UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Identification du potentiel de valorisation agricole des urines de lapins

Nsengiyumva, Richard; Sous la direction de : Prof. David Nahimana

2024
UB, FS
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1790

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE

Identification du potentiel de valorisation agricole des urines de lapins.

Par :

Richard NSENGIYUMVA

Mémoire présenté et défendu en vue d'obtention du diplôme de Master en Sciences Chimiques.

Orientation: Contrôle et Analyses Chimiques

Sous la direction de: Prof. David NAHIMANA

Bujumbura, septembre 2024

MEMBRES DU JURY :

Président : Dr Jérémie NGEZAHAYO

Secrétaire : Dr. Daniel RUCAKUMUGUFI

Directeur : Prof. David NAHIMANA

DEDICACE

A mes parents pour m'avoir montré le chemin de l'école et avoir supporté les lourdes charges scolaires ;

A mes frères, mes sœurs et beau-frère pour leurs encouragements ;

A mes amis pour leur soutien moral et matériel ;

A ma famille pour son soutien et son encouragement durant ces deux années d'études de Master.

REMERCIEMENTS

Le présent travail a pu être réalisé grâce à la contribution de plusieurs personnes auxquelles je voudrais exprimer ma profonde gratitude.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de mon Directeur de mémoire Prof. David NAHIMANA pour avoir accepté de diriger ce travail malgré ses multiples tâches et occupations. Je suis extrêmement reconnaissant envers vous d'avoir pris le temps de m'encourager et de m'orienter dans la bonne direction, votre disponibilité pour les discussions, les rencontres et les commentaires m'ont été une source d'inspiration. Je souhaite également remercier les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les membres de la famille pour leur soutien et leur amour inconditionnel tout au long de mon parcours de mes études. Leur présence bienveillante a été une source de réconfort et de force dans les moments de joie comme dans les moments difficiles.

Je remercie vivement mes amis et camarades de classe pour la fraternité et l'entraide qui nous ont caractérisées durant ces deux années d'études de Master

RESUME

Selon la projection, la population mondiale devrait atteindre 9 milliards d'habitants en 2050 et selon la projection de l'ISTEEBU, la population burundaise passera de 8,05 million en 2008 à 13,37 million en 2030. L'augmentation de la population exerce une pression croissante sur l'agriculture ce qui a conduit à l'adoption des meilleures méthodes agricoles impliquant l'utilisation d'engrais inorganiques pour améliorer les rendements agricoles où leur utilisation intensive a des conséquences néfastes sur l'environnement. Une alternative intéressante est l'utilisation des urines de lapins comme engrais organique, elles sont riche en azote, en potassium, en phosphore, en carbone, en calcium et présente des avantages économiques et environnementaux pour les agriculteurs. La présente étude vise à repérer les potentiels de valorisation agricole des urines de lapins.

L'analyse des urines de lapins fournit des informations sur la présence des éléments nutritifs essentiels pour les plantes. Les teneurs en azote varient de 0,111 à 0,296 %, en phosphore de 0,002 à 0,024 %, en potassium de 0,638 à 1,049 %, en calcium de 0,013 à 0,015 %, et en carbone de 0,192 à 0,415 %. Elles varient en fonction du régime alimentaire et de mode de conservation. La conservation des urines entraine une perte progressive de la teneur surtout en azote et en carbone suite aux réactions chimiques qui s'y déroulent. Si on veut conserver l'urine de lapins pendant une certaine période tout en préservant au maximum la teneur en nutriments, on effectue le stockage des urines dans un récipient plein et fermé afin de limiter les pertes.

L'utilisation de l'urine de lapin en agriculture présente un potentiel prometteur pour améliorer les pratiques agricoles, car elle contient une quantité importante de nutriments essentiels (N, P, K, Ca, C) à la croissance des plantes.

Mots clés : Urine de lapin, potentiels agricoles , macronutriments.

ABSTRACT

According to the projection, the world population is expected to reach 9 billion inhabitants in 2050 and according to the ISTEEBU projection; the Burundian population will increase from 8.05 million in 2008 to 13.37 million in 2030. The increase in population puts increasing pressure on agriculture which has led to the adoption of the best agricultural methods involving the use of inorganic fertilizers to improve agricultural yields where their intensive use has adverse consequences on the environment. An interesting alternative is the use of rabbit urine as organic fertilizer; it is rich in nitrogen, potassium, phosphorus, carbon, calcium and has economic and environmental benefits for farmers. This study aims to identify the potential for agricultural valorization of rabbit urine.

The analysis of rabbit urine provides information on the presence of essential nutrients for plants. Nitrogen contents range from 0.111 to 0.296%, phosphorus from 0.002 to 0.024%, potassium from 0.638 to 1.049%, calcium from 0.013 to 0.015%, and carbon from 0.192 to 0.415%. They vary depending on the diet and storage method. Storing urine results in a gradual loss of content, especially nitrogen and carbon, due to the chemical reactions that take place in it. If rabbit urine is to be stored for a certain period while preserving the nutrient content as much as possible, the urine is stored in a full, closed container to limit losses.

The use of rabbit urine in agriculture has promising potential for improving agricultural practices because it contains a significant amount of essential nutrients (N, P, K, Ca, C) for plant growth.

Keywords: Rabbit urine, agricultural potential, macronutrients

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY : i
DEDICACE ii
REMERCIEMENTS iii
RESUME iv
ABSTRACT v
TABLE DES MATIERES vi
LISTE DES TABLEAUX ix
LISTE DES FIGURES x
LISTE DES ABREVIATIONS xi
AVANT-PROPOS xii
INTRODUCTION GENERALE 1
CHAPITRE I. GENERALITES SUR LA COMPOSITION ET LA VALORISATION AGRICOLE DES URINES DE LAPINS. 5
I.1. Elevages de lapins 5
I.2. Urines de lapins en agriculture 5
I.3. Caractéristiques chimiques de l'urine de lapin 7
I.4. Les composants des urines et leur rôle en agriculture 8
I.4.1. Azote (N) : 8
I.4.2. Phosphore (P) : 8
I.4.3. Potassium (K) : 9
I.4.4. Le calcium 9
I.5. Les effets de l'usage d'engrais chimiques et organiques 9
I.5.1. Usage d'engrais chimiques 9
I.5.2. Usage d'engrais biologiques ou organiques. 9
I.6. Comparaison de l'urine de lapin avec d'autres engrais organiques 10
I.7. Valorisation de l'urine de lapin comme biopesticide 11
I.8. Traitements d'urines de lapin 12
I.8.1. Pourquoi traiter l'urine ? 12
I.8.2. La stabilisation 12
I.8.2.1. L'acidification 12
I.8.2.2. L'alcalinisation 13
I.8.3. La concentration 14

I.8.4. La fermentation de l'urine de lapin 14
I.9. Stockage de l'urine de lapin pour une utilisation ultérieure 15
I.10. Les différents sous-produits d'urines 15
I.11. L'alimentation de lapins 19
I.11.1. Le fourrage 19
I.11.2. Les Concentrés 19
I.12. Les facteurs influençant la concentration des éléments dans l'urine de lapin 19
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES 21
II.1. Le choix de lieux d'échantillonnage 21
II.2. Méthode de récupération des urines de lapins dans le clapier 22
II.3. Prétraitement de l'échantillon 23
II.4. Méthodologie expérimentale 24
II.4.1. Mesure de pH 24
II.4.2. Dosage du carbone organique total 24
II.4.2.1. Les matériels 24
II.4.2.2. Les réactifs 24
II.4.2.3. Mode opératoire 25
II.4.3. Analyse d'azote totale 26
II.4.3.1. Les matériels 26
II.4.3.2. Les réactifs 26
II.4.3.3. Mode opératoire 27
II.4.4. Détermination de phosphore totale 28
II.4.4.1. Le matériel 28
II.4.4.2. Les réactifs 28
II.4.4.3. Mode opératoire 28
II.4.5. Détermination de K et Ca 31
II.4.5.1. Le matériel 31
II.4.5.2. Réactif 31
II.4.5. 3. Mode opératoire 31
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION 33
III.1. Urines fraiches de lapins en fonction du régime alimentaire 33
III.2. Urines de lapins conservées indépendamment du régime alimentaire 37
III.2.1. Les urines de lapins conservées dans les contenants fermés et non fermés 37
III.2.2. Les urines de lapins conservées par les éleveurs cunicoles 37
CHAPITRE IV. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 41

IV.1. Conclusion 41
IV.2. Recommandations 41
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 42
ANNEXES 49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Résultats d'analyse d'urines de lapins de quelques auteurs.....8

Tableau 2:Teneur en éléments nutritifs du fumier des animaux 11

Tableau 3:Préparation d'une courbe d'étalonnage pour doser le phosphore.....30

Tableau 4: Résultats d'analyse d'urines de lapins fraiches 33

Tableau 5:Résultats d'analyses des urines de lapin conservées dans les contenants fermés et non fermés.....37

Tableau 6:Résultats d'analyse d'urine de lapins conservée un mois de plus 37

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Café non fertilisé par des urines de lapins et café fertilisé par des urines de lapins ...7

Figure 2:Dispositif de récupération d'urines de lapins 21

Figure 3:Photo de cages constitutifs du clapiers.....22

Figure 4:Echantillon d'urine de lapins fraiches et conservées.....23

Figure 5:Teneur en azote d'urines fraiches.....34

Figure 6:Teneur en P_2O_5 d'urines fraiches 34

Figure 7:Teneur en K_2O d'urines fraiches 34

Figure 8:Teneur en CaO d'urines fraiches.....34

Figure 9:Teneur en carbone d'urines fraiches 34

Figure 10:pH d'urine fraiches de lapins.....34

Figure 11:Teneur en Azote d'urines conservées.....38

Figure 12:Teneur en carbone d'urines conservées.....38

Figure 13:Teneur en P_2O_5 d'urines conservées 38

Figure 14:Teneur en K_2O d'urines conservées 38

Figure 15: Teneur en CaO d'urines conservées.....38

Figure 16: pH d'urines de lapins.....38

LISTE DES ABREVIATIONS

ISABU : Institut des sciences agroalimentaires du Burundi

ISTEEBU : Institut de statistique et d'études économiques du Burundi

LASPA : Laboratoire d'analyse des sols et des produits agroalimentaires

UCF : Urines de lapins conservées dans un contenant fermé

UCNF : Urines de lapins conservées dans un contenant non fermé

UFLNC : Urines fraiches de lapin nourris par les concentrés

UFLNCH : Urines fraiches de lapin nourris par les concentrés et les herbes

UFLNH : Urines fraiches de lapin nourris par les herbes

AVANT-PROPOS

Ce travail de mémoire est réalisé dans l'optique de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Chimiques, orientation Contrôle et Analyses Chimiques. L'objectif de ce travail est d'identifier les potentiels de valorisation agricoles des urines de lapin.

L'idée de réaliser ce travail s'est imposée après avoir constaté la pénurie croissante d'engrais chimiques au Burundi et l'essor de l'élevage de lapins dans le pays. Cette situation crée une opportunité unique pour valoriser les urines de lapins, souvent négligées, en tant que ressource fertilisante. En intégrant cette pratique dans les systèmes agricoles, nous pourrions non seulement répondre aux besoins des agriculteurs en matière de fertilisation, mais aussi promouvoir une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement.

Selon la littérature, les urines de lapins sont riches en éléments nutritifs, notamment l'azote, le potassium, le phosphore, le calcium, carbone,… qui sont essentiels pour la croissance des plantes et qui peuvent varier en fonction du régime alimentaire des lapins ainsi que du mode de conservation des urines.

Les résultats de ce travail pourront être consultés par tous les agriculteurs souhaitant améliorer leurs pratiques agricoles en utilisant les urines de lapin. Ils offriront des informations précieuses sur la valorisation des urines de lapins comme fertilisant naturel, ainsi que des recommandations pratiques sur leur collecte et leur conservation.

INTRODUCTION GENERALE

Selon la projection, la population mondiale devrait atteindre 9 milliards d'habitants en 2050 (Godfray et *al*., 2010) et selon la projection de l'ISTEEBU, la population burundaise passera de 8,05 million en 2008 à 13,37 million en 2030 (ISTEEBU, 2013). Il se présente une augmentation sans cesse croissante de la population ce qui entraîne un cercle vicieux d'augmentation des besoins en nourriture qui cause une pression sur la terre, cette dernière favorise la dégradation du sol qui, à son tour, cause une diminution des rendements, une faible production et une augmentation de la pauvreté.

L'augmentation de la population mondiale exerce ainsi une pression grandissante sur l'agriculture et cette dernière doit alors chercher des stratégies pour satisfaire les besoins alimentaires des populations (Emile et *al*., 2017). Cela entraine par conséquent une hausse de la demande de sécurité alimentaire au niveau mondiale.

Cette augmentation a entrainé l'adoption de meilleures méthodes agricoles qui impliquent l'utilisation d'engrais inorganique pour améliorer la quantité des récoltes (Mutai, 2020) en fournissant une nourriture suffisante aux besoins de la population. L'utilisation d'engrais synthétiques (inorganique) est devenue une méthode largement adoptée pour la pratique agricole. Ces engrais, riches en nutriments azotés, phosphorés et potassiques, assurent un approvisionnement alimentaire rapide et adéquat (Richner et *al*., 2017).

Toutefois, l'utilisation d'engrais synthétiques n'est pas durable du fait que l'azote (N) est dérivé de l'ammoniac synthétique (NH_3) produit à forte consommation d'énergie, le phosphore (P) et le potassium (K) contenu dans les engrais synthétiques sont également extraits de la roche non renouvelable (Tordera, 2018).

Ces pratiques agricoles d'utilisation des engrais synthétiques ont des conséquences néfastes sur l'environnement comme la dégradation des sols, les pollutions des eaux, l'appauvrissement de la biodiversité, le changement climatique (Fortun-Lamothe, 2007).

Leur utilisation intensive entraine l'acidité du sol (Ichami et *al*., 2020, Richner et *al*., 2017). Le sol devient plus acide en raison de l'utilisation prolongée d'engrais inorganiques (chimiques) et cette acidité est à l'origine de la baisse du rendement agricole (Makone et *al*., 2015). L'utilisation des fertilisants qui préservent l'environnement, est plus que nécessaire en raison des conséquences de la pollution chimique du sols et des eaux (Kinanpara et *al*., 2020) .

Pour faire face à ce problème, les chercheurs recommandent une agriculture qui utilise moins d'engrais chimique c'est-à-dire en faisant recours à l'utilisation d'engrais organique (Zhou et *al*., 2010)**.**

Les eaux usées, les excrétas et les eaux ménagères constituent une ressource importante des éléments pour l'agriculture. Les produits agricoles cultivés grâce à l'utilisation d'excrétas et d'eaux ménagères non contaminées améliorent considérablement la sécurité alimentaire des communautés (OMS, 2O12).

L'usage d'engrais organiques tels que les déchets de bétail et les engrais chimiques, ont révélé que les premiers étaient plus respectueux de l'environnement, plus efficaces et plus performants. Les déchets d'élevages tels que l'urine de lapin augmentent les disponibilités des nutriments dans les aliments (Arowogbola et *al*., 2022)**.**

Les plantes, dans leur croissance et leur développement, ont besoin de deux types de nutriments à savoir les macro et micro nutriments. Néanmoins, seuls les éléments N, P et K sont nécessaires en plus grande quantité (Wijayanto et *al*., 2023).

L'utilisation de l'urine de lapin comme engrais peut également présenter des avantages économiques significatifs pour les agriculteurs. Elle est une source riche en azote, un nutriment essentiel pour la croissance des plantes. Son utilisation permet de fournir aux cultures une quantité adéquate d'azote, favorisant ainsi une croissance vigoureuse et un rendement accru des cultures. De plus, l'urine de lapin contient également du phosphore et du potassium qui sont nécessaires au développement des racines et à la formation des fleurs et des fruits. La teneur substantielle en carbone organique, un facteur très important dans les engrais organiques qui les distingue des engrais inorganiques, a également été signalée comme étant présente dans l'urine de lapin (Olusola, 2022)**.**

Les engrais chimiques peuvent représenter un coût important pour les agriculteurs, en particulier pour ceux qui ont des ressources financières limitées. L'utilisation de l'urine de lapin comme source d'engrais peut réduire les coûts associés à l'achat d'engrais chimiques, offrant ainsi une solution économique et accessible pour les agriculteurs ce qui contribue à une gestion plus efficace des ressources et à une amélioration de la rentabilité.

Les urines de lapins sont utilisées comme médicaments antiseptique ou anti-cancer ou comme biofertilisant pour soutenir la production de diverses cultures notamment les maraichages, le maïs, le coton, les arachides et les piments en Inde (Roose & Kouakoua, 2015)**.** Elle est aussi utilisée dans certains pays africains comme l'Éthiopie, le Kenya, l'Ouganda, la Tanzanie, le Malawi, le Nigeria et le Burundi comme pesticide et engrais (Diana et *al*., 2022)**.**

L'urine est un engrais liquide à action rapide, bien équilibré, riche en azote et en potasse, mais contenant aussi des quantités de phosphore, de calcium, du magnésium et pas mal d'oligo-éléments **(**Gilles, 2020). En plus d'être utilisée comme engrais organique , l'urine de lapin est également un excellent biopesticide (Diana et *al*., 2022).

Elle est utilisée sous sa forme brute directement sur les cultures mais l'azote peut être perdu en raison de volatilisation de l'ammoniac après l'hydrolyse de l'urée. L'hydrolyse de l'urée se fait par une enzyme appelée uréase, qui est libérée par des micro-organismes naturellement présent dans l' urine et dans l'environnement (Udert et *al*., 2003).

Selon Chipako et Randhall (2019), un pH élevé c'est-à-dire supérieur à 11 de l'urine fraiche inhibe l'hydrolyse enzymatique de l'urée. Elle peut également être inhibée en diminuant le pH de la solution à une valeur inférieur à 5 (Chipako & Randall, 2019) . L'hydrolyse est aussi inhibée en fermant le contenant pour diminuer les échanges avec l'air libre.

Les études faites sur la récupération des nutriments dans les urines sont relativement peu nombreuses. Les méthodes conventionnelles telles que l'osmose inverse, la précipitation chimique, le processus d'évaporation et recristallisation, le processus électrochimique et l'échange d'ions peuvent être utilisées pour avoir les sous-produits des urines (Pillai et *al*., 2014)

L'objectif général de ce travail est d'identifier les potentiels de valorisation agricole des urines de lapins.

Objectifs spécifiques:

- Analyser la composition chimique des urines de lapins ;
- Evaluer la teneur des éléments nutritifs essentiels tels que le phosphore, l'azote et le potassium, le calcium et le carbone ;
- Analyser l'effet du stockage des urines sur la composition en macronutriments.

Hypothèses:

- Les urines de lapins contiennent des niveaux significatifs de nutriments essentiels pour la croissance des plantes ;
- Le régime alimentaire peut influencer le taux des macroéléments dans les urines de lapins ;
- Le stockage des urines de lapin a un effet sur la composition des macronutriments.

Le présent travail mènera à la détermination des teneurs d'urines de lapins. Une bonne connaissance de la composition chimique de l'urine de lapin est donc capitale, elle donne des meilleures stratégies dans l'optique d'optimiser leur valorisation comme fertilisants des cultures ou amendements des sols.

Ce document de mémoire est subdivisé essentiellement en 3 chapitres en plus d'une introduction, une conclusion et recommandation. Ces trois chapitres portent respectivement sur les généralités liées à une revue théorique de la littérature, la méthodologie et les résultats et leur discussion

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LA COMPOSITION ET LA VALORISATION AGRICOLE DES URINES DE LAPINS.

Le recours aux urines de lapins peut donner une image d'une agriculture peu consommatrice et qui utilise au mieux les ressources disponibles. C'est le sens de l'agriculture biologique qui utilise quasi exclusivement les effluents d'élevage pour assurer la fertilisation des champs agricoles.

I.1. Elevages de lapins

Le lapin est un mammifère qui peut se nourrir des fourrages, des graines de céréales, des restes de cuisine, des résidus de récolte et d'aliments composés (Marc et *al*., 2018).

L'élevage de lapins est une activité peu reconnue dans de nombreux pays africains comme un outil de promotion de la sécurité alimentaire et de réduction de la pauvreté parmi les petits exploitants agricoles. Ces pays sont notamment le Kenya, le Rwanda, l'Algérie, le Malawi, l'Afrique du Sud, la Tunisie, le Botswana, le Burundi, l'Egypte, le Ghana, le Cameroun et la Sierra Leone (Diana et *al*., 2022).

Au Burundi , l'élevage de lapin rentre parmi les divers types d'élevages qui y sont pratiqués pour satisfaire à des besoins urgents et ponctuels comme les soins de santé, les frais scolaires des enfants (ISABU, 2015). Toutefois, comme il a été récemment instauré une campagne nationale de cinq lapins par ménage énoncée par le Président de la République, l'élevage de lapin aura une place importante dans notre pays.

La filière cunicole propose des produits bénéficiant d'une bonne image auprès du consommateur, de très grande qualité obtenu en respectant l'environnement (Aubert et *al*., 2009).

I.2. Urines de lapins en agriculture

Pour leur croissance, les plantes ont besoin d'éléments minéraux notamment l'azote (N), le Phosphore (P), le Potassium (K), ... Ces nutriments se retrouvent dans les différents engrais chimiques et organiques que l'on rencontre dans le commerce (urée, NPK, compost, litière, etc.).

Beaucoup d'éleveurs ne le savent pas mais les urines de lapins sont utilisées comme fertilisant biologique et insecticide pour les cultures. Les urines de lapins sont riches en matière azotée, elles contiennent aussi le phosphore, le potassium, ainsi que les oligo-éléments (Emile et *al*., 2017).

C'est un engrais à action rapide facilement assimilable par les plantes, très riche en éléments nutritifs et en matière organique, ce qui constitue en fait un amendement précieux pour améliorer la fertilité du sol (Benoît, 2015) .

La composition de l'urine étant proche de celle des engrais utilisés en agriculture, la collecte de l'urine permet de recycler les nutriments tel que l'azote, le phosphore et le potassium dont la production industrielle est consommatrice d'énergie (pour l'azote) ou utilisatrice des ressources non renouvelables et en voie d'épuisement (Amandine, 2013).

La fabrication d'engrais à base d'urine est très avancée dans certains pays. Cet engrais liquide contient toutes les substances nécessaires à la croissance végétale et qui contribuent fortement au bon développement des végétaux (Emile et *al*., 2017).

L'utilisation de l'urine de lapin en tant qu'engrais naturel peut réduire la nécessité d'utiliser des engrais chimiques synthétiques, il peut avoir un impact positif sur l'environnement en réduisant la pollution des sols et des eaux souterraines causée par les excès d'engrais chimiques (Richert et *al*., 2011) . Ainsi, l'urine de lapin peut améliorer la fertilité des sols à long terme. Les nutriments présents dans l'urine favorisent la croissance des micro-organismes bénéfiques du sol, ce qui améliore la structure du sol et sa capacité à retenir l'eau et les nutriments. Cela peut conduire à une meilleure croissance des racines (Arowogbola et *al*., 2022) et une meilleure résistance aux maladies. Elle peut aussi contribuer à améliorer la fertilité des sols, à réduire les coûts d'engrais chimique et à promouvoir une agriculture plus durable qui sauvegarde à long terme les capacités de production, en s'appuyant sur les trois piliers du développement durable : environnement, société et économie (Aubert et *al*., 2009).

La figure 1 illustre en effet l'impact de la fertilisation du café à l'aide de l'urine de lapin.



(a) (b)

Figure 1:(a)Café non fertilisé par urine de lapin et (b) café fertilisé par urines de lapins (Sucihatiningsih et *al*., 2023)

I.3. Caractéristiques chimiques de l'urine de lapin

Chez un lapin adulte de 4 kilogrammes, la production urinaire est de 160 à 170 millilitres par jour. Cette quantité est très fortement corrélée à la consommation d'eau, elle-même fortement influencée par la température ambiante. L'excrétion urinaire permet l'élimination des déchets solubles de l'organisme et celle des matières minérales pour maintenir l'équilibre ionique, acido-basique et hydrique des cellules (OCAPI, 2022).

L'urine de lapin est systématiquement alcaline de pH entre 8,0 et 9,3 (Gomgimbou et *al*., 2016). Elle est généralement translucide de couleur jaune paille, mais peut devenir opaque en fonction de la charge en calcium.

On trouve dans les urines de l'azote, du carbone organique , du la potasse , du phosphore, du calcium , du magnésium et des oligo-éléments (Roose & Kouakoua, 2015). On y retrouve une bonne partie des éléments nutritifs contenus dans le régime alimentaire que les lapins sont ingérés (Calvet et *al*., (2008).

Les recherches antérieures donnent la composition des urines de lapin telle qu'illustré dans le tableau n° 1.

Tableau 1:Résultats d'analyse d'urines de lapins de quelques auteurs

Paramètre	Résultats de Kari, (2023)	Résultats de Ekwere et *al*., (2023)	Résultats de Sucihatiningsih et *al*., (2023)
pH	6,90	8.50	9 ,20
P_2O_5%	0,022	0,211	0 ,15
CaO%	0,18	0 ,355	0 ,214
K_2O%	1,13	3.56	0,34
N%	1,30	2.36	1,89

I.4. Les composants des urines et leur rôle en agriculture

I.4.1. Azote (N) :

L'azote est un élément majeur pour la fertilisation des végétaux. Il a plusieurs rôles dans le développement de la plante, il est le moteur de la croissance végétale et contribue au développement végétatif de toutes les parties aériennes de la plante, plus spécialement les feuilles, les tiges et la formation des graines d'où sa contribution à l'amélioration du rendement.

L' azote est nécessaire pour les plantes comme moyen de formation végétative des plantes et également pour le processus de formation de la chlorophylle des feuilles (Wijayanto et *al*., 2023).

I.4.2. Phosphore (P) **:**

Le phosphore (P) a pour rôle le transport de l'énergie résultant du métabolisme des plantes. Il stimule la floraison, la fructification, la croissance des racines, la formation des graines, provoquant la division cellulaire des plantes et l'élargissement des tissus cellulaires. La carence en élément phosphore conduit à la formation des fruits et graines réduites, aux feuilles violacées ou rougeâtres (Wijayanto et *al*., 2023).

Il est moins consommé par la plante que l'azote et le potassium et il faudra veiller à ce que son apport ne soit jamais trop élevé. Une carence en phosphore est rare, c'est surtout en début de végétation qu'il sera utile d'en apporter.

I.4.3. Potassium (K) :

Le potassium est un élément qui contribue à favoriser la floraison et le développement des fruits. Il a également une action de renforcement de la résistance aux maladies et au froid, la limitation de la rigidité de la tige. Il est utilisé pour la production de sucres et autres arômes présents dans les fruits et doit être plus dosé que l'azote et le phosphore lorsque c'est la production de fleurs ou de fruits qui est attendue (Yasser & Boubekeur, 2018). Le potassium a aussi une fonction dans le processus de photosynthèse, le transport des résultats de l'assimilation, les enzymes et les minéraux (Wijayanto et *al*., 2023) .

I.4.4. Le calcium

Le calcium (Ca) est essentiel à la croissance des racines en tant que constituant du matériau de la paroi cellulaire. Une carence peut survenir sur des sols tropicaux fortement appauvris en calcium. L'application de calcium, donc le chaulage, a pour objectif de réduire l'acidité du sol (Mutai, 2020).

I.5. Les effets de l'usage d'engrais chimiques et organiques

I.5.1. Usage d'engrais chimiques

L'utilisation excessive d' engrais chimiques conduit à une faible efficacité de la production, entraîne également une série de problèmes graves, tels que la réduction de la teneur en matière organique du sol, l'enrichissement des nutriments disponibles (azote, phosphore, etc.) (Zhang et *al*. 2023). L'utilisation intensive des engrais chimiques par l'agriculture est la cause majeure de la contamination des nappes souterraines et des cours d'eau par la libération des nitrates fortement accumulés dans le sol.

Lorsque les engrais d'origine chimiques sont appliqués en grande quantité par rapport aux besoins des plantes et à la capacité de rétention des sols, ils constituent les causes majeures de la pollution de l'eau potable. Ils entrainent la destruction des ressources vivantes, le déséquilibre des milieux physiques, biologiques et des écosystèmes aquatiques à travers l'eutrophisation (Dahal et *al*., 2007).

I.5.2. Usage d'engrais biologiques ou organiques.

L'engrais organique est un type d'engrais fabriqué à partir de matières organiques d'origine végétale ou animale contrairement aux engrais chimiques qui sont généralement synthétiques et fabriqués à partir des produits chimiques spécifiques.

Les engrais biologiques ou organiques sont, un mélange de déchets d'origine animale ou végétale. Les engrais biologiques d'origine végétale sont les résidus de cultures provenant de l'exploitation agricole comme des feuilles, les tiges, les pailles ou les racines, de préférence transformés en compost de bonne qualité et ceux d'origine animale sont les excréments ainsi que les urines.

Les engrais organiques sont bénéfiques pour les sols, ils améliorent leur structure et leur fertilité à long terme. Ils contribuent à maintenir l'équilibre biologique du sol en favorisant la croissance de micro-organismes bénéfiques, ce qui, à son tour favorise la santé des plantes (Chen, 2006). Ils augmentent la teneur en matière organique du sol, donc améliorent la capacité d'échange d'aliments, la conservation croissante de l'eau du sol, favorisant des agrégats de sol et protégeant le sol contre l'acidité (Larounga et *al*., 2020).

Les engrais organiques augmentent aussi la teneur en éléments nutritifs nécessaires aux plantes, la productivité des cultures, stimule la croissance des racines, des tiges et des feuilles (Wijayanto et *al.*, 2023).

Les urines de lapins sont recommandées comme engrais organique pour les cultures, en raison de son faible risque de sécurité alimentaire pour la consommation humaine (Okonji et *al.*, 2023)**.**

I.6. Comparaison de l'urine de lapin avec d'autres engrais organiques

Les déjections de lapins sont plus riches en macro éléments : phosphore, potassium, azote et microéléments (cuivre, magnésium, manganèse, fer, zinc, …) dont la plante a besoin qu'un fumier de ferme (Désiré, 2017) . C'est pour cette raison qu'elle représente un engrais de qualité notamment pour sa forte teneur en azote, élément primordial pour le développement des végétaux , potassium et phosphore ainsi que les oligoéléments (Adande & Fiogbe, 2015). Cette teneur est plus élevée par rapport à l'urine d'autres animaux tels que les vaches, les chèvres, les moutons, les chevaux et les porcs (Wijayanto et *al*., 2023).

Le tableau ci-dessous illustre les concentrations d'éléments nutritifs trouvées dans les fumiers de quelques animaux, tout en les comparants spécifiquement à celles des fumiers de lapins.

Tableau 2:Teneur en éléments nutritifs du fumier des animaux (Wijayanto et al., 2023)

Type de bétails	Nutriments			
	N%	P %	K %	H_2O %
Cheval	0,55	0 ,30	0,40	75,00
Buffle	0,60	0, 30	0,34	85,00
Vache	0,40	0,20	0,10	85,00
Mouton	0,75	0,50	0,45	60,00
Porc	0,90	0,35	0,40	80,00
Lapin	2,27	1,10	0,5	55,30

Les études faites par l'ISABU montrent aussi que le fumier de lapin est de bonne qualité par rapport aux autres animaux (ISABU, 2015). Le fumier de lapin a des fonctions chimiques importantes qui améliorent le système racinaire et les tiges des plantes mieux que les engrais chimiques (Arowogbola et *al*., 2022). Elle est réputée pour sa teneur en nutriments supérieure à celle des autres animaux d'élevage (Ferichani, 2024).

I.7. Valorisation de l'urine de lapin comme biopesticide

Les biopesticides sont des organismes vivants ou produits issus des organismes ayant la particularité de supprimer ou limiter les ennemis des cultures. Ils sont utilisés depuis des siècles par les fermiers. Ils sont classés en trois grandes catégories selon leur origine (microbienne, végétale ou animale) et présentent de nombreux avantages notamment la résistance au stress abiotiques, l'obtention à moindre coût, en quantités suffisantes, respectueuse de l'environnement et ils sont moins toxiques que leurs homologues chimiques (Lamis et *al*., 2022).

L'urine de lapin contrôle les populations d'insectes, de champignons en étant moins toxiques pour l'environnement que les pesticides chimiques. Elle est couramment utilisée comme biopesticide contre les ravageurs et les agents pathogènes dévastateurs des cultures.

Les agriculteurs affirment que la pulvérisation d'urine de lapin aide à lutter contre les insectes nuisibles, en particulier les chenilles, les pucerons, les larves des feuilles, les acariens qui attaquent les cultures telles que les légumes, le maïs, les pastèques, le café, les bananes et les avocats (Diana et *al*., 2022).

L'urine de lapin entraîne une réduction de l'alimentation des larves et l'augmentation de leur taux de mortalité ainsi que la réduction de l'éclosion des œufs (Kari, 2023).

I.8. Traitements d'urines de lapin

I.8.1. Pourquoi traiter l'urine ?

Les urines fraiches sont généralement stériles, leur conservation entraine une évolution rapide des formes d'azote-urée en azote ammoniacal et une forte augmentation du pH (Roose & Kouakoua, 2015)

Les urines ne sont pas stable lorsqu'elles sont collectées, elles perdent rapidement ses caractéristiques et sa teneur en NPK, notamment par l'hydrolyse de l'urée en ammoniac, ce qui rend son utilisation industrielle inadaptée et impossible (Michael & Pierre, 2021).

La majeure partie de l'azote excrétée dans l'urine sous forme d'urée est rapidement transformée pendant le stockage de l'urine en azote ammoniacal en raison de la présence de l'enzyme uréase sécrétée par les micro-organismes. L'urée qu'elle contient est dégradée rapidement par les bactéries (de quelques heures à quelques jours) en azote ammoniacal ce qui entraine les odeurs et les pertes par volatilisation (Gilles, 2020).

Le traitement de l'urine correspond aux procédés qui maintiennent l'azote sous une forme de l'urée en limitant les pertes; il permet aussi la réduction des pertes lors de sa valorisation comme l'épandage sur les cultures (Fabien et *al*., 2022)**.**

I.8.2. La stabilisation

Pour obtenir une récupération optimale des nutriments de l'urine et prévenir les mauvaises odeurs, l'urine doit être stabilisée. La stabilisation de l'urine fait référence à la prévention de l'hydrolyse enzymatique de l'urée. Par stabilisation, on cherche à stabiliser les nutriments afin d'optimiser leur récupération.

I.8.2.1. L'acidification

L'acidification en prévention de l'hydrolyse de l'urée est une méthode largement utilisée qui permet aussi de stabiliser les nutriments.

On obtient la récupération de presque la totalité de l'azote contenu dans l'urine grâce à l'ajout d'acide fort ou d'acide faible afin d'atteindre un pH inférieur à 4.

L'étape d'acidification est préférentiellement réalisée au moment de la collecte de l'urine pour éviter la réaction d'hydrolyse de l'urée en ammoniaque afin de limiter les pertes d'azote. Elle est réalisée par ajout d'au moins un acide dans le contenant où les urines sont réceptionnées ou versées après la réception.

Le contenant une fois rempli est fermé hermétiquement pour le transport ou le stockage afin de limiter les échanges gazeux avec l'air libre. Le contenant est préférentiellement en matière plastique ou en métal résistant à la corrosion par l'acide (Michael & Pierre, 2021).

Les acides qui peuvent être utilisés sont l'acide sulfurique, l'acide acétique ou l'acide citrique. Pour les acides faibles, on utilise une plus grande quantité d'acides faibles par rapport à l'acide fort (OCAPI, 2022).

L'acidification de l'urine est nécessaire car elle permet d'inhiber la croissance des microorganismes en empêchant la réaction d'hydrolyse de l'urée en ammoniaque en conservant sa concentration en azote (Michael & Pierre, 2021).

I.8.2.2. L'alcalinisation

Il est possible de stabiliser l'azote et de le conserver sous forme d'urée en alcalinisant l'urine fraîche. Un processus d'alcalinisation consiste à collecter l'urine fraîche dans un récipient contenant de la chaux. Le pH élevé de cette dernière empêche les bactéries de dégrader l'urée en azote ammoniacal, il empêche aussi l'enzyme uréase d'être active (Gilles, 2020).

Si on ajoute une base dans les urines hydrolysées, l'augmentation du pH favorisera la volatilisation de l'ammoniac. Différents types de base peuvent être utilisés notamment les hydroxydes de calcium, de magnésium ou de potassium ou encore la cendre de bois (OCAPI, 2022).

La stabilisation se fait efficacement pour une concentration de 10 g de $Ca(OH)_2$ par litre d'urine fraiche, cela permet de rester à des valeurs de pH en dessous de la valeur limite qui favorise l'hydrolyse de l'urée. Les pH élevés, comme les faibles favorisent la stérilité de l'urine (Tordera, 2018)**.**

I.8.3. La concentration

L'azote est stabilisé avant l'évaporation pour éviter la volatilisation de l'ammoniac. Ensuite, l'eau peut être évaporée en jouant sur la température et la pression. Le produit final peut rester liquide ou l'évaporation peut se poursuivre jusqu'à la déshydratation. Lorsque l'hydrolyse de l'urée est inhibée, l'évaporation a lieu en dessous de 40 °C à 60 °C pour éviter la dégradation chimique de l'urée et les pertes d'azote. La contamination en pathogènes peut être réduite à haute température ou par la réduction de la teneur en eau du produit final (OCAPI, 2022). L'élimination physique de l'eau peut récupérer toutes les ressources présentes dans l'urine sous forme de produit final concentré.

L'eau représente environ 96% du volume de l'urine, le reste de l'urine après élimination de l'eau est riche en nutriments et peut être utilisé comme engrais liquide (Chipako & Randall, 2020).

I.8.4. La fermentation de l'urine de lapin

Les agriculteurs peuvent recueillir les urines de lapins et après les avoir recueillies, on les mélange avec de l'amidon de maïs et de la mélasse. Le mélange est ensuite laissé à fermenter pendant environ trois semaines dans un récipient.

La fermentation de l'urine peut être réalisée à une température comprise entre 25 et 35^0 C. Elle est préférentiellement réalisée à une température correspondant à la température de croissance optimale des micro-organismes utilisés pour la fermentation avec ajout de 15 et 30g de sucre par litre. Elle représente une technique abordable et simple qui stabilise et conserve la qualité nutritionnelle des sous-produits (Michael & Pierre, 2021).

Les urines fermentées de lapins sont riche en nutriments tels que l'azote, le phosphore et le potassium, ainsi que d'autres éléments nutritifs essentiels. Elle peut être utilisée comme engrais naturel pour nourrir les plantes et favoriser leur croissance. L'urine fermentée peut être diluée avec de l'eau pour obtenir une solution d'engrais liquide, qui peut être appliquée directement sur le sol ou utilisée en pulvérisation foliaire (Said et *al*., 2018).

I.9. Stockage de l'urine de lapin pour une utilisation ultérieure

Les éleveurs cunicoles rencontrent des problèmes pour conserver l'urine de lapin. Une fois collectée l'urine est stockée dans des conteneurs appropriés pour éviter les pertes d'azote.

La perte de l'azote est faible lorsque les urines sont stockées dans des conditions anaérobies et par contre dans des conditions aérobies, la teneur en azote subit des pertes de 38% au bout de 45 jours de stockage (Emile et *al*., 2017).

Le stockage est effectué à l'abri de la lumière afin d'éviter l'effet des UV sur la composition des urines et à température ambiante d'environ 20^0C. Les températures extrêmes, soit inferieures à 0^0 C ou soit supérieures à 40^0C sont défavorables au stockage car pouvant modifier la composition de l'urine (Michael & Pierre, 2021).

Les urines sont stockées après l'acidification ou alcalinisation, avant l'étape de la filtration ou après l'étape de filtration et avant l'étape de transformation par fermentation. L'urine peut être stockée pendant une durée indéterminée mais préférentiellement pendant une durée inférieure ou égale à 6 mois. Au-delà de 6 mois l'urée se dégrade fortement en ammoniaque ce qui rend le milieu défavorable á la croissance microbienne (Michael & Pierre, 2021).

Le stockage de l'urine avant l'utilisation correspond au traitement le plus simple. Pendant le stockage, l'urée est rapidement hydrolysée en azote ammoniacal selon les conditions. Après hydrolyse de l'urée, environ 90 % de l'azote présent dans l'urine est sous forme ammoniacale et le reste de l'azote est sous forme organique (Fabien et *al*., 2022).

I.10. Les différents sous-produits d'urines

L'utilisation des urines se fait sous plusieurs formes notamment :

- Le **lisain** qui est l'urine brute stockée ;
- L'**aurin** qui est l'urine concentrée par différents procédés ;
- La **struvite** qui est retenue en précipitant les nutriments par l'oxyde de magnésium ;
- **Le granurin** qui est obtenu en alcalinisant l'urine par la chaux puis déshydraté (Florent, 2018) ;
- l'**urée** qui est récupérée dans les urines par un processus d'évaporation et recristallisation ou par des méthodes chimiques (Marepula H. et *al*., 2021).

La Struvite

Le phosphore est un élément essentiel à l'agriculture en tant qu'engrais. Cet élément est actuellement prélevé dans des mines dont les réserves sont limitées. La récupération du phosphore dans les urines est importante car elles sont riches en phosphore.

La précipitation de struvite ($MgNH_4PO_4.6H_2O$) est un procédé bien connu pour récupérer le phosphore de l'urine. La réaction est initiée par l'ajout d'une source de magnésium soluble (Thi--Dieu--Hien et *al*., 2022) comme le chlorure de magnésium ou l'oxyde de magnésium , presque tout le phosphore peut être précipité de l'urine .

Des cristaux de struvites se forment rapidement après l'ajout de magnésium et seuls les surdosages sont nécessaires pour une précipitation complète de tout le phosphore. Le taux final de récupération des struvites dépend de l'efficacité avec laquelle la filtration sépare les solides du liquide. La struvite contient également de l'ammoniac mais sa précipitation vise à récupérer le phosphore présent dans l'urine (Haiming et *al*., 2019).

La struvite ou phosphate d'ammonium et de magnésium est un minéral phosphaté cristallin blanc qui peut être utilisé comme engrais biodisponibles (Etter et *al.*, 2011) .

Le Lisain

Le Lisain est connu sous le nom d'urine brute, fait référence à l'urine stockée sans subir de processus de transformation ou de traitement significatif. Cette urine présente généralement de faibles concentrations en nutriments, tels que l'azote, le phosphore et le potassium (Florent et *al*., 2020) .

L'usage final de l'urine stockée est donc réalisable en grande culture sans contrainte majeure. La faible concentration des nutriments et la forme ammoniaquée, donc aisément volatilisée, de l'azote de l'urine stockée représentent ses deux inconvénients principaux en termes des modalités pratiques de son utilisation agronomique. Les différents traitements envisageables de l'urine peuvent éventuellement la rendre plus adaptée aux différentes pratiques culturales (Fabien, 2018).

Le Granurin

Granurin est un terme utilisé pour désigner un produit spécifique du traitement ou de valorisation de l'urine. Il s'agit d'une formulation particulière dans laquelle l'urine est stabilisée et transformée en granulé.

Une fois collectée, l'urine est traitée pour éliminer les substances indésirables et pour stabiliser sa composition. Cela implique l'ajout de chaux ou d'autre substance qui favorisent la réduction des odeurs ou dégradation des matières organiques présentes dans les urines.

Le mélange (chaux et urine) est ensuite déshydraté à l'aide d'un évaporateur et les solides trouvés peuvent être transformés sous forme de granulés (OCAPI, 2022). Les granulés peuvent être utilisés comme engrais car il est riche en nutriments tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Il est aussi utilisé comme matière première dans la production d'autres produits chimiques comme source d'azote dans les industries agricoles.

L'Aurin

L'Aurin est un produit obtenu à partir de l'urine qui subit plusieurs étapes de traitement. Tout d'abord, un traitement biologique c'est à dire nitrification qui est effectué pour prévenir le dégagement d'ammoniac et d'odeurs indésirables. Cette étape permet de stabiliser l'azote de l'urine en nitrate d'ammonium et quelques composés organiques.

Une fois l'urine stabilisée, le traitement de l'urine met en place une concentration qui peut s'effectuer par distillation sous vide ou par évaporation.

L'évaporation est considérée comme une technologie la plus simple pour éliminer l'eau de l'urine et pour concentrer ses nutriments en donnant un produit qui présente une composition NPK. Elle peut produire un engrais solide riche en nutriments qui peut être directement applicable sur les terres agricoles (Fabien, 2018).

L'urée

L'urée est un composé organique qui se présente sous forme de cristaux blancs solubles dans l'eau. Elle est largement utilisée comme source d'azote dans les engrais, en raison de sa teneur élevée en azote (environ 46% d'azote). L'urée de formule $CO(NH_2)_2$, est l'un des engrais azotés le plus largement utilisé dans le monde. L'urée est aussi présente dans la nature depuis qu'elle est expulsée dans les urines des animaux.

La teneur élevée en N (46%) de l'urée la rend plus efficace pour le transport dans les exploitations agricoles et pour son épandage dans les champs (IPNI, 2016) **.**

Elle est idéale pour la fertilisation et permet d'améliorer la qualité et le rendement des récoltes. Ces 46% d'azote en font un engrais azoté très riche, favorisant la croissance des plantes exigeantes en azote.

Par sa granulation et cette teneur en azote, l'urée est facile à stocker, à transporter et à épandre à grande échelle. Facile à utiliser, l'urée peut contribuer à améliorer le rendement et à augmenter la qualité des récoltes (Ziadi, 2007).

Les études faites sur la récupération de l'urée dans les urines sont peu nombreuses. Les méthodes chimiques telles que l'osmose inverse, la précipitation chimique, le processus électrochimique et l'extraction par solvant peuvent être utilisées pour récupérer l'urée de l'urine.

La précipitation chimique est une méthode largement utilisée pour extraire l'urée des urines. Elle implique l'ajout d'un réactif précipitant, tel que l'acide nitrique et carbonate de potassium pour provoquer la précipitation de l'urée sous forme de cristaux solides. La solution est ensuite filtrée pour séparer le précipité d'urée des autres composants de l'urine.

L'extraction de l'urée par solvant, également appelée extraction liquide-liquide, est utilisée pour isoler un soluté d'une solution par extraction dans un autre solvant. Le composé est transféré en raison de la différence de solubilité entre les deux solvants non miscibles. La méthode peut être utilisée soit pour récupérer une substance précieuse de la solution d'origine, soit pour purifier le solvant d'origine en éliminant les impuretés. Le processus dépend du soluté ayant une plus grande solubilité dans le solvant utilisé pour extraire que dans le solvant d'alimentation d'origine.

Un entonnoir séparateur est utilisé pour effectuer l'extraction. Le solvant d'alimentation d'origine (couche aqueuse) contenant le soluté est versé dans l'entonnoir, suivi du solvant d'extraction, qui est généralement une couche organique.

Les deux couches sont ensuite soigneusement mélangées, agitées puis laissées se séparer. Après séparation, la couche aqueuse est égouttée, laissant derrière elle la couche organique. Par la suite, les deux solvants sont évaporés, ce qui donne lieu à des substances distinctes.

La méthode est relativement simple lorsque deux substances dissoutes de solubilités sensiblement différentes sont séparées. Si les solubilités sont connues, un composé peut être extrait sélectivement du solvant d'origine et transféré vers le solvant d'extraction.

Le succès de cette méthode dépend du choix du solvant. Il faudra connaître la solubilité de l'urée, ainsi que celle des autres impuretés présentes (Marepula, 2021).

I.11. L'alimentation de lapin

I.11.1. Le fourrage

Les herbes constituent la majeure partie de l'alimentation du lapin, elle est une source équilibrée de protéines, de fibres, de vitamines et de minéraux en quantité minimale.

En plus de fourrage, les lapins se nourrissent d'une variété des légumes verts feuillus notamment les feuilles de céleri, feuilles de bananes, les épinards et les feuilles de choux qui sont riches en nutriments. La verdure des herbes permet d'apporter de l'eau, des nutriments essentiels tels que des vitamines et des minéraux (Matias, 2021).

I.11.2. Les Concentrés

Les concentrés sont des aliments formulés spécialement pour fournir une alimentation complète aux lapins. Ils sont généralement fabriqués à partir d'un mélange des aliments simples tels que des céréales, des légumineuses et des matières riches en vitamines et en minéraux (Meredith et *al*., 2015).

Les concentrés sont conçus pour compléter la ration de base des lapins en fournissant les nutriments essentiels nécessaires à leur croissance et à leur santé, mais également pour fournir des nutriments spécifiques tels que des acides gras essentiels, des protéines, des minéraux et des vitamines (Clauss & Hatt, 2017).

I.12. Les facteurs influençant la concentration des éléments dans l'urine de lapin

L'alimentation des lapins joue un rôle important dans la composition de leur urine. Par exemple les aliments riches en protéines peuvent entraîner une augmentation de la concentration d'azote, car l'azote des protéines est métabolisé en urée (Maertens et *al.*, 2003).

La composition de l'alimentation du lapin peut avoir un impact significatif sur la concentration des macroéléments dans les urines. Certains aliments sont naturellement riches en certains macroéléments, ce qui peut entraîner une augmentation de leur concentration dans les urines.

Lorsque les lapins sont nourris principalement avec des herbes, leur alimentation riche en fibres et en eau peut influencer la composition de leur urine. Les herbes sont généralement faibles en protéines, ce qui réduit la concentration d'azote dans les urines. Cependant, les herbes vertes sont souvent riches en minéraux (Matias, 2021), ce qui peut entraîner une augmentation de la concentration des sels minéraux dans les urines .

D'autre part, lorsque les lapins se nourrissent des concentrés, qui contiennent des ingrédients riches en protéines tels que des céréales et des légumineuses, la concentration d'azote dans l'urine augmente en raison du métabolisme des protéines. Les concentrés peuvent également avoir des niveaux plus élevés de certains éléments, comme le phosphore, l'azote dans les urines (Thierry et *al*., 2019).

En fin, lorsque les lapins se nourrissent avec une combinaison d'herbes et de concentrés, la composition de leur urine peut être influencée par les deux types d'aliments. Les herbes apportent des fibres et des minéraux spécifiques, tandis que les concentrés fournissent des protéines et d'autres nutriments essentiels. La concentration d'azote dans l'urine peut être influencée par la quantité relative de concentrés dans l'alimentation (Rotz, 2004), tandis que la concentration d'autres minéraux, tels que le potassium et le calcium, peut être influencée par la teneur en herbes (Clauss & Hatt, 2017) et en concentrés .

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Le choix de lieux d'échantillonnage

Le choix du lieu d'échantillonnage de l'urine de lapin est guidé par trois facteurs importants : le système de collecte d'urine, le régime alimentaire des lapins et le nombre de lapins élevés.

Pour ce qui est du système de collecte d'urine, nous avons sélectionné des éleveurs cunicoles qui utilisent des dispositifs permettant de recueillir l'urine qui s'écoule à travers le fond du clapier jusqu'au tuyau de drainage. Cette méthode de collecte assure une récolte efficace et hygiénique de l'urine.

La figure ci-dessous présente un dispositif innovant de récupération d'urine de lapin, conçu pour maximiser l'efficacité de la collecte tout en minimisant les pertes d'urine.



Figure 2:Dispositifs de récupération d'urines de lapins

Nous avons également pris en compte le régime alimentaire des lapins lors du choix du lieu d'échantillonnage. Par exemple, si les lapins se nourrissent des granulés ou des aliments concentrés, cela peut influencer la composition de leur urine en termes de composition chimique. En incluant des éleveurs qui utilisent différents régimes alimentaires, nous pouvons obtenir une variété d'échantillons représentatifs de différentes conditions alimentaires.

Enfin, le nombre de lapins élevés dans chaque élevage a également été pris en considération. Bien entendu que la quantité d'urine produite augmente en fonction du nombre de lapins présents dans le clapier.

Par conséquent, nous avons inclus des élevages avec différents effectifs enfin de garantir une diversité d'échantillons en termes de volume d'urine collectée.

La figure ci-dessous montre un clapier spécialement conçu pour l'élevage de lapins. Cette installation permet non seulement de loger les animaux dans des conditions optimales, mais aussi de récupérer le volume d'urine de manière hygiénique et pratique.



Figure 3:photos de cage constitutive du clapier

II.2. Méthode de récupération des urines de lapins dans le clapier

Lors de l'échantillonnage des urines de lapins, des échantillons ont été prélevés auprès de différents éleveurs cunicoles de la ville de Bujumbura, qui nourrissent leurs lapins exclusivement avec des concentrés (Carama), qui privilégient une alimentation à base d'herbes (Kinindo) et qui combinent ces deux régimes alimentaires (Carama).

Les éleveurs cunicoles disposent généralement d'un système de collecte spécifique pour recueillir l'urine des lapins. Ils ont installé un tuyau ou un conduit sous le clapier, de sorte que l'urine s'écoule dans un récipient de collecte.

Le processus de collecte d'urine est effectué très tôt le matin car les lapins ont tendance à uriner davantage après une période de jeûne nocturne. Cette approche permet d'obtenir une quantité suffisante d'urine pour les échantillons à analyser. On a aussi prélevé une quantité d'urine de lapin conservée par les éleveurs cunicoles dans les bidons afin de connaitre leur teneur en macronutriment.

Une fois l'urine de lapin recueillie, on l'a transférée dans les bouteilles en plastique propres qui sont hermétiquement fermées. Il est important de verser soigneusement l'urine dans les bouteilles afin de minimiser les pertes et de préserver la qualité des échantillons.

En plus de ces échantillons d'urine, on a prélevé d'autres échantillons d'urines de lapin conservées pendant un mois notamment les échantillons d'urine stockée dans les conteneurs fermés et dans les conteneurs non fermés.

Les échantillons d'urine ainsi collectés sont ensuite acheminés vers les laboratoires pour y être analysés. Certains échantillons sont acheminés vers le laboratoire des sols et des produits agroalimentaires (LASPA) de l'ISABU (Institut des Sciences Agronomiques du Burundi) pour l'analyse de quelques nutriments (N, P, K, Ca et C) présents dans ces échantillons, tandis que d'autres sont acheminés vers le laboratoire de la Faculté des Sciences de l'Université du Burundi pour l'analyse du pH.



(a) (b)

Figure 4:Echantillon d'urine de lapin : fraiche(a) et conservée(b)

II.3. Prétraitement de l'échantillon

Avant l'étape d'analyse, il est nécessaire de procéder à un prétraitement de l'échantillon d'urine afin d'éliminer les substances indésirables et de préparer l'échantillon pour des analyses ultérieures. Dans notre cas, nous avons effectué une étape de filtration de l'urine afin d'éliminer les particules solides présentes. Ce prétraitement par filtration a permis d'améliorer la qualité de l'échantillon d'urine en éliminant les impuretés.

II.4. Méthodologie expérimentale

II.4.1. Mesure de pH

Le pH-mètre (C6010) est calibré à l'aide des solutions tampons de pH 7,0, pH 4,0 et pH 10,0. Un total de 100 ml d'échantillon d'urine de lapin a été mis dans un bécher. On a plongé les électrodes du pH - mètre dans l'échantillon. Le pH s'affiche sur l'écran du pH mètre. Lire et noter la valeur.

II.4.2. Dosage du carbone organique total

II.4.2.1. Les matériels

- Ballons kjeldahl 500 ml ;
- Ballons jaugés de 25ml, 50ml, 100ml, 250 ml ;
- Entonnoirs ;
- Titronic ;
- Agitateur et baguettes magnétiques ;
- Minéralisateur ;
- Pipettes de 25ml ;
- Erlenmeyers de 100ml ;
- Papier filtre N° 30 ;
- Verre de montre.

II.4.2.2. Les réactifs

- Acide sulfurique, H_2SO_4 ;
- Acide phosphorique, H_3PO_4 ;
- Bichromate de potassium, $K_2Cr_2O_7$;
- Sulfate ferreux, $FeSO_4 \bullet 7\ H_2O$;
- 10-phénanthroline monohydraté, $C_{12}H_8N_2 \bullet H_2O$;
- Ferroine.

II.4.2.3. Mode opératoire

- Peser 0,25 g d'échantillon d'urine de lapin ;
- Mettre dans une fiole conique de 250 ml et y ajouter 10 ml de bichromate de potassium 1 N. Mettre un barreau aimanté dans la fiole ;
- Ajouter lentement pour éviter d'éventuelle projection 20 ml d'acide sulfurique concentré et placer un verre de montre sur la fiole conique ;
- Agiter vigoureusement pendant 1 minute et laisser reposer pendant 30 minutes ;
- Rincer le verre de montre et ajouter 150 ml d'eau déminéralisée, 10 ml d'acide phosphorique concentré et 12 gouttes de la solution indicatrice de Ferroine ;
- Titrer l'excès de bichromate de potassium avec la solution de sulfate ferreux 0,5 N, lors de l'apparition de la coloration turquoise, titrer lentement jusqu'à la coloration finale brune ;
- Noter le volume utilisé.

Préparation d'un témoin

Introduire dans un erlenmeyer un barreau aimanté, 10 ml de bichromate de potassium 1 N et 20 ml d'acide sulfurique.

Couvrir d'un verre de montre puis agiter vigoureusement pendant une minute avant de poursuivre la procédure décrite aux paragraphes précédents.

Le pourcentage de carbone dans l'échantillon, exprimé en pourcentage de carbone, base sèche, est déterminé comme suit :

$$\%C = \frac{(\mathrm{A} - \mathrm{B}) \times 10 \times 0{,}004 \times 100}{P}$$

C : Teneur de carbone organique (% C);

A : Volume de sulfate ferreux utilisé pour le témoin (ml);

B : Volume de sulfate ferreux utilisé pour l'échantillon (ml);

10 : Volume de bichromate ajouté initialement;

0,004 : Nombre de grammes de carbone par millilitre de bichromate;

P : Poids de l'échantillon titré exprimé sur base sèche (g);

100 : Facteur pour obtenir un pourcentage

II.4.3. Analyse d'azote totale (ISO 5315)

II.4.3.1. Les matériels

- Balance analytique au 1/10 ème mg près ;
- Ballons kjeldahl 500 ml ;
- Jaugé de 25ml, 50ml, 100ml, 250 ml ;
- Entonnoirs ;
- Distillateur d'azote avec tubes à distiller ;
- Titronic ;
- Minéralisateur ;
- Agitateur et baguettes magnétiques ;
- Pipettes de 25ml ;
- Erlenmeyers de 100ml ;
- Papier filtre N°41.

II.4.3.2. Les réactifs

- Acide sulfurique H_2SO_4 cc ;
- Mélange de catalyseurs 100,00g de K_2SO_4 + 12,30g $FeSO_4.H_2O$+7,8g $CuSO_4.5H_2O$+1cuieller de selenium en poudre, Broyer et bien mélanger dans un mortier ;
- Soude caustique en pastilles ; NaOH, p. a ;
- Acide borique, H_3BO_3, p. a ;
- Indicateur coloré :Vert de bromocresol et Rouge de méthyl,
- Phénolphtaléine 0,1 ou 1% solution alcoolique ;
- Carbonate de sodium anhydre, Na_2CO_3.

II.4.3.3. Mode opératoire

Minéralisation

- Peser 0,2 g d'échantillon au 1/10ème près et porter dans un ballon kjeldahl de 500 ml au moyen d'une pissette ;
- Ajouter 1 cuillère du mélange de catalyseurs et 15ml de H_2SO_4 cc. Rincer les parois du ballon au moyen d'un jet de pissette ;
- Placer le ballon kjeldahl sur la rampe d'attaque et chauffer jusqu'à la coloration verte de la solution (Sous hotte bien ventilée) ;
- Laisser refroidir. Ajouter environ 50ml de l'eau distillée ; laisser refroidir et filtrer quantitativement les solutions obtenues dans les ballons jaugés de 250ml fournis avec entonnoirs et papiers filtres ;
- Bien rincer les ballons kjeldahl et les résidus avec de l'eau distillée. Porter les ballons jaugés à volume. Boucher et agiter.

Distillation

- Pipeter 25ml de la solution d'attaque et porter quantitativement dans les tubes à distiller. Mettre les tubes dans l'appareil à distiller d'azote ;
- Placer l'erlenmeyer de 100ml contenant 40ml de la solution de H_3BO_3 avec indicateurs sous le réfrigérant de distillation ;
- Effectuer la distillation pendant 2-3 minutes (virage du rouge au vert, volume de distillat environ 100ml) ;
- Enlever l'erlenmeyer en rinçant le tube de sortie du distillat avec un jet de pissette.

Dosage /titrage

- Placer l'erlenmeyer contenant le distillat sur agitateur magnétique et titrer la solution au moyen de 0.05N H_2SO_4 (Virage de vert au rouge) ;
- Noter le volume d'acide consommé.

Calcul du facteur de correction (f) : Prélever 3ml de la solution Na_2CO_3 et titrer par H_2SO_4 de normalité N en présence de phénolphtaléine jusqu'à virage du rouge à l'incolore.

Soit V le volume de H_2SO_4 ajouté, le facteur correctif f est donné par la relation : $f = \frac{3ml \times 0,05}{V \times N}$

Calcul des concentrations

%N = 1,4008 × (V-BI).N .f . (V1 /V2) /Poids d'échantillon

Soient :

V : Le volume, en ml de solution de 0,05N H_2SO_4 ajouté pour l'échantillon

BI : Volume moyen, en ml de solution de 0,05 H_2SO_4

N : Normalité de la solution H_2SO_4

V1 : Volume de jaugé de minéralisation (250ml)

V2 : Volume d'aliquote pipetée (25ml)

f : Facteur correctif

II.4.4. Détermination de phosphore totale (AOAC, 958.01)

II.4.4.1. Le matériel

- Balance analytique au 1/10 ème mg près ;
- Ballons kjeldahl 500-600 ml ;
- Ballons Jaugé de 25ml, 50ml, 100ml, 250 ml ;
- Entonnoirs ;
- Spectrophotomètre UV visible (6705 UV /VIS) ;
- Pipettes de 25ml ;
- Erlenmeyers de 100ml ;
- Papier filtre N° 30&41.

II.4.4.2. Les réactifs

- Acide sulfurique concentré ;
- Acide nitrique ;
- Hydroxyde de sodium ;
- Molybdate d'ammonium tétrahydraté ;
- Solution étalon.

II.4.4.3.Mode opératoire

- Introduire 40 ml d'échantillon dans le tube de minéralisation;
- Ajouter avec précaution 2 ml d'acide sulfurique concentré (d = 1,84) et agiter ;

- Ajouter un régulateur d'ébullition (quelques billes de verre par exemple) et chauffer doucement jusqu'à l'apparition de fumées blanches ;
- Refroidir, puis ajouter goutte à goutte 0,5 ml d'acide nitrique concentré (d = 1,40) ;
- Agiter, puis chauffer jusqu'à disparition des fumées rousses. Si la solution obtenue n'est pas limpide et incolore, reprendre ce traitement à l'aide d'acide nitrique.
- Refroidir puis ajouter avec précaution 10 ml d'eau distillée tout en agitant ;
- Chauffer jusqu'à l'apparition de fumées blanches. Refroidir puis ajouter avec précaution 20 ml d'eau distillée tout en agitant ;
- Ajuster le pH à une valeur comprise entre 3 et 10 à l'aide d'hydroxyde de sodium à environ 2 mol/l. Ce mode opératoire sera pratiqué sur tous les échantillons et sur un essai à blanc (en remplaçant l'échantillon par le même volume d'eau distillée).

Dosage des orthophosphates obtenus

Le dosage des orthophosphates obtenus par minéralisation se réalise par l'une des méthodes spectrophotométriques en utilisant un étalonnage approprié.

Courbe d'étalonnage

Réactifs

– Solution d'acide sulfurique (d = 1,84) à 15 % environ en volume.

– Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/l :

Molybdate d'ammonium tétra hydraté 20 g

Eau distillée 500 ml

Filtrer si nécessaire, à conserver en flacon de polyéthylène à 4 °C.

– Solution d'acide ascorbique à 20 g/l :

Acide ascorbique 2 g,

Eau distillée 100 ml

A préparer chaque jour.

– Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/l :

Tartrate double d'antimoine et de potassium 0,28 g

Eau distillée. 100 ml

– Réactif combiné :

Solution d'acide sulfurique 50 ml

Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium 5 ml

Solution de molybdate d'ammonium 15 ml

Eau distillée. 100 ml

Conserver le réactif au réfrigérateur à 4 °C.

– Solution mère étalon à 50 mg/l de phosphore :

Dihydrogénophosphate de potassium desséché au préalable à l'étuve à 100 °C 219,7 mg

Eau distillée. 100 ml

Acidifier la solution par 1 ml d'acide sulfurique à 15 % avant d'ajuster le volume.

- Solution fille étalon à 1 mg/l de phosphore.

Diluer au 1/50 la solution précédente avec de l'eau distillée au moment de l'emploi.

Établissement de la courbe d'étalonnage.

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml :

Tableau 3:préparation de courbe d'étalonnage pour doser le phosphore

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de phosphore à mg /l	0	1	5	10	15	20
Eau distillée	20	19	15	10	5	0

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4 ml de réactif, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml.

Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 800 nm à l'aide d'une cuvette de 1 cm.

Construire la courbe d'étalonnage.

L'échantillon minéralisé sera récupéré et transféré dans une fiole jaugée adaptée au protocole choisi (en principe 50 ml) et on complétera au volume par de l'eau distillée.

Dans le cas du dosage des orthophosphates par spectrophotométrie, cet ajustement au volume de 50 ml est réalisé après l'ajout des réactifs.

Dans tous les cas, on tiendra compte de cette dilution lors de l'expression des résultats.

II.4.5. Détermination de K et Ca (AOAC, 958.09)

II.4.5.1. Le matériel

- Balance analytique au 1/10 ème mg près ;
- Ballons Jaugé de 25ml, 50ml, 100ml, 250 ml ;
- Entonnoirs ;
- Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme ;
- Agitateur et bâtons magnétiques ;
- Pipettes de 25ml ;
- Erlenmeyers de 100ml ;
- Papier filtre N° 30.

II.4.5.2. Réactif

- Oxalate d'ammonium ;
- Hydroxyde d'ammonium ;
- Solution étalon ;
- Chlorure de lanthane.

II.4.5. 3. Mode opératoire

Un total de 2,5 g d'échantillon a été mis dans un bêcher de 400 ml puis ajouter 125 ml d'eau distillée et 50 ml de solution d'oxalate d'ammonium.

La solution a été chauffée pendant 30 minutes. La solution a ensuite été refroidie et une petite quantité de solution d'hydroxyde d'ammonium a été ajoutée.

La solution a été placée dans un flacon de 250 ml et diluée jusqu'à un trait de jauge. La solution a été filtrée par un filtre Whatman n° 30 dans une fiole de 250 ml.

Un total de 25 ml de la solution a été prélevé et placé dans une fiole de 500 ml et dilué avec de l'eau distillée. Puis la solution a été agitée jusqu'à homogénéité.

Des solutions étalons ont été préparées avec des séries contenant 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18 et 20 ppm de K. La teneur en K et Ca a été déterminée à l'aide d'un photomètre à flamme. La formule utilisée,

% K et Ca= (C lu-Bl.) .D.V/Poids en gramme de l'échantillon

Avec C lu : Concentration de l'échantillon en mg/l

Bl : Concentration du blanc

D : Dilution

V : Volume total de jaugé

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse des urines de lapins a fourni des informations précieuses sur leur teneur en macronutriments. Dans cette étude, une analyse a été menée sur quelques échantillons d'urine de lapins c'est à dire ceux qui ont reçu un régime alimentaire à base de concentrés, ceux qui ont reçu un régime alimentaire à base des herbes, ceux qui ont reçu les deux types d'aliments et les urines conservées par les éleveurs cunicoles.

Les résultats suivants sont donnés selon que les urines sont fraiches ou ont été objet de conservation.

III.1. Urine fraiche de lapin en fonction du régime alimentaire

Le tableau 4 ci-dessous résume la teneur en éléments identifiés dans les urines de lapins fraiches en fonction du régime alimentaire :

Tableau 4: Résultats d'analyse d'urines de lapins fraiches

Urine de lapin	pH	%N	$\%P_2O_5$	$\%K_2O$	%CaO	%C
UFLNC	9,01	0,296	0,024	0,638	0,014	0,415
UFLNCH	9,18	0,226	0,017	0,827	0,015	0,363
UFLNH	9,01	0,204	0,002	0,97	0,013	0,351

UFLNC : Urines fraiches de lapins nourris par les concentrés

UFLNCH : Urines fraiches de lapins nourris par les concentrés et les herbes

UFLNH : Urines fraiches de lapins nourris par les herbes

L'analyse des urines de lapins fournissent des informations sur la présence des éléments nutritifs essentiels pour les plantes (Tableau 4). Les urines de lapin fraiches contiennent des pourcentages appréciables d'azote qui varient de 0,204 à 0 ,296 %, de phosphore (exprimé en oxyde de phosphore) qui varie de 0 ,002 à 0,024%, de potassium (exprimé en oxyde de potassium) qui varie de 0,638 à 0,97%, de calcium (exprimé en oxyde de calcium) qui varie de 0,013 à 0,015%, de carbone qui varie de 0,351 à 0,415% et leur pH varie de 9 à 9,18.

Les graphiques ci-dessous nous montrent la variation des teneurs en éléments nutritifs trouvées dans les urines de lapins fraiches en fonction du régime alimentaire constitué de concentrés (UFLNC), d'herbes (UFLNH) et de mélanges (UFLNCH).

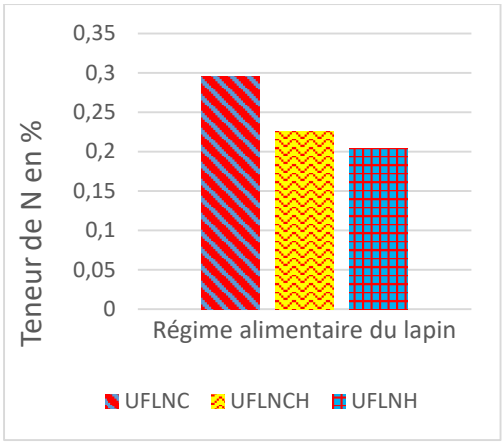


Figure 5:Teneur en azote d'urines fraiches

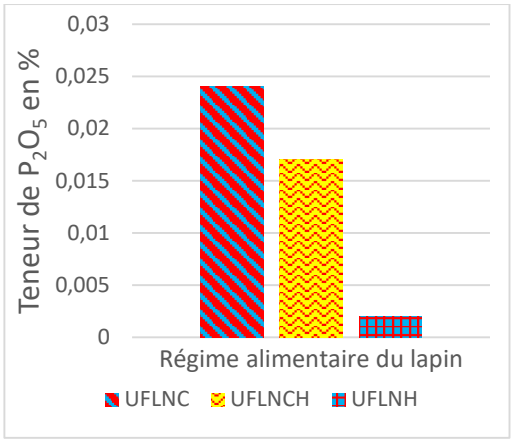


Figure 6:Teneur en P_2O_5 d'urines fraiches

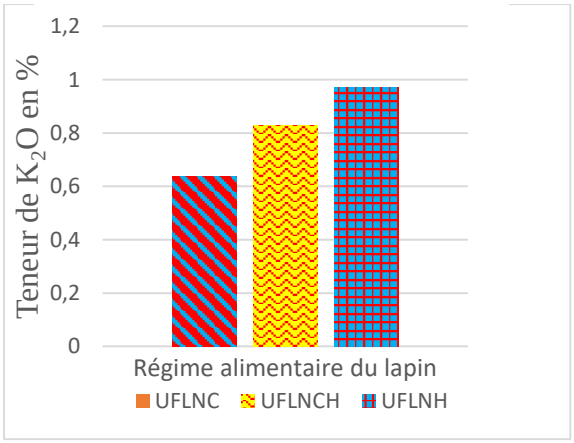


Figure 7:Teneur en K_2O d'urines fraiches

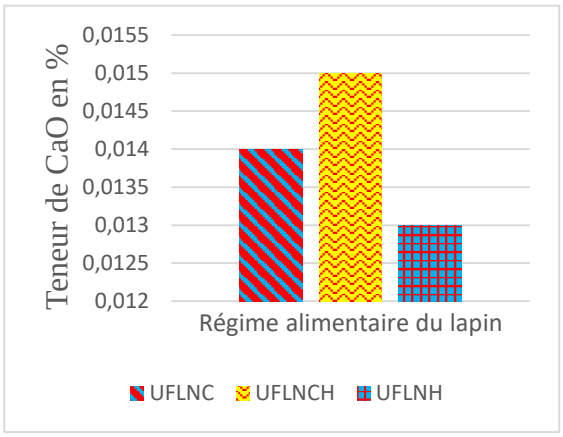


Figure 8:Teneur en CaO d'urines fraiches

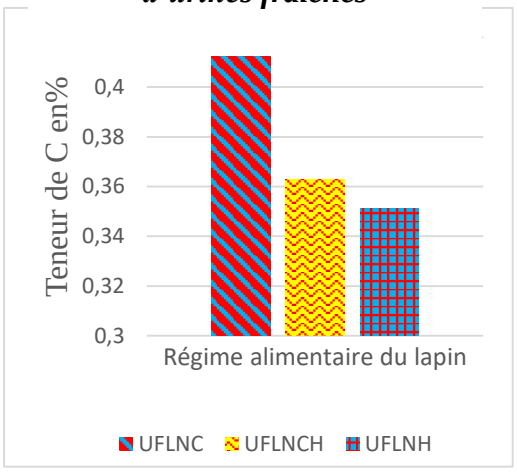


Figure 9:Teneur en carbone d'urines fraiches

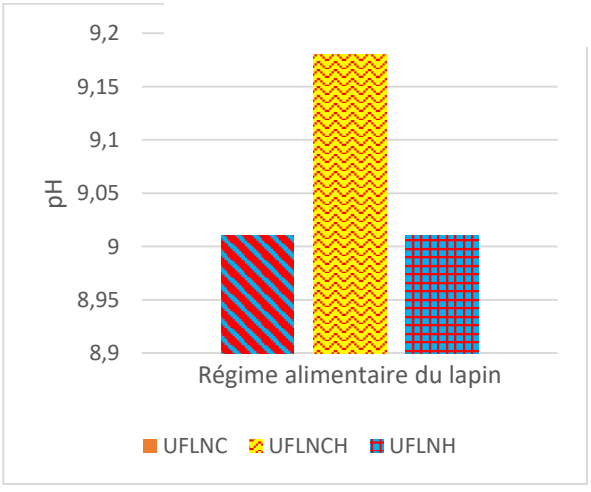


Figure10:pH d'urines fraiches de lapins

UFLNC : Urines fraiches de lapins nourris par les concentrés, UFLNCH : Urines fraiches de lapins nourris par les concentrés et les herbes UFLNH : Urines fraiches de lapins nourris par les herbes

On trouve la teneur d'azote la plus élevée dans les urines de lapins nourris exclusivement par des aliments concentrés (UFLNC), soit 0,296% et la teneur d'azote la moins élevée, on la trouve dans les urines de lapins nourris uniquement par des herbes (UFLNH), soit 0,204% d'azote (figure 5). On observe une corrélation directe entre la teneur en azote dans l'urine de lapins et le régime alimentaire, les aliments concentrés étant plus riches en azote que les herbes.

La différence marquée entre les teneurs en phosphore dans les trois types d'urines de lapins met en évidence l'influence majeure du régime alimentaire sur l'excrétion urinaire de phosphore. Lorsque les lapins sont nourris uniquement par des aliments concentrés (UFLNC), la teneur en phosphore atteint 0,024%, tandis que la teneur est plus faible dans le cas où le lapin est nourri uniquement par des herbes (UFLNH), soit 0,002% (figure 6).

Les résultats ont également montré que le régime alimentaire à base d'herbes (UFLNH) entraîne une teneur élevée en K_2O dans les urines de lapins, atteignant 0,97% et ils ont montré que le régime alimentaire à base des concentrés (UFLNC) entraine une teneur relativement faible en K_2O dans les urines de lapins, soit 0,638% (figure 7). Pour l'analyse de calcium, les résultats montrent que la concentration est au tour de 0,014% dans les trois régimes alimentaires (figure 8).

Pour l'analyse de carbone, les résultats montrent que le régime alimentaire à base des concentrés (UFLNC) entraîne une teneur élevée en carbone dans l'urine des lapins, soit 0,415% et une teneur moins élevée lorsqu'ils se nourrissent des herbes, soit 0 ,351% (figure 9).

Les résultats montrent que la teneur en azote, en phosphore, en potassium, et carbone qu'on trouve dans les urines de lapins nourris aux herbes et aux concentrés combinés se situe entre les teneurs observées dans les urines de lapins nourris uniquement aux concentrés et ceux qui sont nourris uniquement aux herbes.

Des analyses faites par Sucihatiningsih et *al*., (2023) ; Kari, (2023) ; Said et *al*., (2018) montrent aussi que les urines de lapins contiennent des nutriments essentiels tels que l'azote, le potassium, le phosphore, le calcium et le carbone nécessaire pour la croissance des plantes (tableau 1). Elles ont aussi une valeur de pH alcaline (Mutai, 2020) comprise entre 9 et 9.1 (figure 10).

La forte teneur en azote, en phosphore et en carbone dans les urines de lapins nourris par des aliments concentrés s'explique par le fait que ces aliments concentrés sont généralement plus riches en ces éléments nutritifs que les herbes. De même, la forte teneur en potassium dans les urines de lapins nourris avec des herbes s'explique du fait que les herbes sont très riches en sels minéraux (Clauss & Hatt, 2017). Les analyses ont également montré que les aliments concentrés sont très riches en protéines et en matière grasse (Prebble & Meredith, 2013;Clauss et *al*., 2011) tandis que les herbes sont riches en sels minéraux (Matias, 2021). C'est pourquoi on observe une teneur importante en azote, en phosphore et en carbone lorsque les lapins se nourrissent d'aliments concentrés et une teneur importante en potassium lorsqu'ils se nourrissent des herbes.

La variation des concentrations des éléments présents dans ces urines de lapins analysées montre clairement que le régime alimentaire a une influence majeure sur la composition de l'urine de lapin. En se basant sur le régime alimentaire, plusieurs auteurs ont montré que le régime alimentaire a une grande influence sur la composition des urines de lapins. Selon Calvet et *al*., (2008), les nutriments ingérés par l'animal sont en partie accumulés dans les tissus animaux et d'autre part perdus sous forme des déjections. Pour Rotz, (2004), l'excrétion d'azote est directement liée à l'apport en azote (protéines) de l'alimentation. Aubert et *al*., (2009) soulignent que si l'on veut réduire la concentration des rejets, on peut agir sur la composition de l'alimentation. Roose et Kouakoua, (2015) ont indiqué que la teneur en différents éléments est très variable en fonction de la qualité du régime alimentaire et de la quantité d'eau absorbée. Enfin, selon Gomgimbou et *al*., (2016), les aliments n'ont pas les mêmes valeurs nutritives (teneur en protéines, en sels minéraux, etc.) alors qu'ils sont un facteur déterminant dans la concentration des déjections. Ces différents travaux suggèrent donc clairement que le régime alimentaire a une influence majeure sur la composition des urines chez le lapin.

III.2. Urine de lapins conservée indépendamment du régime alimentaire

III.2.1. Les urines de lapin conservées dans les contenants fermés et non fermés

Le tableau ci-dessous montre la teneur des éléments identifiés dans les urines de lapin (urine de carama) qu'on a conservées dans les contenants fermés et non fermés.

Tableau 5:Résultats d'analyses des urines de lapin conservées dans les contenants fermé et non fermés

Urine de lapin	pH	%N	$\%P_2O_5$	$\%K_2O$	%CaO	%C
UCF	8,3	0,2	0,017	0,697	0,013	0,217
UCNF	8 ,3	0,111	0,017	0,693	0,013	0,192

UCNF: Urines de lapins conservées dans un contenant non fermé

UCF : Urines de lapins conservées dans un Contenant fermé

III.2.2. Les urines de lapin conservées par les éleveurs cunicoles

Le tableau ci-dessous résume la teneur des éléments identifiés dans les urines de lapins conservées par les éleveurs cunicoles.

Tableau 6:Résultats d'analyse d'urine de lapins conservée un mois de plus

URINE CONSERVEE	pH	%N	$\%P_2O_5$	$\%K_2O$	%CaO
$1^{ère}$ ECH	8,7	0,153	0,0216	0,913	0,0136
$2^{ème}$ ECH	8,6	0,138	0,003	1,0495	0,0145

$1^{ère}$ ECH : Echantillon d'urines de lapins conservées par l'éleveur cunicole de Carama

$2^{ème}$ ECH : Echantillon d'urines de lapins conservées par l'éleveur cunicole de Kinindo

L'analyse des urines de lapins conservées fournissent aussi des informations sur la présence des éléments nutritifs essentiels pour les plantes (Tableau 5 et 6). Elles contiennent des pourcentages appréciables d'azote qui varient de 0,111 à 0 ,2 %, de phosphore (exprimé en oxyde de phosphore) qui varie de 0 ,003 à 0,021%, de potassium (exprimé en oxyde de potassium) qui varie de 0,69 à 1,04%, de calcium (exprimé en oxyde de calcium) qui varie de 0,013 à 0,015% , de carbone qui varie de 0,192 à 0,217% et leur pH varie de 8,3 à 8,7.

Les graphiques ci-dessous montrent la variation des teneurs en éléments suivant le mode de conservation des urines de lapins dont UCNF: Urines de lapins conservées dans un contenant non fermé, UCF : Urines de lapins conservées dans un Contenant fermé, 1ère ECH : Echantillon d'urines de lapins conservées et 2ème ECH : Echantillon d'urines de lapins conservée.

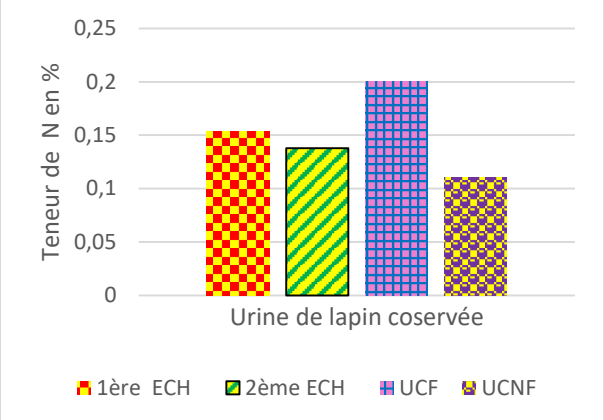


Figure 11:Teneur en Azote d'urines conservées

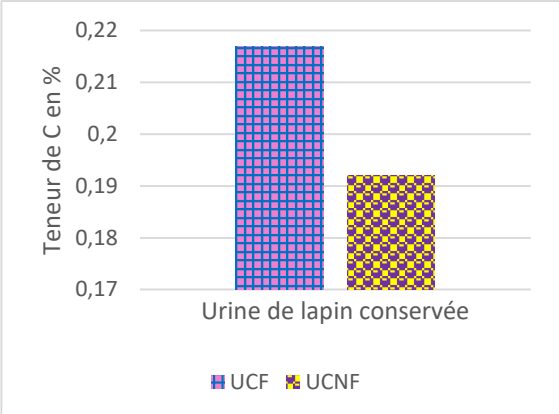


Figure 12:Teneur en carbone d'urines conservées

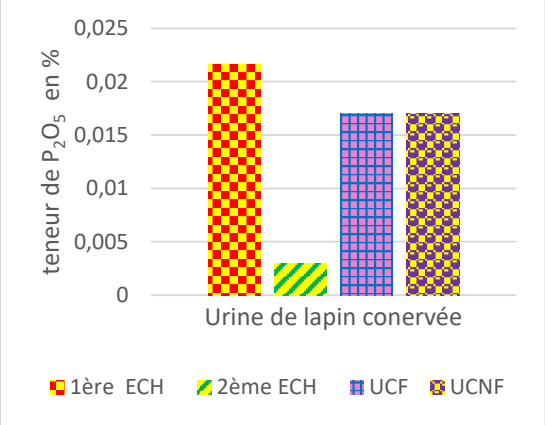


Figure13:Teneur en P_2O_5 d'urines conservées

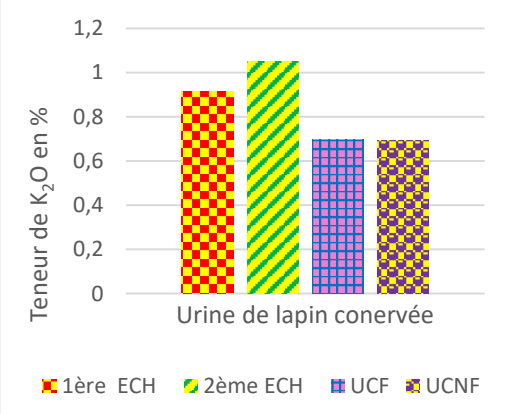


Figure14:Teneur en K_2O d'urines conservées

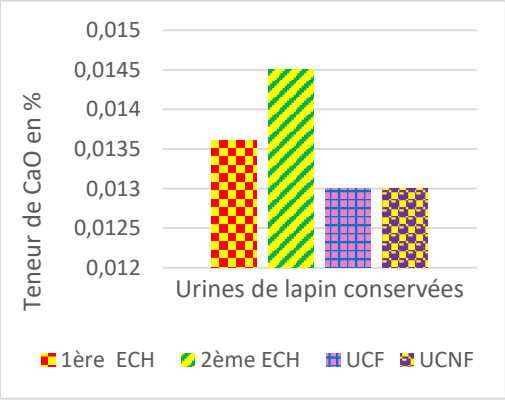


Figure15: Teneur en CaO d'urines conservées

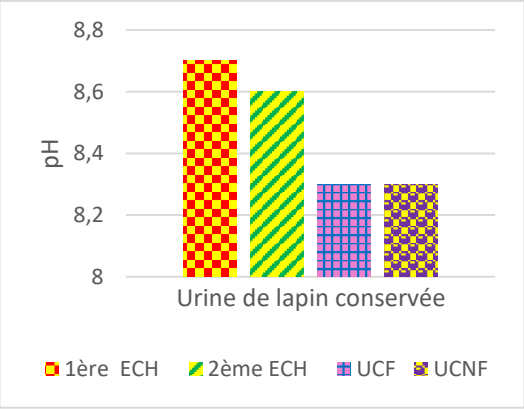


Figure16: pH d'urines de lapins

L'analyse des urines fraîches et conservées montre qu'il y a une grande variation des teneurs en éléments nutritifs surtout dans le cas de l'azote et du carbone. Cette variation s'explique par les processus de dégradation et de minéralisation qui se produisent dans les urines conservées.

En comparant les urines fraîches avec celles qui sont conservées dans un contenant fermé et dans un contenant non fermé, nous constatons que les teneurs en nutriments sont plus élevées dans les échantillons d'urines fraîches. Cela s'explique par le fait que dans les urines fraîches, les composés organiques azotés (urée, acide urique, etc.) et carbonés n'ont pas encore été dégradés par l'activité microbienne.

De plus, en comparant les échantillons d'urines conservées dans les contenants fermés avec ceux qui sont conservés dans un contenant non fermé, on observe des variations des teneurs en éléments nutritifs, surtout dans le cas de l'azote (figure 11) et du carbone (figure12) mais non pour les autres éléments notamment le phosphore (figure13), le potassium (figure 14) et calcium (figure15). Les échantillons d'urines conservées dans un contenant non fermé ont présenté des teneurs légèrement inférieures en azote et en carbone par rapport aux échantillons conservés dans un contenant fermé. Cela s'explique par le fait que dans le contenant non fermé, les composés azotés et carbonés ont été partiellement dégradés et volatilisés sous forme d'ammoniac et de dioxyde de carbone, suite à l'activité microbienne aérobie.

Selon Gnagne et *al*., (2006), la perte d'éléments s'explique par l'existence d'un espace vide facilitant la volatilisation de l'ammoniac et qu'il est préférable d'effectuer le stockage de l'urine dans un récipient plein et fermé afin de limiter ces pertes. De plus, comme Richner et *al*., (2017) l'a souligné en disant que partout où on stocke les urines, il y a des pertes d'azote, essentiellement sous forme d'ammoniac.

La variation de ces éléments montre que le stockage de l'urine de lapins a un effet sur sa composition en nutriments. Selon Fabien et *al*., (2022), en présence d'oxygène, les micro-organismes présents dans l'urine dégradent les composés azotés en convertissant l'azote en ammoniac, ce qui entraîne une perte d'azote dans les urines stockées. Il y a aussi un risque qu'une partie du P soit liée sous des formes qui sont moins disponibles pour les plantes au cours du stockage(Thi--Dieu--Hien et *al*., 2022), mais K et Ca restent entièrement disponibles (Richert et *al*., 2011).

Udert et *al*., (2003) a montré que la variation de la concentration des macronutriments dans les urines stockées est attribuée à plusieurs facteurs notamment l'évaporation, la fermentation et les réactions chimiques comme l'hydrolyse qui peuvent se produire au fil du temps en entraînant ainsi des modifications dans la composition finale de l'urine.

L'hydrolyse de l'urée sous l'action de l'uréase se fait selon l'équation :

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \longrightarrow NH_3 + NH^+_4 + HCO^-_3$$ (Udert et *al*., 2003)

En effet, l'évaporation progressive de l'azote et de carbone contenues dans les urines entraîne une perte de la concentration des macronutriments. De plus, la présence de bactéries et de micro-organismes dans l'urine stockée peut engendrer des processus de fermentation, où ces microorganismes métabolisent certains composés présents dans l'urine, comme l'urée, pour produire d'autres substances au fil du temps (Gilles, 2020). Enfin, des réactions chimiques, comme l'hydrolyse (Michael & Pierre, 2021), peuvent se produire et décomposer des molécules présentes dans les urines en altérant davantage la composition de l'urine.

CHAPITRE IV. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

IV.1. Conclusion

La valorisation d'urines de lapins, constitue une alternative appropriée aux engrais chimiques. Les urines de lapins contiennent une quantité importante des éléments nutritifs (N, P, K Ca, C) et les teneurs varient en fonction du régime alimentaire. La conservation des urines entraine une perte progressive de la teneur en azote et en carbone suite aux réactions chimiques qui s'y déroulent. Si on veut conserver l'urine de lapins pendant une certaine période tout en préservant au maximum la teneur en nutriments, on peut utiliser des conservateurs chimiques en stabilisant les nutriments ou de préférence, on effectue le stockage de l'urine dans un récipient plein et fermé afin de limiter des pertes.

L'utilisation d'urines de lapins en agriculture présente un potentiel prometteur pour améliorer les pratiques agricoles. En tant que source d'engrais naturel riche en nutriments, les urines de lapins peuvent favoriser la croissance des plantes, améliorer la fertilité du sol, contribuer à la correction du pH pour les sols acides, réduire les coûts de production. Une utilisation judicieuse de cette ressource peut jouer un rôle important dans le développement d'une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement.

IV.2. Recommandations

Pour les agriculteurs, il faut utiliser l'urine de lapin pour fertiliser leur terre;

Pour les éleveurs cunicoles, il faut fermer les contenants d'urine ou utiliser les stabilisants pour limiter les pertes d'azote par volatilisation,

Mettre en place un système efficace de collecte et de stockage d'urine de lapin.

Pour les chercheurs : effectuer les essais sur terrain pour évaluer l'efficacité des produits dérivés des urines de lapins sur les différentes cultures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adande, R., & Fiogbe, E. D. (2015). Utilisation des fertilisants organiques d'origine animale et végétale pour le développement de la pisciculture dans les étangs : Synthèse bibliographique. *International Journal of Multidisciplinary Research and Development,PP No. 281-287*.

Amandine, C. (2013). Quel intérêt et quelle opportunité de mettre en place une collecte sélective des urines en milieu urbain dense ? *AgrroParisTech*.

AOAC. (958.01). *Dosage de complexe vanado-molybdique par UV-Spectrophotométrie*.

AOAC. (958.09). *Dosage par SAA/flamme après avoir mineralisé avecs des acides forts*.

Arowogbola, A. Y., Adeyeye, A. M., Jonathan, A. A., Olumakinde, A., Koledoye, A. S., & Francis, D. B. (2022). Effects of Rabbit Urine and Urea Fertilizer on the Growth and Yield Performance of Amaranthus (Amaranthus hybridus L.). *Journal of Drug Design and Medicinal Chemistry. pp. 16-19*. https://doi.org/10.11648/j.jddmc.20220802.11

Aubert, C., Greffard, B., Amand, G., & Ponchant, P. (2009). Elevage cunicole et environnement. *13èmes Journées de la Recherche Cunicole , Le Mans, France*.

Benoît, J. (2015). Pratiques de gestion des effluents d'élevage en zone de montagne. L'exemple du Massif central. *Elevage et Production des Ruminants*.

Calvet, S., Estellés, F., Hermida, B., Blumetto, O., & Torres, A. G. (2008). Experimental balance to estimate efficiency in the use of nitrogen in rabbit breeding. *World Rabbit Sci. 2008, 16: 205 - 211*.

Chipako, T. L., & Randall, D. G. (2020). Urine treatment technologies and the importance of pH. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103622

Clauss, M., Burger, B., Liesegang, A., Chicca, F. D., Kaufmann-Bart, M., Riond, B., assig, M. H.¨, & Hatt, J.-M. (2011). Influence of diet on calcium metabolism, tissue calcification and urinary sludge in rabbits (Oryctolagus cuniculus). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01185.x

Clauss, M., & Hatt, J.-M. (2017). Evidence-Based Rabbit Housing and Nutrition. *Vet Clin Exot Anim 871–884*. https://doi.org/10.1016/j.cvex.2017.04.006

Dahal, B. M., Sitaula, B. K., Sharma, S., & Bajracharya, R. M. (2007). *Effects of agricultural intensification on the quality of rivers in rural watersheds of Nepal*.

Désiré, N. A. (2017). Caractérisation Phénotypique des populations de lapin (Oryctolagus cuniculus) au Burkina Faso. *UNIVERSITE NAZI BONI (UNB),P84*.

Diana, K., Evanson, R. O., David, K. M., Amanuel, T., Girma, H., Ignath, R., Yeneneh, T. B., Sevgan, S., & Saliou, N. (2022). Effect of Rabbit Urine on the Larval Behavior, Larval Mortality, Egg Hatchability, Adult Emergence and Oviposition Preference of the Fall Armyworm (Spodoptera frugiperda J.E. Smith). *Agriculture, 12, 1282.* https://doi.org/10.3390/ agriculture12081282

Ekwere, O. J., Udounang, P. I., Efretuei, A. O., & Umoh, F. O. (2023). Evaluation of Rabbit Urine as Bio-fertilizer for the Growth and Yield of Cowpea (Vigna unguiculata (l.) walp). *AKSU Journal of Agriculture and Food Sciences*.

Emile, T., Honorine, N. T., Emmanuel, N., Raoul, T. G., & Régis, Z. D. G. (2017). Fertilisation du maïs (Zea mays L.) à base d'urines humaines hygiénisées dans un oxisol de l'Ouest Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences ,11(5): 2071-2081*.

Etter, B., Tilley, E., & Khadka, R. (2011). Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal. *Science Direct,pp 852-862*.

Fabien, E. (2018). Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : Régimes et transitions socio-écologiques. *HAL Open Science*.

Fabien, E., Sabine, H., Florent, L., Tristan, M., Marjolaine, D., Sylvie, N., Christine, A., Florent, B., & Joël, A. (2022). *Étude de filières de valorisation agricole d'urinofertilisants*. AGROCAPI , Rapport final. 55 p.

Ferichani, M. (2024). The potential of rabbit urine in converting household waste into fertilizer as the resilience of farmer family economics in sub-urban. *Earth and Environmental Science*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1292/1/012035

Florent, B. (2018). *Freins et leviers à l'emploi de fertilisants à base d'urine humaine en agriculture en île-de-France*.

Florent, B., Joncoux, S., Gouvello, B. de, & Esculier, F. (2020). Vers une valorisation des urines humaines. *Études rurales, pp 200 - 220.* https://doi.org/10.4000/etudesrurales.24043

Fortun-Lamothe, L. (2007). Quelle est la durabilité de la production cunicole ? Atouts et limites des conditions d'élevage actuelles. *INRA, Université de Toulouse*.

Gilles, E. (2020). *Bilan environnemental de l'utilisation de l'urine humaine comme fertilisant agricole*.

Gnagne, T., Konan, K. F., Coulibaly, S., & Kone, K. (2006). Qualité azotée et sanitaire de l'urine collectée en vue de la fertilisation des sols. *Cah. Santé Publique,pp. 66-75*.

Godfray, H., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., James F. Muir, Jules Pretty, Sherman Robinson, Sandy M. Thomas, & Camilla Toulmin. (2010). Food Security : The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science ,vol 327*.

Gomgimbou, A. P. K., Coulibaly, K., Nacro, H. B., Sedogo, M. P., & Sanon, A. (2016). Caractérisation chimique de quelques fertilisants d'origine animale dans la zone de Bobo-dioulasso au Burkina Faso. *Science et technique, Sciences naturelles et agronomie , pp 339-346*.

Haiming, H., Jing, L., Jing, L., Dingding, Z., Ning, Z., & Shoufeng, T. (2019). Comparison of different K-struvite crystallization processes for simultaneous potassium and phosphate recovery from source-separated urine. *Science of the Total Environment 651 (2019) 787-795*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.232

Ichami, S. M., Shepherd, K. D., Hoffland, E., GeorgeN.Karuku, & Stoorvogel, J. J. (2020). Soil spatial variation to guide the development of fertilizer use recommendations for smallholder farms in western Kenya. *Geoderma Regional*.

IPNI. (2016). *Les sources specifiques des elements nutritifs*.

ISABU. (2015). *Avantages et inconvénients de chaque type d'élevage par rapport aux revenus des ménages et à la production du fumier*.

ISO 5315. *Méthode Kjeldhal modifiée (avec chrome)*.

ISTEEBU. (2013). *Rapport des projections démographiques 2008-2030*.

Kari, L. (2023). Rabbit urine as a biopesticide and biofertilizer. *Université suédoise des sciences agricoles, P32*.

Kinanpara, K., Kotchi, B. Y., & Théophile, G. (2020). Hygiénisation par stockage et valorisation agronomique des urines comme fertilisant en riziculture irriguée à Katiola. *International Journal of Innovation and Applied Studies, pp. 287-297*.

Lamis, A., Assma, M., & Hibet, B. alrahmen. (2022). *Utilisation des biopesticides : Avantages et inconvénients*.

Larounga, T., Dzola, A. K., & Akonta, D. K. K. (2020). Effet de la combinaison des fertilisants organiques et minéraux (NPK 15-15-15 et urée) sur le rendement de la laitue (Lactuca sativa L.) dans le sud du Togo. *Journal of Applied Biosciences 151: 15540 - 15549*.

MAERTENS, L., CAVANI, C., & PETRACCI, M. (2003). Nitrogen and phosphorus excretion on commercial rabbit farms : Calculations based on the input-output balance. *World Rabbit Science*.

Makone, M. S., Basweti, A. E., & Ngeywo, C. J. (2015). Farmers' Response to Organic and Inorganic Fertilizer Utilization on Maize Cropping Systems in Kisii County, Kenya. *International Journal of Plant & Soil Science 6(1): 26-33*. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2015/15009

Marc, K. T. T., Yaou, D. A., Tiemoko, Y., & Jean, A. (2018). Manuel technique de l'éleveur de lapin au bénin. *Centre Cunicole de Recherche et d'Information, Université d'Abomey-Calavi*.

Marepula, H. (2021). *Investigating the feasibility of recovering urea from human urine*.

Marepula H., Courtney C.E., & Randall D.G. (2021). *Urea recovery from stabilized urine using a novel ethanol evaporation and recrystallization process*.

Matias, A. (2021). Etude terrain sur l'alimentation et les conditions du lapin de compagnie et facteurs de prédisposition à l'obésité et au développement de différentes affections. *Médecine vétérinaire et santé animale.*

Meredith, A. L., Prebble, J. L., & Shaw, D. J. (2015). Impact of diet on incisor growth and attrition and the development of dental disease in pet rabbits. *Journal of Small Animal Practice , 377–382*. https://doi.org/10.1111/jsap.12346

Michael, R., & Pierre, H. (2021). *Procédé de traitement de l' urine humaine ou animale et utilisations de l'urine transformé e obtenue en particulier comme matiere fertilisante*.

Mutai, P. A. (2020). The Potential Use of Rabbit Urine as a Bio Fertilizer Foliar Feed in Crop Production. *Africa Environment Review Journal ,pp. 138-147*.

OCAPI. (2022). Utiliser l'urine humaine en agriculture. *École des Ponts ParisTech 6,8 avenue Blaise Pascal 77455 CHAMPS-SUR-MARNE*.

Okonji, C. J., Ajayi, E. O., Obisesan, O. I., Osundare, O. T., & Adetuyi, A. O. (2023). Effect of Rabbit Urine on Growth and Yield of Cucumber. *BADEGGI journal of agricultural research and environment, 05(01), 15 - 23*.

Olusola, O. J. (2022). Efficacy and Interactive Effect of Some Organic Manure and Rabbit Urine on the Growth and Yield of Three Indigenous Vegetables in South-east Nigeria. *AKSU Journal of Agriculture and Food Sciences*.

OMS. (2O12). *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excrétas et des eaux ménagères*.

Pillai, M. G., Simha, P., & Gugalia, A. (2014). *Recovering urea from human urine by bio-sorption onto Microwave Activated Carbonized Coconut Shells : Equilibrium, kinetics, optimization and field studies*.

Prebble, J. L., & Meredith, A. L. (2013). Food and water intake and selective feeding in rabbits on four feeding regimes. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 991–1000*. https://doi.org/DOI: 10.1111/jpn.12163

Richert, A., Gensch, R., Jönsson, H., Stenström, T.-A., & Dagerskog, L. (2011). Conseils Pratiques pour une Utilisation de l'Urine en Production Agricole. *Stockholm Environment Institute, EcoSanRes Series, 2011-3*.

Richner, W., Flisch, R., Mayer, J., Schlegel, P., Zähner, M., & Menzi, H. (2017). Propriétés et utilisation des engrais. *Recherche Agronomique Suisse*.

Roose, E., & Kouakoua, E. (2015). Valorisation des urines humaines et animales pour la fertilisation des sols tropicaux : Une revue. *Institut De Recherche pour le Développement, Montpellier*.

Roose, É., & Kouakoua, E. (2018). Valorisation des urines humaines et animales pour la fertilisation des sols tropicaux : Une revue. In *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie* (p. 319-327). IRD Éditions. https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.24327

Rotz, C. A. (2004). Management to reduce nitrogen losses in animal production. *American Society of Animal Science*. https://doi.org/10.2527/2004.8213_supplE119x

Said, M. I., Asriany, A., N.Sirajuddin, S., Abustam, E., Rasyid, R., & Al-Tawaha, A. R. M. (2018). Evaluation of quality of liquid organic fertilizer from rabbit's urine waste fermented using local microorganisms as decomposers. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences ,pp 990-1003*.

Sucihatiningsih, D. W. P., Christina Litaay, Talitha Widiatningrum, Dhea Rizky Amelia, & Dalila Daud. (2023). Application of Rabbit Urine and Manure Based Fertilizer on the Growth of Arabica and Robusta Coffee Seedlings. *Journal of Biology & Biology Education*.

Thi--Dieu--Hien, V., Le, V.-G., Nguyen, Q.-H., Pham, T.-T., Bui, T.--Vinh, Dang, B., Hoang, T.-T.-N., Song, N. T., Bui, X., & Lin, K.--Yi A. (2022). Effects of storage conditions, pH and Mg:P ratio on the precipitation process for phosphate recovery. *case -studies -in- chemical -and- environmental- engineering*.

Thierry, G., Hervé, G., Luc, M., & Laurence, D. (2019). *Efficacité alimentaire en cuniculture : Voies d'améliorations, impacts technico-économiques et environnementaux*.

Tordera, L. (2018). *Comment valoriser l'urine en agriculture ?* INRA Science & Impact.

Udert, K. M., Larsen, T. A., Biebow, M., & Gujer, W. (2003). Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system. *Water Research 37 , 2571–2582*. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00065-4

Wijayanto, B., Sucahyo, A., & Rimartin, G. A. (2023). The Effect of Rabbit Urine Fertilizer Application on the Growth of Water Spinach (Ipomoea Aquatica). *ABSR 23, pp. 591–600*. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-028-2_61

Yasser, B. C., & Boubekeur, B. (2018). *Synthèse d'un Fertilisant Azoté*.

Zhang, X., Li, J., Shao, L., Qin, F., Yang, J., Gu, H., Zhai, P., & Pan, X. (2023). Effects of organic fertilizers on yield, soil physico-chemical property, soil microbial community diversity and structure of Brassica rapa var. Chinensis. *Front. Microbiol. 14:1132853*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1132853

Zhou, Y., Yang, H., & Abbaspour, K. C. (2010). Factors affecting farmers' decisions on fertilizer use : A case study for the Chaobai watershed in Northern China. *The Journal of Sustainable Development, Pp. 80–102*.

Ziadi, N. (2007). *Utilisation des engrais minéraux azotés en grandes cultures : Description des différentes formes et leurs impacts en agroenvironnement*.

ANNEXES

Préparation des solutions

Bichromate de potassium 1 N :

Peser précisément environ 49,04 g de $K_2Cr_2O_7$ préalablement séché à 104 °C pendant 2 heures, puis dissoudre dans environ 700 ml d'eau. Agiter et compléter à 1 litre avec de l'eau

Solution indicatrice de ferroine :

Peser précisément environ 1,485 g de 1, 10-phénanthroline monohydraté et 0,695 g de $FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$ et dissoudre dans environ 70 ml d'eau. Compléter à 100 ml avec de l'eau.

Sulfate ferreux 0,5 N :

Peser précisément environ 70,0 g de $FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$ et dissoudre dans environ 350 ml d'eau. Ajouter 20 ml de H_2SO_4 et compléter à 500 ml avec de l'eau. Cette solution se conserve un an à la température ambiante.

Photos de quelques matériels



Spectrophotomètre d'absorption atomique







Spectrophotomètre UV visible Titronic Minéralisateur