., Johnson, K.A., Guerouali, A., 2013b. Evaluation of a novel system to measure enteric methane emissions from beef cattle on pasture. 2013 ADSA, AMPA, ASAS, CSAS, and WSASAS Joint Annual Meeting. Indianapolis, Indiana, USA, 8-12 July 2013.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion et perspectives

En absence de réglementation rigoureuse, la filière de poule pondeuse de la région d'étude, wilaya de Batna, englobe une grande gamme de conditions d'élevage, qui nécessite la mise en œuvre d'une évaluation appropriée des impacts environnementaux.

Dans la présente thèse, nous avons voulu connaître les conditions d'élevages locales, à travers la description des bâtiments et des pratiques, d'une part et les conséquences qu'ils peuvent engendrer sur les mécanismes de formation et d'émission d'ammoniac et de particules, d'autre part. C'est pourquoi, un premier objectif était retenu, celui de définir une typologie des élevages locaux et renseigner les paramètres pouvant influencer les émissions à partir de ces systèmes.

La première partie de la présente thèse, visait donc à réaliser une classification des systèmes d'élevage existants dans la région. Cette première étape a permis de distinguer trois classes.

La première classe est minoritaire, 13%, définit par un système performant et respectueux des normes d'élevage. Elle est caractérisée par des structures imposantes, de plus de 1000 m² en moyenne, qui logent des effectifs élevés dépassant les 18 000 sujets. Les bâtiments d'élevage de cette classe sont bien équipés, notamment en moyens qui conditionnent l'ambiance interne.

La seconde classe, 30%, située entre les deux autres classes en ce qui concerne l'envergure des investissements. Toutefois, cette catégorie affiche le taux de mortalité le plus élevé de la région avec une moyenne de 11 %.

La troisième classe, 57%, est caractérisée par des élevages de petite taille avoisinant les 4 000 sujets. Les bâtiments sont construits avec des matériaux bons marchés qui induisent une mauvaise isolation, entravant ainsi l'efficacité de la ventilation. De plus, ils ont des équipements modestes, marqués par l'absence de l'automatisation de la gestion des déjections et de l'aliment. Cette troisième classe, représente plus de la moitié des fermes de la région.

L'analyse de données obtenues lors de l'enquête a également permis de mettre en évidence les facteurs qui influencent les émissions d'ammoniac et de particules. Ces facteurs sont en lien avec les équipements et les pratiques d'élevage exercées dans ces bâtiments.

Il s'agit tout d'abord des pratiques de gestion des effluents ; où les moyens de gestion et les fréquences d'évacuation favoriseraient l'émission de l'ammoniac à l'intérieur des bâtiments de la première classe et à l'extérieur des bâtiments de la troisième classe. Sauf que, les bâtiments de la première classe, équipés d'extracteurs en nombre adéquat, sont en mesure d'évacuer l'air vicié à l'extérieur. En revanche les bâtiments de la troisième classe, mal isolés,

sont soumis aux conditions de stockage externes des déjections et sont susceptibles de réintroduire les émanations à l'intérieur des bâtiments.

Par ailleurs, les pratiques de gestion de l'aliment, favoriseraient les émissions de particules dans les bâtiments de la première classe ; la fréquence de distribution répétée et la manipulation même de l'aliment lors de la distribution dans les auges, augmenterait l'émission particulaire d'origine alimentaire dans ces bâtiments.

Sachant qu'il existe une forte corrélation entre les paramètres du climat intérieur des bâtiments et les émissions de polluants, nous avons complété les travaux d'enquête sur les systèmes d'élevage locaux de poules pondeuses, par la réalisation de mesures des températures, de l'humidités et de la luminance en différents endroits et à différentes hauteurs dans un échantillon de dix bâtiments.

Il en ressort une hétérogénéité de ces paramètres aussi bien au niveau de chaque bâtiment qu'entre les bâtiments. L'analyse de la distribution des paramètres du climat interne montre que la température, l'humidité relative et l'éclairage augmentent, longitudinalement, de l'avant vers l'arrière du bâtiment, ces paramètres sont relativement constants, transversalement, de la gauche vers la droite et ils fluctuent fortement aux trois hauteurs et en particulier à la hauteur de 1m.

Nous pensons que le faible équipement et sa gestion, la mauvaise isolation des bâtiments, ou encore, l'absence de conduites d'élevage strictes, sont à l'origine de cette hétérogénéité des paramètres du climat interne, ce qui n'est pas sans conséquences sur les mécanismes de formation et d'émission de l'ammoniac et des particules.

Le second enjeu pris en considération dans cette thèse, est celui de comprendre et d'évaluer l'émission de particules et de l'ammoniac à partir de sources différentes de celles habituellement étudiées. Les deux expérimentations réalisées dans la troisième partie de cette thèse, avait pour but d'estimer les émissions de l'ammoniac et des particules à partir de la source « poule », concept nouveau, jusqu'ici inexploré. Pour cela, nous avons réalisé deux dispositifs expérimentaux d'études factorielles des émissions d'ammoniac et de particules en conditions semi-contrôlées ; avec des animaux en cages individuelles.

L'implication de la poule dans l'émission de particules, via son activité d'alimentation semble se vérifier. Les résultats obtenus montrent que la poule contribue à l'émission de particules lors du picorage. Les particules émises par poule et par jour via cette activité, sont de l'ordre de 0.01g en moyenne. L'influence des paramètres d'ambiance, température et humidité, est vérifiée, néanmoins, la variation des quantités de particules émises pourrait être attribuée aux perturbations externes auxquelles les poules sont soumises

et qui peuvent les détourner de leur activité d'alimentation. D'autre part, la granulométrie des particules retenues par les boitiers de captage a révélée que les fractions émises lors du picorage étaient des particules fines de l'ordre 28 μ m et moins. La conception du dispositif de captage utilisé est le résultat d'essai de trois prototypes de boitiers de captage. Le troisième dispositif est celui qui a permis de cerner, le plus possible, le captage de particules émises lors du picorage. Cependant, le captage de particules au niveau des boitiers témoins nécessite une réflexion plus approfondie sur le perfectionnement du dispositif.

Dans la seconde expérimentation, nous avons vérifié la contribution de la poule aux émissions de l'ammoniac. Le dispositif, conçu à cet effet, est une cloche qui isole la poule, et permet d'évacuer l'air interne de la cage vers un système où il barbote dans une solution acide, en série. Le dispositif a permis la détection de faibles concentrations d'ammoniac, celles-ci variaient entre 0.2 et 1.37 ppm. Bien qu'infimes, ces résultats confortent notre hypothèse de départ : la poule est une source d'émission direct d'ammoniac. La variation des concentrations d' NH_3 capté est corrélée, entre autres, à la température et à l'humidité de la cage. Cependant, les paramètres qui pouvaient influencer la variation des émissions d' NH_3 semblent être liés à la physiologie de la poule. Aspect conforté par le fait que les mêmes poules sont placées sous les mêmes cloches à chaque essai et par le fait que les proportions des émissions sont, dans la majorité des cas, similaires pour les trois poules à chaque essai.

Nous avons également constaté, lors du captage, que les concentrations d'ammoniac diminuaient progressivement du premier flacon jusqu'au dernier flacon. Ce constat nous interpelle à des améliorations du dispositif. Il s'agirait entre autres, d'augmenter le nombre de flacons, d'augmenter la hauteur de la colonne de barbotage de l'air afin que les échanges entre les bulles d'air et la solution se fassent au maximum, d'utiliser des pompes d'aspiration plus puissantes, avec tous les ajustements complémentaires du circuit de barbotage.

Afin de répondre au déficit de la question environnementale, le secteur de l'élevage et celui de l'agriculture d'une manière générale, bénéficient d'une grande gamme de méthodes d'estimation et de quantification des émissions. Toutefois, l'abondance de méthodes reconnues, n'exclue pas l'innovation dans le domaine ; d'un point de vue création de nouveaux procédés, ou exploration de nouvelles problématiques. L'hypothèse de la « poule source d'émission » a permis la mise au point de deux dispositifs expérimentaux, qui ont permis la détection des seuils d'ammoniac et de particules particulièrement bas, néanmoins, des améliorations en vue d'augmenter la fiabilité des mesures peuvent être apportées à ces

dispositifs. Par ailleurs, une connaissance approfondie des systèmes d'élevages doit être continuellement actualisée en dépit des contraintes rencontrées lors des prospections.

Les travaux de recherche futurs devront s'intéresser à l'approche de modélisation en complément d'expérimentations et d'enquêtes. Plusieurs points délicats sont à résoudre et nécessitent de poursuivre les recherches afin de trouver une conciliation entre bien-être animal, performances zootechniques et diminution des rejets vers l'environnement.

ANNEXES

ANNEXE 1.

La contribution des variables aux deux premiers axes

Column absolute contributions (%):

	Axis1(%)	Axis2(%)
IBAT	1.01426	9.04694
LBAT	8.13972	0.09391
HBAT	2.03504	12.70715
surfacem2	8.00187	1.54054
NbBtr	2.57222	1.25844
lBtr	0.37401	4.21913
LBtr	6.98275	0.80555
hBtr	3.36308	0.60294
NbrNiv	4.46460	2.26911
surfacecage.cm2.	1.32529	4.67860
NBRcage	9.10269	0.47772
Poule.Cage	0.34201	0.27604
NBRang	1.17980	4.16057
DureEcl	0.08958	0.50492
Hamp1	0.20178	8.77541
NbAmpl	5.82375	0.12097
SurfHumid	7.58527	0.39485
NbExtr	4.77099	0.12719
X.surfaceF	0.03665	3.97991
DureStock.semaine.	0.78455	1.32737
Frequence	1.62933	6.71097
Quantitéali.jour	8.39679	1.10163
DisStock.Bt.m.	0.14478	0.08438
JourStock	0.04899	0.04938
QuantiteFie.Kg.	4.82445	0.18455
effectifdébut	10.37864	0.48566
tauxdemortalité	0.06167	6.88069

ANNEXE 2.

La contribution des individus aux deux premiers axes

Row absolute contributions (%):

	Axis1(%)	Axis2(%)
Bât1	1.948361	3.395e+00
Bât2	1.112123	4.232e+00
Bât3	0.189647	1.268e+01
Bât4	0.083201	1.335e+00
Bât5	0.588549	5.727e-01
Bât6	0.598693	4.560e+00
Bât7	0.016463	8.328e+00
Bât8	0.605696	1.838e-05
Bât9	1.134504	9.368e+00
Bât10	0.922675	5.544e+00
Bât11	0.499233	5.649e+00
Bât12	1.231580	1.745e+00
Bât13	4.155381	9.449e-01
Bât33	0.334425	1.243e+01
Bât34	0.825948	2.272e+00
Bât35	0.957877	1.411e+00
Bât36	0.736726	4.707e-01
Bât44	2.006005	1.952e+00
Bât45	0.957902	1.465e-03
Bât46	12.956540	1.207e+00
Bât47	1.066167	9.561e-02
Bât48	0.478218	5.636e-01
Bât49	4.526122	1.180e-01
Bât50	1.487268	1.240e+00
Bât51	2.097188	7.760e-01
Bât52	13.164079	3.423e-02
Bât53	0.142219	2.238e-01
Bât54	1.004879	3.312e-01
Bât55	0.407027	1.855e-01
Bât56	0.284938	1.040e-01
Bât57	0.969999	6.859e-02
Bât58	3.652728	1.744e-01
Bât59	0.855676	7.163e-01
Bât60	0.082189	5.944e-01
Bât61	0.221002	1.809e+00
Bât62	0.065490	2.031e+00
Bât63	3.695547	1.324e+00
Bât64	0.001112	4.117e-01
Bât65	0.172193	1.863e+00
Bât66	0.846178	5.533e-02
Bât67	1.372250	2.489e-01
Bât68	29.356997	5.209e+00
Bât69	1.108931	2.028e-01
Bât70	0.375803	1.323e-01
Bât71	0.098641	2.859e+00
Bât72	0.605629	5.316e-01

ANNEXE 3.

INTRODUCTION DE VARIABLES QUALITATIVES SUPPLEMENTAIRES.

***VECTORS

	Axis1	Axis2	r2	Pr(>r)	
ToitTole	-0.58882	0.80826	0.1758	0.017	*
ToitEternit	0.76930	-0.63889	0.4155	0.001	***
ToitSandwich	-0.93255	0.36103	0.2059	0.011	*
MurParp	0.53337	-0.84588	0.3102	0.001	***
MurBriq	-0.70071	0.71345	0.1617	0.034	*
MurSandwich	-0.18235	0.98323	0.2968	0.025	*
HabProche	-0.52546	0.85082	0.1241	0.048	*
HabTrèsProche	0.08169	-0.99666	0.0546	0.298	
HabLoin	0.26360	-0.96463	0.1601	0.022	*
HabTrèsloin	0.41862	0.90816	0.0884	0.139	
FormeBtrA	0.87916	-0.47652	0.4714	0.001	***
FormeBtrH	-0.87916	0.47652	0.4714	0.001	***
EmplHumid0	0.35639	0.93434	0.1187	0.053	.
EmplHumidGD	-0.46377	-0.88596	0.0683	0.216	
EmplHumidG	0.98147	-0.19162	0.1413	0.048	*
EmplHumidD	0.78420	-0.62051	0.1297	0.047	*
AilPeriodMS	-0.22548	0.97425	0.7374	0.001	***
AilPeriodM	-0.02989	-0.99955	0.6294	0.001	***
AilPeriodMid	0.84004	0.54252	0.1217	0.063	.
FossePrés	-0.89078	-0.45444	0.8023	0.001	***
FosseAbs	0.89078	0.45444	0.8023	0.001	***
RaclageManuel	0.79588	0.60546	0.1559	0.019	*
RaclageAutol	-0.90509	-0.42522	0.6939	0.001	***
Ramassage	0.90177	-0.43221	0.2914	0.002	**
Tapis	-0.14540	0.98937	0.3576	0.004	**
SortieFt.Jour	0.89661	0.44283	0.6669	0.001	***
SortieFt.Semai	-0.89661	-0.44283	0.6669	0.001	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Permutation: free

Number of permutations: 999

ANNEXE 4.**DIFFERENCES SIGNIFICATIVES DES PERFORMANCES DE LA POULE ET DES PARAMÈTRES DU CLIMAT DU BATIMENT POUR LES DIFFERENTES SAISONS.****[100]**Table 2: Means (\pm S.D.) of performance traits of laying hens and environmental parameter in poultry house

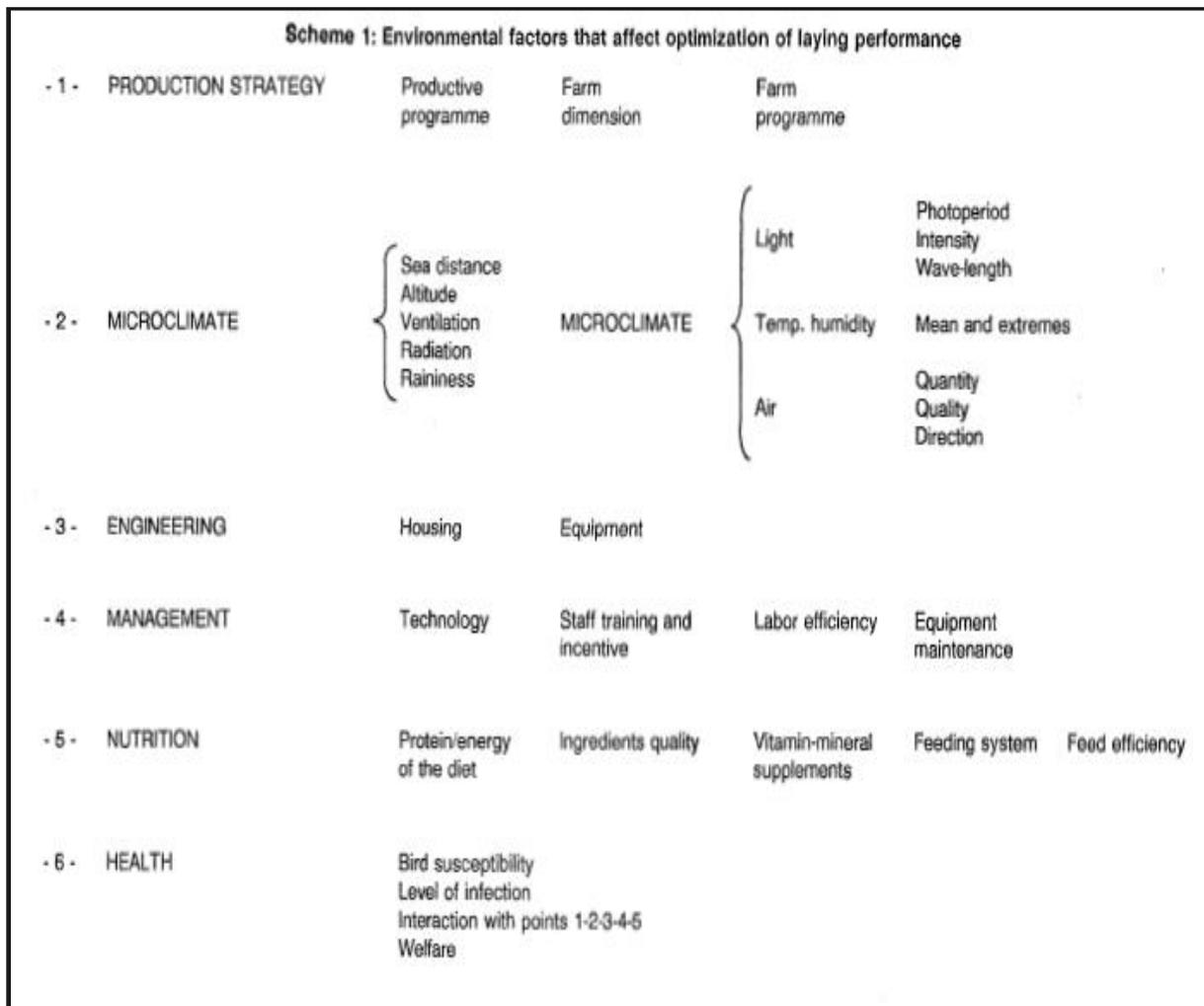
	Winter Mean \pm S.D.	Spring Mean \pm S.D.	Summer Mean \pm S.D.	Autumn Mean \pm S.D.	P
EP	81.51 \pm 5.72 ^c	92.84 \pm 2.83 ^a	90.37 \pm 1.79 ^a	87.28 \pm 3.58 ^b	***
FC	129.02 \pm 4.89 ^b	137.57 \pm 5.29 ^a	127.28 \pm 6.41 ^a	118.26 \pm 5.29 ^c	***
FCR	2.11 \pm 0.18 ^a	2.18 \pm 0.16 ^a	1.95 \pm 0.09 ^b	1.79 \pm 0.06 ^c	***
CO ₂	2700.0 \pm 904.9 ^a	1623.1 \pm 1140.3 ^b	715.4 \pm 247.8 ^c	950.0 \pm 308.9 ^c	***
NH ₃	25.06 \pm 13.40 ^a	16.46 \pm 7.89 ^b	9.31 \pm 2.56 ^c	10.50 \pm 2.32 ^{bc}	***
H ₂ S	5.94 \pm 3.99 ^a	7.00 \pm 3.03 ^a	3.54 \pm 1.56 ^b	1.75 \pm 0.62 ^b	***
Temp	17.67 \pm 2.09 ^c	18.38 \pm 2.18 ^{bc}	22.38 \pm 2.87 ^a	19.92 \pm 2.64 ^b	***
RH	72.22 \pm 6.65 ^a	67.00 \pm 6.75 ^a	60.46 \pm 8.29 ^b	66.58 \pm 8.77 ^a	**
Dust	2.19 \pm 0.49	2.24 \pm 0.43	2.34 \pm 0.37	2.02 \pm 0.39	NS

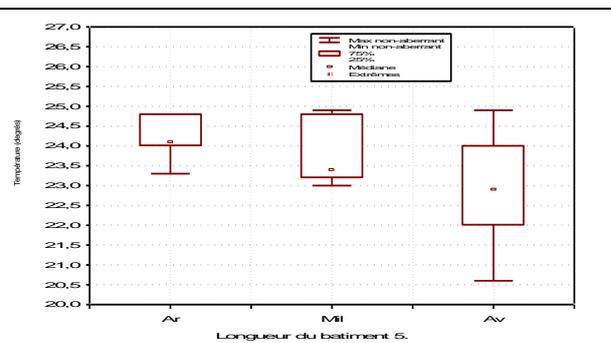
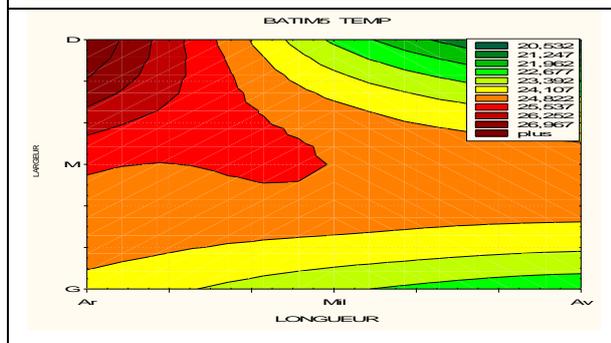
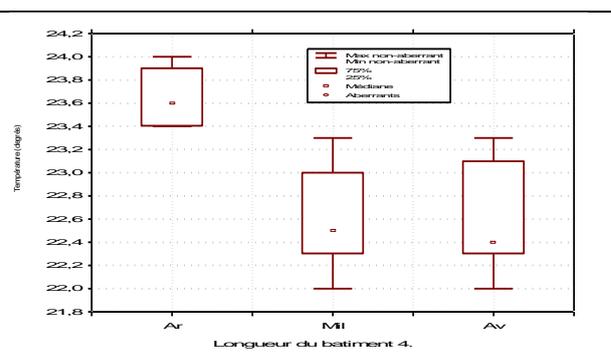
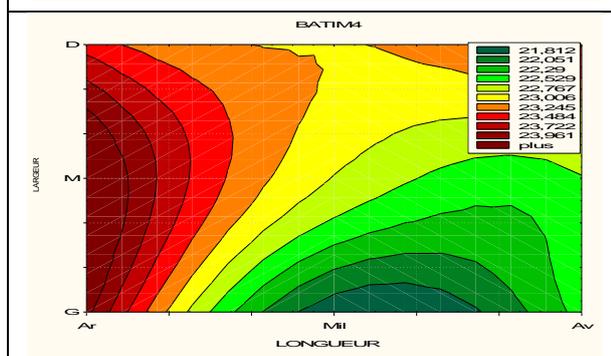
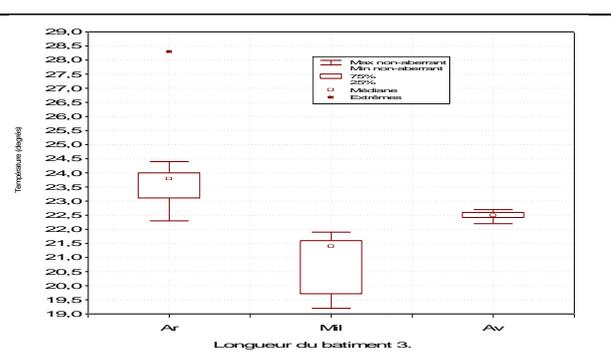
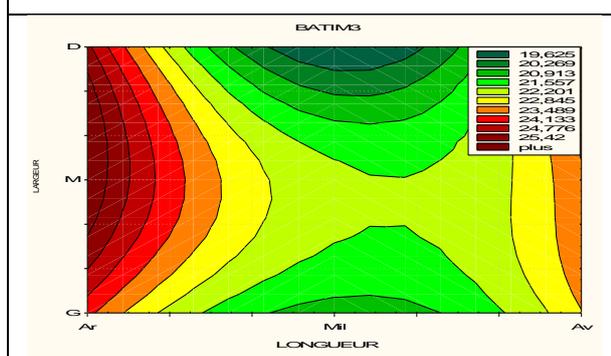
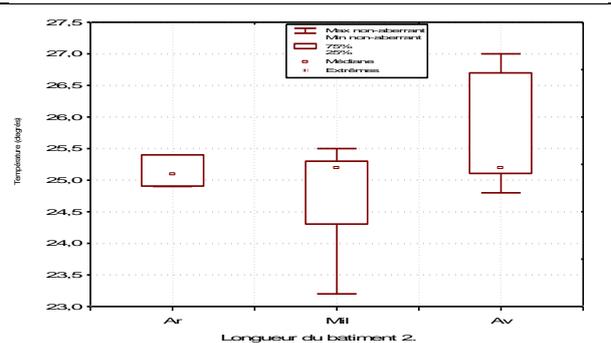
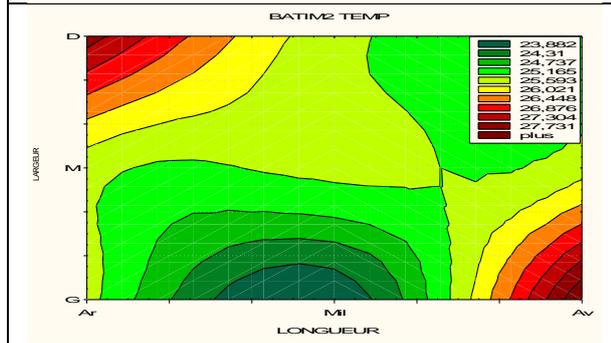
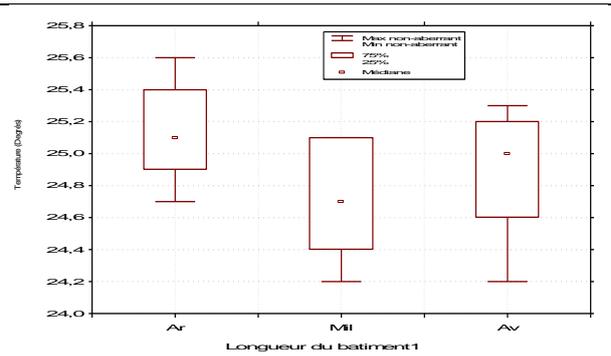
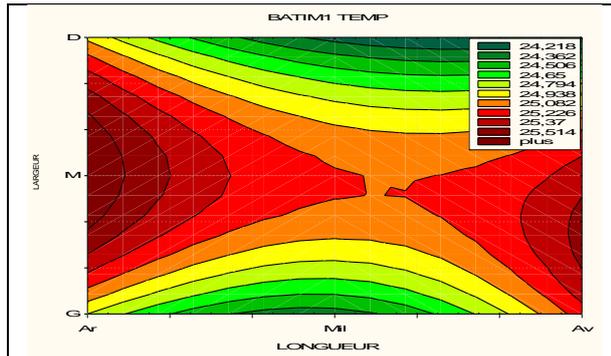
EP = egg production (%); FC = feed consumption (g/d); FCR = feed conversion ratio (kg feed consumed per kg egg produced);

CO₂ = carbon dioxide (ppm); NH₃ = ammonia (ppm); H₂S = Hydrogen sulfide (ppm);Temp = Temperature (°C); RH = relative humidity (%); Dust = dust (mg/m³)

ANNEXE 5

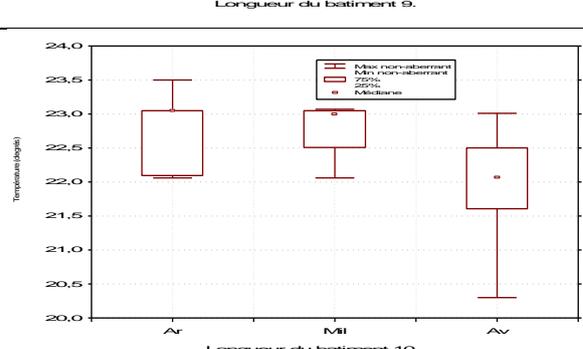
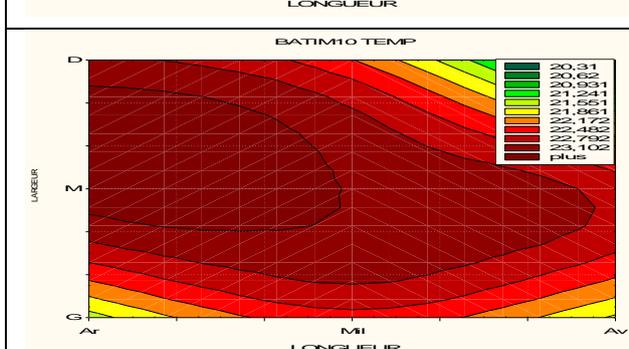
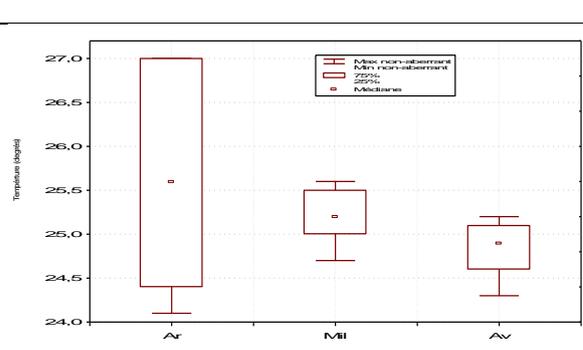
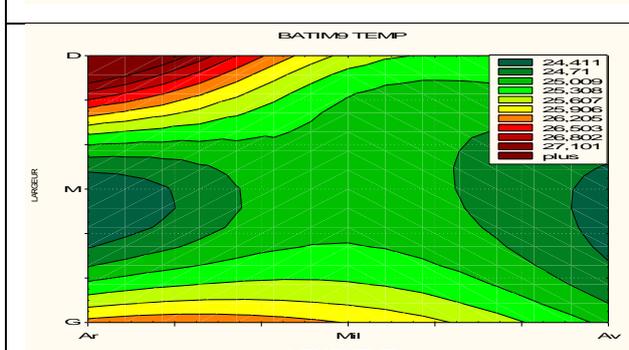
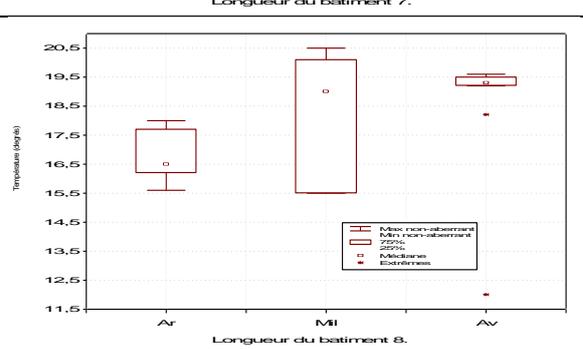
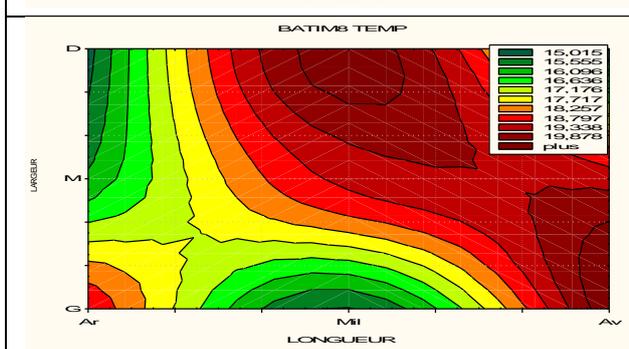
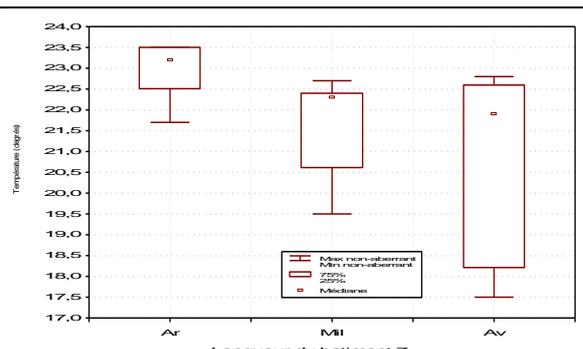
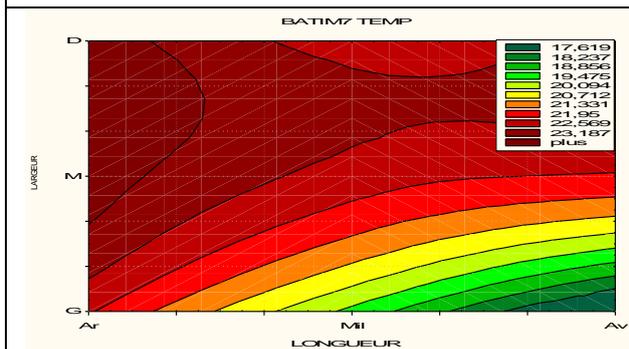
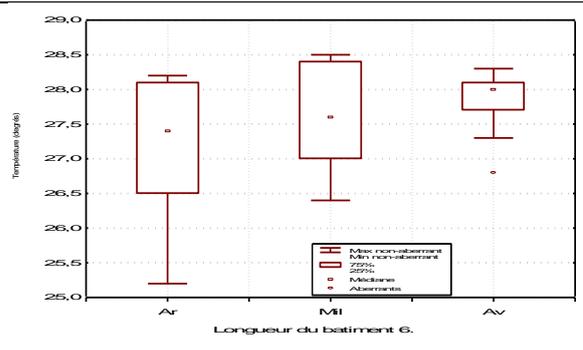
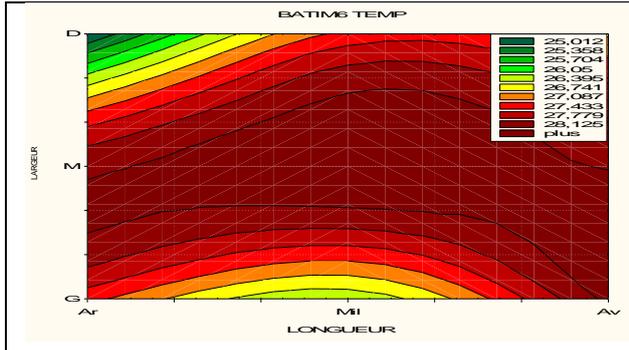
FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX AYANT UN IMPACT SUR LA PRODUCTION ANIMALE.





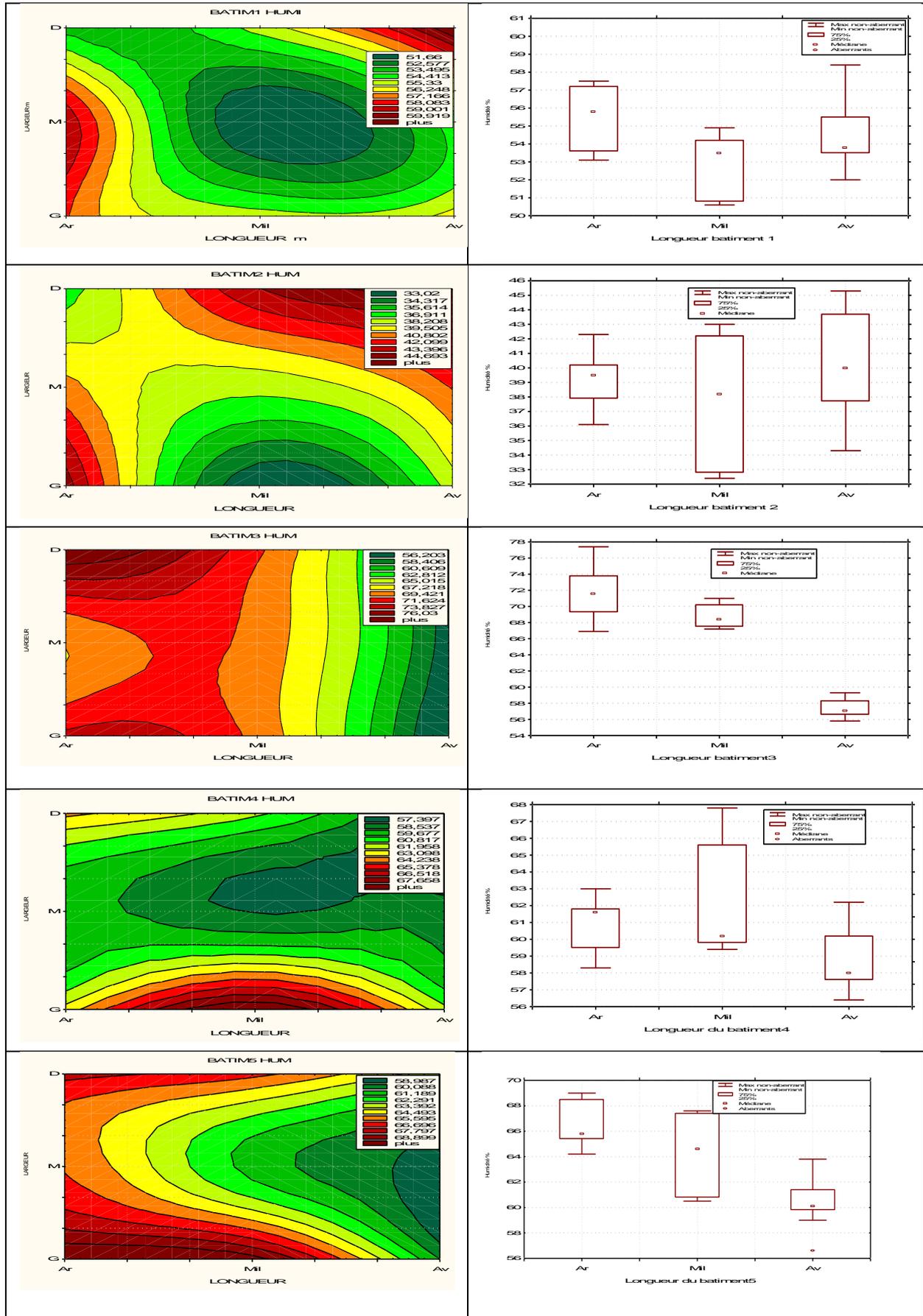
ANNEXE 6a Variation surfacique de la température

ANNEXE6b Variation longitudinale de la température



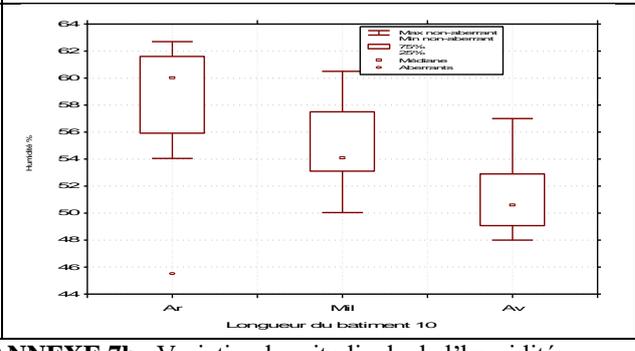
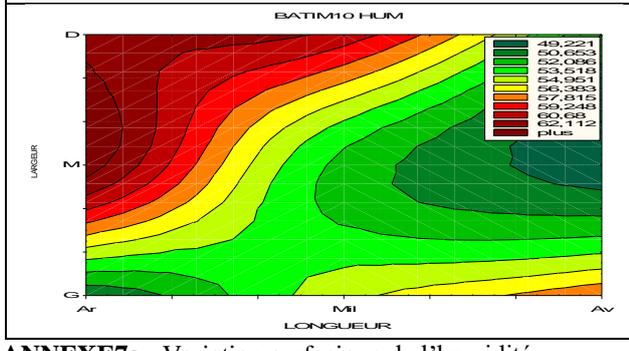
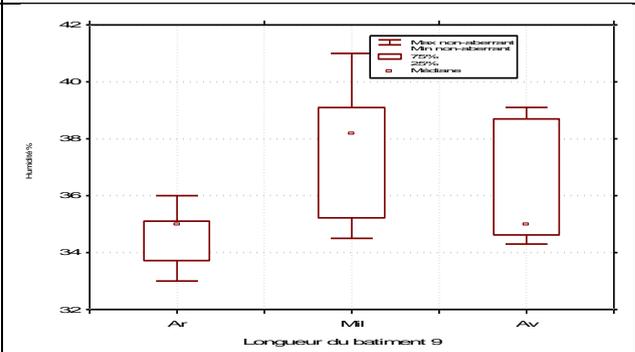
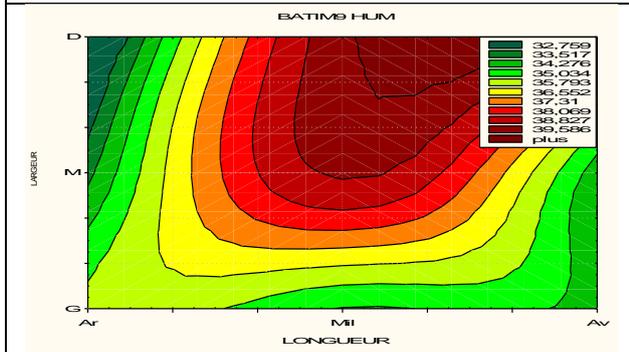
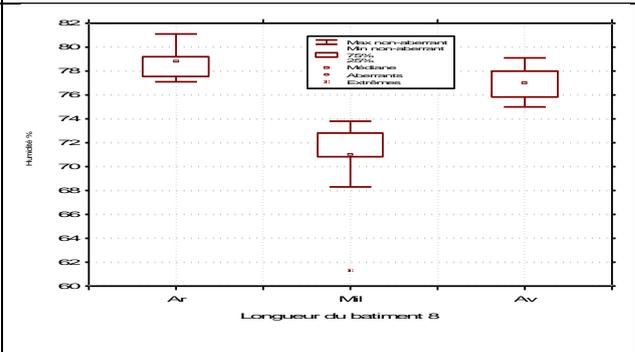
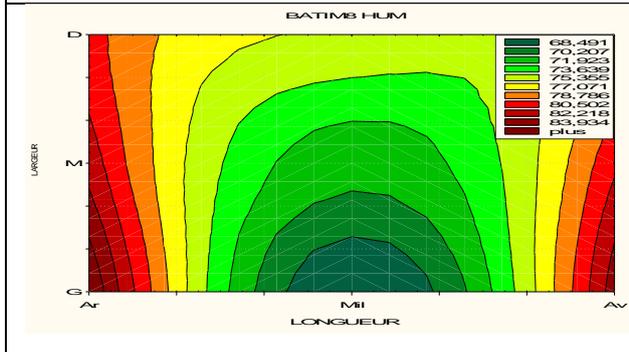
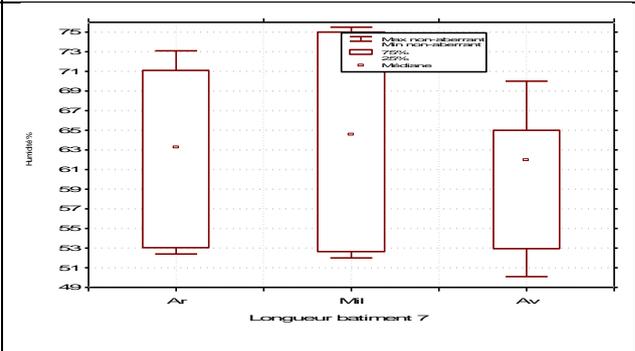
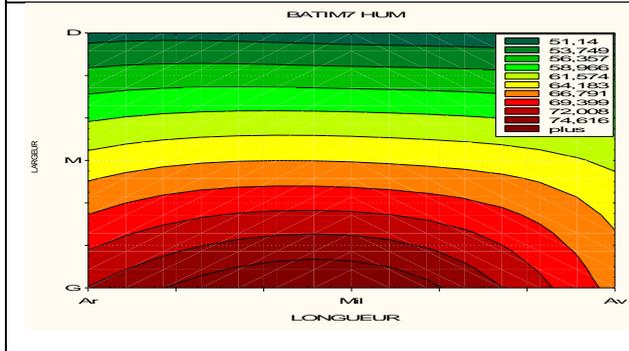
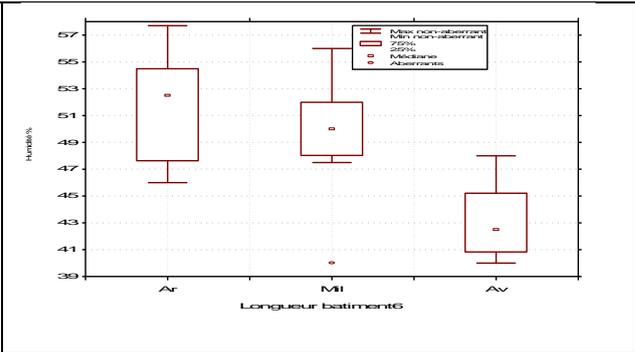
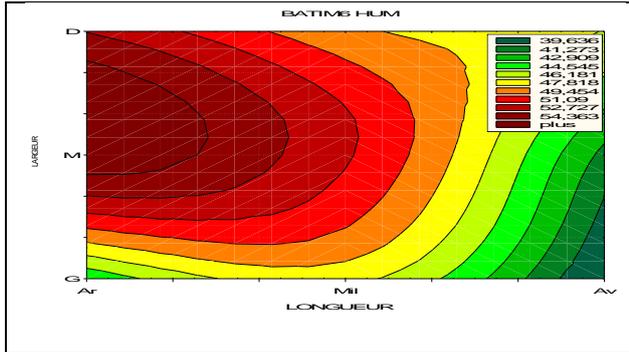
ANNEXE 6a Variation surfacique de la température

ANNEXE6b Variation longitudinale de la température



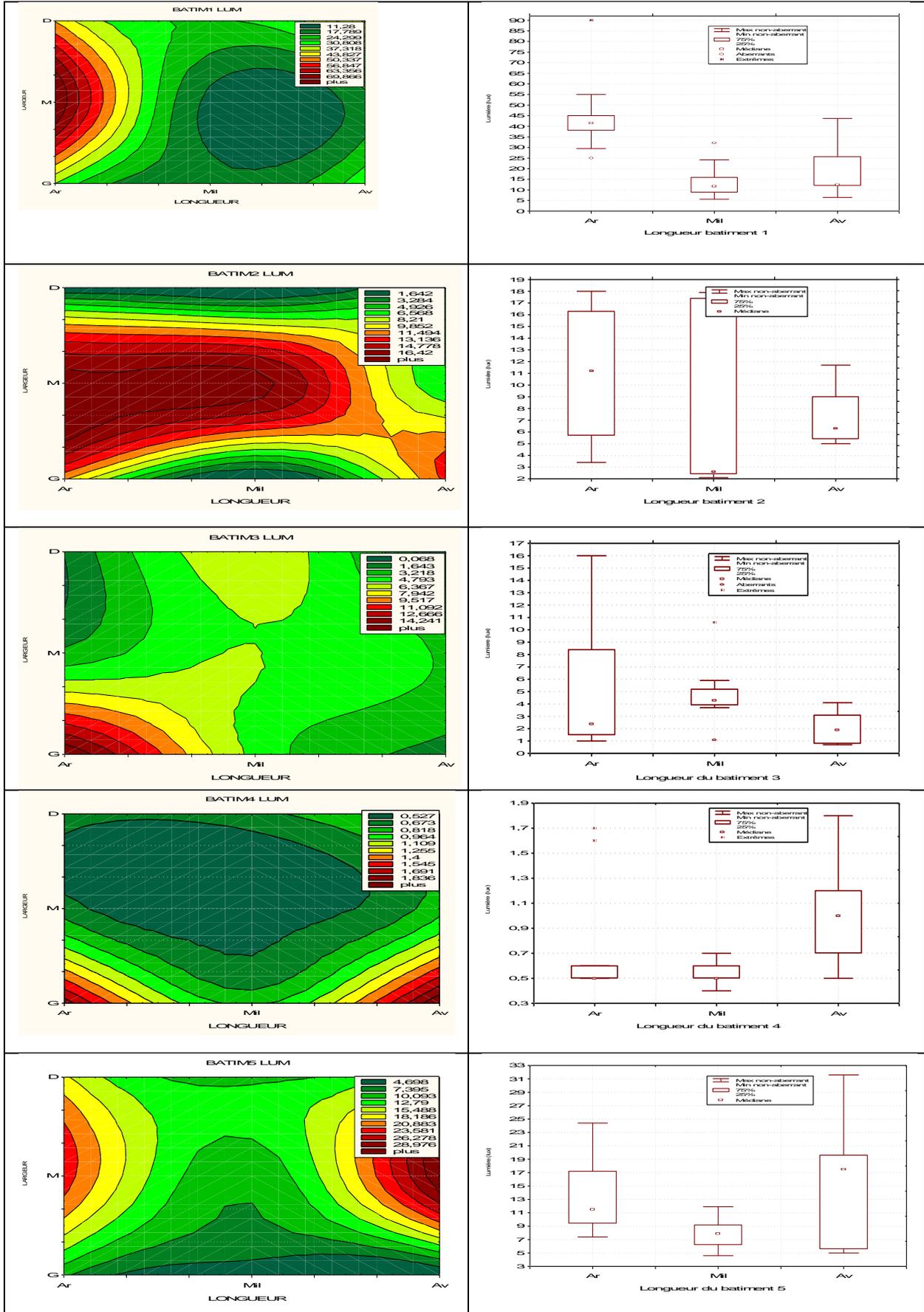
ANNEXE7a Variation surfacique de l'humidité

ANNEXE 7b Variation longitudinale de l'humidité



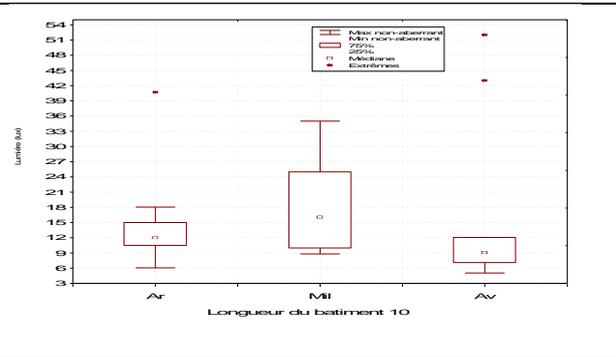
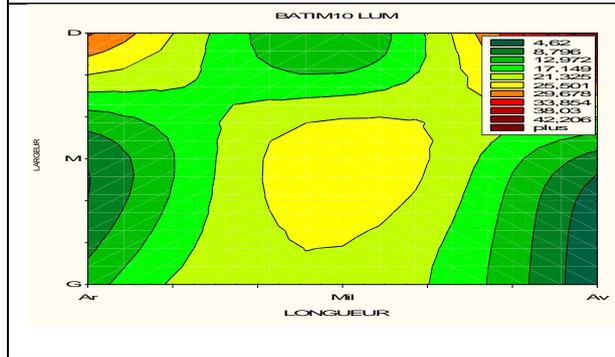
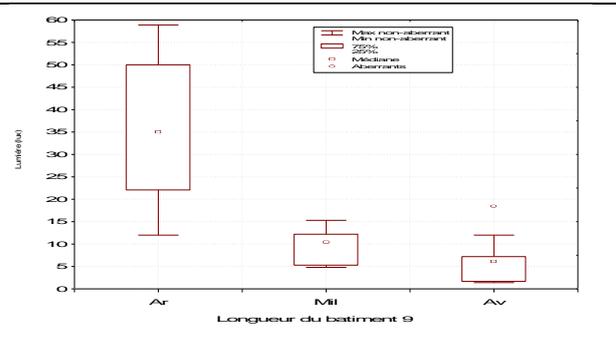
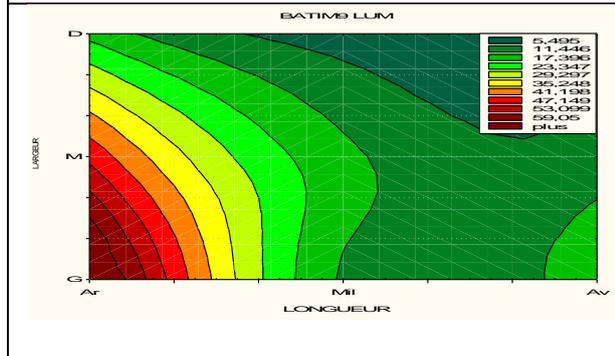
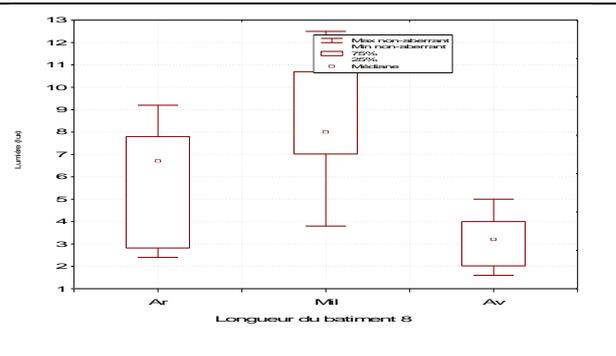
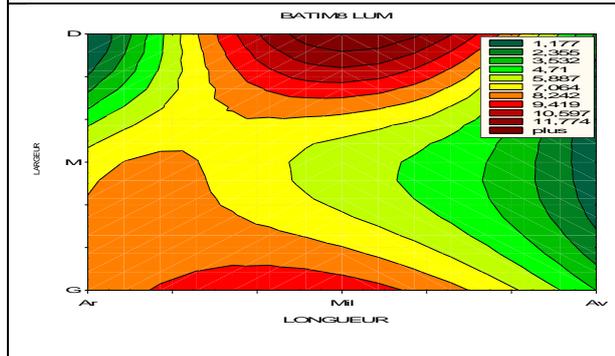
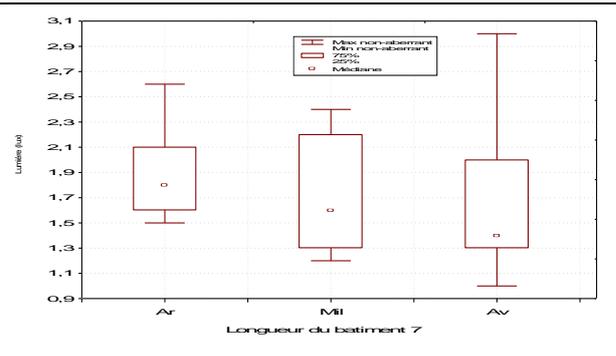
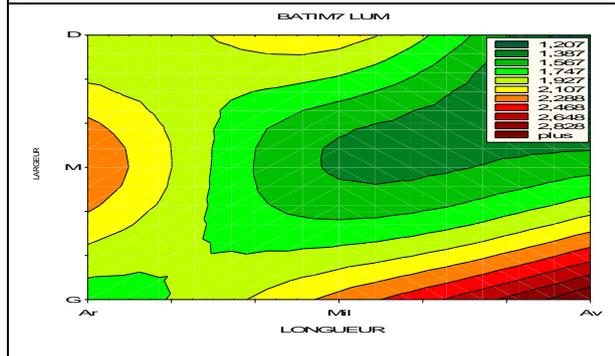
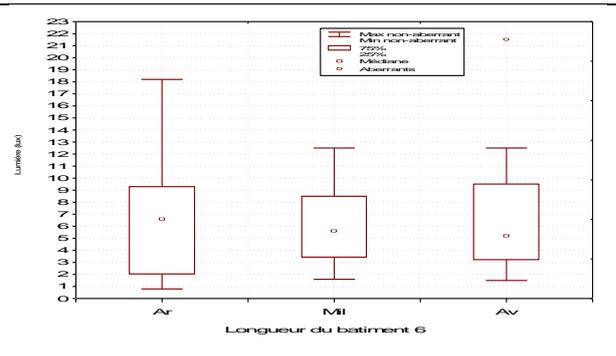
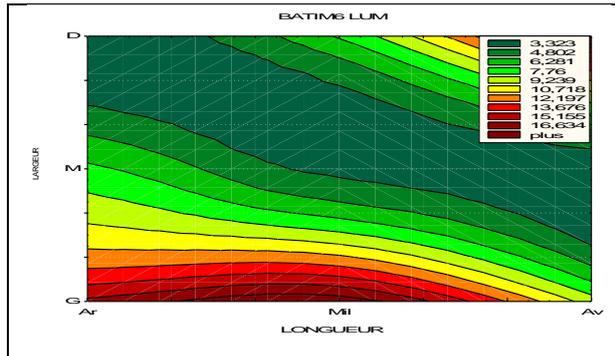
ANNEXE 7a Variation surfacique de l'humidité

ANNEXE 7b Variation longitudinale de l'humidité



ANNEXE 8a Variation surfacique de la lumière

ANNEXE8a Variation longitudinale de la lumière



ANNEXE 8a Variation surfacique de la lumière

ANNEXE8a Variation longitudinale de la lumière