

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Institut des Sciences
Vétérinaires- Blida



Université Saad
Dahlab-Blida 1-

Projet de fin d'études en vue de l'obtention du
Diplôme de Docteur Vétérinaire

**Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de
l'eau dans trois élevages de lapins en Algérie.**

Présenté par

Melal Soumia Malak

Soutenu le 08 juillet 2025

Devant le jury :

Président :	Yahia Achour	MCA	ISV, Université Blida 1
Examineur :	Boumahdi Merad Zoubida	Professeur	ISV, Université Blida 1
Promoteur :	Bettahar Samia	MCB	ISV, Université Blida 1

Année : 2024/2025

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement mon encadrante, Madame Bettahar Samia, Maître de conférences à l'Institut des Sciences Vétérinaires de Blida, pour avoir acceptée de superviser ce travail. Je lui suis profondément reconnaissante pour sa disponibilité, ses conseils avisés, sa rigueur scientifique ainsi que pour son soutien constant tout au long de l'élaboration et de la rédaction de ce mémoire. Son accompagnement a été essentiel à la réalisation de ce travail, tant sur le plan méthodologique que personnel.

J'adresse également ma gratitude à Monsieur Yahia Achour pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury, ainsi qu'à Madame Boumahdi Zoubida pour avoir acceptée d'examiner et d'évaluer ce travail.

Je tiens aussi à remercier Monsieur Ghaliaoui Abdelmadjid, Directeur de l'unité de Blida de l'Algérienne des Eaux, de m'avoir permis de réaliser mon stage au sein de cette structure. Mes remerciements vont tout particulièrement à Madame Zitouni Nassrine, cheffe de service, pour m'avoir accordée l'accès au laboratoire, ainsi qu'à l'ensemble du personnel qui m'a accompagné et soutenue durant mon stage. Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans leur précieuse collaboration.

À toutes et à tous, j'adresse mes remerciements les plus sincères.

Enfin, j'exprime ma profonde reconnaissance à l'ensemble des enseignants de l'Institut des Sciences Vétérinaires de Blida.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire, fruit de longues heures de travail, de doutes et de persévérance :

À mes parents, Rachid Melal et Sonia Le Rouge, mes piliers, mes refuges et mes plus grandes bénédictions. Rien de tout cela n'aurait été possible sans votre amour infini, vos sacrifices silencieux, vos prières sincères et votre foi inébranlable en moi. Ce travail est le vôtre autant que le mien.

À mon frère, Mohamed Amin Zakaria Melal, et à ma sœur, Hind Hadjer Melal, pour leur affection, leur soutien discret mais constant, et pour être, à leur manière, ma source d'équilibre.

À Monsieur Metref Ahmed Kheireddine et Madame Tarzaali Dalila, pour leur dévouement, leur écoute, et leur manière unique de transmettre le savoir avec passion et bienveillance. Leur présence a marqué mon parcours et a nourri ma motivation.

À ma précieuse amie, ma confidente, Douaa Aicha Nour, pour sa présence indéfectible, son écoute, sa lumière dans les moments sombres, et son amitié d'une rare pureté.

À Islam Mahmoudi et Maria Belazzoug, pour les liens d'amitié noués durant mes dernières années et leur présence bienveillante durant cette dernière étape de mon parcours.

À mes collègues de promotion : Nassima, Manel, Basma, Sara, Rania, Chaima, Halla, Ryma, Anis, Mahieddine, Mohand Amziane, Toufik, Riad et Mohamed, merci pour votre esprit d'équipe, vos échanges, votre soutien et tous les moments partagés durant ces années. Un grand merci à toute la promotion de 2020 pour cette aventure humaine et académique inoubliable.

A tous mes enseignants.

A toute ma famille.

À tous ceux qui ont cru en moi, de près ou de loin, je vous suis profondément reconnaissante. Ce mémoire est aussi un hommage à la bienveillance qui m'entoure.

Résumé

Cette étude a porté sur l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de boisson dans trois élevages cynicoles situés dans les wilayas de Tizi Ouzou et de Blida, entre avril et mai 2025. Un total de 8 échantillons d'eau a été prélevé au niveau des réservoirs et en bout de ligne du système d'abreuvement, puis analysés selon les normes de référence.

Les résultats physico-chimiques ont montré que certains paramètres étaient conformes tel que la température (entre 16 et 15 °C) la conductivité (<1200 µS/cm) et le fer < 0,2 mg/l), tandis que d'autres présentaient des dépassements, notamment pour la turbidité au niveau des réservoirs (13,42±27,18 NTU), la dureté totale (> 150) ainsi que des concentrations en nitrites (0,1 mg/l) et en ammonium (1,68 m/l) en bout de ligne.

Sur le plan bactériologique, l'eau était exempte d'E. coli, mais présentait une flore mésophile totale élevée et des entérobactéries dans plusieurs échantillons, en particulier au niveau des réservoirs.

Ces résultats soulignent la nécessité d'un entretien rigoureux des installations hydrauliques, d'un suivi régulier de la qualité de l'eau, ainsi que d'une sensibilisation des éleveurs à l'importance de l'eau comme facteur sanitaire majeur en cyniculture.

Mots clés : Analyse bactériologique, eau d'abreuvement, qualité physico-chimique, lapin. santé animale, gestion de l'eau, contamination microbiologique.

Abstract

This study focused on the evaluation of the physicochemical and bacteriological quality of drinking water in three rabbit farms located in the wilayas of Tizi Ouzou and Blida, between April and May 2025. A total of 8 water samples were collected from the reservoirs and at the end of the drinking system line, then analyzed according to reference standards.

Physicochemical results showed that some parameters were compliant, such as temperature (between 15 and 16 °C), conductivity (<1200 µS/cm), and iron (<0.2 mg/L), while others exceeded recommended limits, notably turbidity in the reservoirs (13.42±27.18 NTU), total hardness (>150), and concentrations of nitrites (0.1 mg/L) and ammonium (1.68 mg/L) at the end of the line.

On the bacteriological level, the water was free of *E. coli*, but showed high total mesophilic flora and the presence of enterobacteria in several samples, particularly at the reservoir level.

These results highlight the need for rigorous maintenance of hydraulic systems, regular monitoring of water quality, and raising awareness among farmers of the importance of water as a key health factor in rabbit farming.

Keywords: Bacteriological analysis, drinking water, physicochemical quality, rabbit, animal health, water management, microbiological contamination.

الملخص

ركزت هذه الدراسة على تقييم الجودة الفيزيائية-الكيميائية والبكتريولوجية لمياه الشرب في ثلاث مزارع لتربية الأرناب تقع في ولايتي تيزي وزو والبليدة، وذلك خلال الفترة من أبريل إلى ماي 2025. تم جمع ما مجموعه 8 عينات من المياه من الخزانات ومن نهاية خط نظام الشرب، ثم تم تحليلها وفقاً للمعايير المرجعية

أظهرت النتائج الفيزيائية-الكيميائية أن بعض المعايير كانت مطابقة للتوصيات، مثل درجة الحرارة (بين 15 و16 درجة ملغ/لتر)، في حين سجلت تجاوزات في معايير <0.2 ميكروسيمنس/سم، والحديد <1200 مئوية، الناقلية الكهربائية، وتركيزات >150 ، والصلابة الكلية (NTU) أخرى، خاصة العكارة على مستوى الخزانات (27.18 ± 13.42 وحدة). التترت (0.1 ملغ/لتر) والأمونيوم (1.68 ملغ/لتر) في نهاية الخط، لكنها أظهرت وجوداً مرتفعاً للفلورا (*E. coli*) من الناحية البكتريولوجية، كانت المياه خالية من الإشريكية القولونية. الميزوفيلية الكلية ووجوداً للمعويات في عدة عينات، خاصة عند مستوى الخزانات تُبرز هذه النتائج الحاجة إلى صيانة صارمة للمنشآت المائية، والمتابعة المنتظمة لجودة المياه، وتوعية المربين بأهمية المياه كعامل صحي أساسي في تربية الأرناب

1

الكلمات المفتاحية: تحليل البكتريولوجي، مياه الشرب، الجودة الفيزيائية-الكيميائية، الأرناب، الصحة الحيوانية، إدارة المياه، التلوث الميكروبيولوجي

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Liste d'abréviations

Liste des figures

Liste des photos

Introduction	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	2
Chapitre I : Origine et besoins en eau chez le lapin	3
Définition sur l'eau	3
Origine de l'eau d'abreuvement	3
Rôle de l'eau dans l'organisme du lapin	4
La digestion	4
La circulation sanguine	4
La thermorégulation	5
L'élimination des déchets	5
Consommation et Besoins en eau	6
Composition et teneur hydrique de l'alimentation	6
Âge	6
Stade physiologique	7
Facteur environnemental	7
Mode d'élevage	8

Chapitre II : La qualité physico-chimique de l'eau et leur influence sur la santé du lapin	9
Caractéristiques physiques de l'eau	9
La température	9
Couleur et turbidité	9
Odeur et goût	9
Le pH	10
Nitrates et nitrites ($\text{NO}_3^- / \text{NO}_2^-$)	11
L'ammonium (NH_4^+)	12
La dureté	12
Les métaux lourds (plomb, cadmium, cuivre, zinc)	13
Le fer (Fe) et le manganèse (Mn)	13
Conséquences d'un apport hydrique insuffisant	14
Contamination microbiologique de l'eau	16
Bactéries	16
Virus hydriques	17
Effets de modification dans la qualité de l'eau sur divers systèmes	18
Effets sur le système digestif	18
Effet sur le système urinaire	19
Incidence sur la croissance et la reproduction	20
PARTIE EXPERIMENTALE	22
Objectif de l'étude	23
Matériels et méthodes	23
Prélèvements	23
Les élevages	23
Analyses de laboratoire	24

Analyse physico-chimique	24
Protocoles et appareillage pour l'analyse physico-chimique	24
pH	24
Turbidite	25
Dosage des composés azotés (nutriments)	26
Durte	26
Fer	26
Analyse bactériologique	27
Matériels	27
Recherche et dénombrement des flores bactériennes	27
Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale FMAT	28
Dénombrement des entérobactéries	28
Résultats et discussion	31
Résultats et discussion des paramètres physicochimiques	31
Résultats et discussion de l'analyse bactériologique	33
Conclusion et Recommandation	34
Références bibliographiques	36

Liste des tableaux

Tableau 1	Besoin en eau selon l'âge des lapins en croissance (Lebas, 1996)	7
Tableau 2	Normes OMS (2003) et Algériennes des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable (Oula, 2014)	15
Tableau 3	Valeurs préconisées en élevage cunicole (ITAVI, 2010)	16
Tableau 4	Principaux agents et leurs effets chez le lapin (Lebas, 1997; Harcourt-Brown, 2003; DUCHEMIN et al, 2010)	17
Tableau 5	Impact de la qualité de l'eau sur le système digestif chez le lapin (Harcourt-Brown, 2002; Nelson, 2020)	19
Tableau 6	Impact de la qualité de l'eau sur le système urinaire chez le lapin (Harcourt-Brown, 2002; Authority (EFSA), 2005)	19
Tableau 7	Effets de la qualité de l'eau sur la croissance et la reproduction chez le lapin (Lebas, 1997; EFSA, 2005)	21
Tableau 8	Matériels utilisés lors de l'analyse bactériologique	27
Tableau 9	Résultats physico-chimiques de l'eau des trois élevages	31
Tableau 10	Résultats bactériologiques des trois élevages selon le site de prélèvement	33

Liste des figures

Figure 1 : Préparation des échantillons en vue de leur analyse Page 24

Figure 2 : pH-mètre de paillasse Page 25

Figure 3 : Appareille pour la mesure de la turbidité de l'eau Page 25

Figure 4 : Détermination de la dureté de l'eau Page 26

Liste des abréviations

- UFC : Unité Formant Colonie
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- ITAVI : Institut Technique de l'Aviculture
- NTU : Nephelometric Turbidity Unit
- TH : Titre Hydrotimétrique (dureté totale)
- FMAT : Flore mésophile aérobie totale
- VRBG/VRBL : Milieux sélectifs pour entérobactéries
- E. coli : Escherichia coli
- EMB : Eosine Methylene Blue
- EDTA : Acide éthylènediaminetétraacétique
- GNI : Gélose nutritive inclinée
- RM : Rouge de méthyle
- VP : Voges-Proskauer
- PPM : partie par million
- μS : microsiemens

Introduction

L'eau constitue un élément vital pour l'ensemble des êtres vivants. Chez les animaux d'élevage, et particulièrement chez le lapin, elle intervient dans des fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, la régulation de la température corporelle, l'élimination des déchets métaboliques et le maintien de l'équilibre hydrique. En cuniculture, la qualité de l'eau de boisson est reconnue comme un facteur clé influençant non seulement le bien-être animal, mais également les performances zootechniques et sanitaires du cheptel.

Plusieurs études ont démontré que l'utilisation d'une eau de mauvaise qualité, qu'elle soit altérée sur le plan physico-chimique ou contaminée sur le plan microbiologique, peut engendrer des troubles digestifs, favoriser l'émergence de pathologies infectieuses et entraîner des pertes économiques importantes (Tabler, 2003 ; Hapke, 2000 ; Travel et al., 2006). Lebas (2000) souligne également que chez le lapin, une consommation réduite ou une qualité inadéquate de l'eau peut avoir un impact direct sur la croissance, la reproduction et l'efficacité alimentaire.

Malgré l'importance de ce paramètre, en Algérie, à notre connaissance, aucune étude récente n'a intégré un contrôle régulier de la qualité de l'eau de boisson dans leur stratégie de gestion sanitaire. C'est notamment le cas des exploitations de petite taille, où les pratiques d'abreuvement reposent fréquemment sur des réseaux non surveillés ou sur des sources alternatives telles que des puits, souvent dépourvus de tout système de contrôle de qualité (Berchiche *et al.* 2000). Une telle situation expose les animaux à des risques sanitaires non négligeables, liés à la présence potentielle de contaminants chimiques ou microbiologiques.

Dans ce contexte, cette étude vise à caractériser les propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de boisson dans des élevages cunicoles des wilayas de Tizi Ouzou et Blida. L'objectif est d'identifier des non-conformités pour proposer des mesures correctives adaptées au terrain.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Origine et besoins en eau chez le lapin

1. Définition sur l'eau

L'eau est une substance chimique composée de molécules de formule H_2O , essentielle à la vie sur Terre. Elle se présente sous trois états physiques : liquide, solide (glace) et gazeux (vapeur). L'eau est un solvant universel, qui intervient dans les processus biologiques et géochimiques. Aussi, l'eau est indispensable dans le maintien des écosystèmes et des activités humaines (Agathe Euzenet *al*, 2018).

2. Origine de l'eau d'abreuvement

Les lapins d'élevage peuvent avoir accès à l'eau selon différentes sources dont la qualité varie considérablement selon la provenance. Les différentes sources d'eau sont comme suit selon Ducheminet *al*. (2010) :

- ✓ Les eaux de surface (rivières, étangs, mares) sont les plus exposées aux contaminations microbiologiques et chimiques en raison du ruissellement et des rejets agricoles ou industriels.
- ✓ Les eaux souterraines sont des eaux présentes sous la surface du sol. Elles peuvent être exploitées via des puits ou des forages. Étant naturellement filtrées par les sols, elles présentent généralement une meilleure qualité que les eaux de surface, ce qui en fait une source idéale pour l'eau potable.
- ✓ L'eau du réseau public, optimale pour les lapins. Elle présente l'avantage, par rapport aux autres sources, d'être réglementée par la loi, ce qui garantit sa qualité. Toutefois, malgré cette réglementation, la qualité de l'eau peut se dégrader au niveau des canalisations.
- ✓ Enfin, les eaux de pluie, récupérées et stockées, servent parfois de ressource d'appoint, mais elles contiennent fréquemment des polluants atmosphériques comme des métaux lourds.

3. Rôle de l'eau dans l'organisme du lapin

L'eau constitue environ 70% du poids corporel du lapin adulte, ce qui en fait le composant principal de l'organisme. Elle joue un rôle primordial dans la digestion, l'absorption des nutriments, la circulation sanguine, la thermorégulation et l'élimination des déchets (York et al 2001).

3.1 La digestion

L'eau joue un rôle fondamental dans le processus digestif du lapin, espèce particulièrement sensible aux troubles intestinaux. Dès la mastication, elle intervient en humidifiant les aliments grâce à la salive, facilitant ainsi leur ingestion et leur fragmentation (Lebas, 1996). Elle est également indispensable à l'action des enzymes digestives (amylase, lipase, protéases), dont l'activité nécessite un milieu aqueux. Ce milieu permet non seulement la sécrétion enzymatique, mais aussi la dissolution et le transport des nutriments (glucides, acides aminés, minéraux), notamment à travers les villosités de l'intestin grêle et du cæcum (Sherwood *et al.*, 2016). Chez le lapin, l'eau assure en plus l'hydratation des fibres, comme la cellulose, permettant leur bon déplacement dans le tube digestif, contribuant ainsi à la prévention de la stase digestive. Aussi, Elle joue un rôle clé dans la formation des cæcotrophes (Lebas, 1996).

3.2 La circulation sanguine

L'eau représente environ 92 % du volume plasmatique, composant essentiel du sang, directement lié au retour veineux et au débit cardiaque. Une hydratation adéquate permet de maintenir un volume sanguin stable, indispensable à une circulation efficace, ainsi qu'une pression artérielle optimale, évitant les risques d'hypotension, particulièrement dangereux en cas de déshydratation. Sur le plan fonctionnel, l'eau assure le transport des gaz respiratoires : environ 3 % de l'oxygène (O_2) est dissous dans le plasma, tandis que le dioxyde de carbone (CO_2) est majoritairement transporté sous forme d'acide carbonique (HCO_3^-). (Guyton et Hall, 2021) L'eau participe également à l'équilibre électrolytique, en maintenant les concentrations de Na^+ , K^+ et Ca^{2+} , essentiels à la contractilité cardiaque et à la fluidité sanguine.

Enfin, une bonne hydratation préserve l'intégrité de l'endothélium vasculaire, réduisant ainsi les risques de thrombose (formation de caillots) et d'athérosclérose précoce, des

pathologies qui peuvent notamment être observées chez des lapins en état de déshydratation (Quesenberry and Carpenter, 2020)

3.3 La thermorégulation

L'eau joue un rôle essentiel dans la régulation thermique chez le lapin, espèce particulièrement sensible aux variations de température. Grâce à sa capacité thermique élevée (4,18 J/g.°C), l'eau absorbe une grande quantité de chaleur avant de s'échauffer, ce qui contribue à stabiliser la température interne de l'animal (De Blas et Wiseman, 2010). Le sang, composé à près de 90 % d'eau, agit comme un conducteur de chaleur, transportant l'excès thermique des organes internes vers la périphérie, notamment vers les oreilles fortement vascularisées, où la vasodilatation permet une dissipation efficace de la chaleur (Sherwood *et al.* 2016). Contrairement à d'autres espèces, le lapin ne transpire pas ; il régule sa température essentiellement par les oreilles et la respiration. Le halètement, mécanisme utilisé par les lapins et les carnivores, permet l'évaporation d'eau au niveau des voies respiratoires, ce qui abaisse la température corporelle. En période de chaleur, un lapin privé d'eau voit sa température interne augmenter deux fois plus rapidement qu'un lapin bien hydraté, ce qui démontre l'importance vitale de l'eau dans le maintien de l'équilibre thermique (Lebas, 1996).

3.4 L'élimination des déchets

Selon Guyton et Hall (2016) l'eau joue un rôle fondamental dans l'élimination des déchets métaboliques, en agissant comme véhicule universel pour leur transport et leur excrétion. Dans le sang (notamment le plasma) et la lymphe, l'eau dissout des déchets métaboliques comme l'urée, le dioxyde de carbone (CO₂), la créatinine et d'autres toxines, facilitant leur transport vers les organes excréteurs. Les reins filtrent ces substances pour former l'urine, les poumons expulsent le CO₂, et le foie détoxifie les composés nocifs en les rendant hydrosolubles. Le CO₂, déchet majeur de la respiration cellulaire, est transporté dans le sang sous trois formes : 70 % sous forme de bicarbonate (HCO₃⁻) grâce à une réaction dépendante de l'eau. Le foie, quant à lui, utilise l'eau pour produire la bile, qui permet d'éliminer des déchets liposolubles, et pour transformer des toxines (comme l'ammoniac ou certains médicaments) en substances excrétables par voie rénale (De Blas et Wiseman, 2020). Enfin, au niveau rénal, l'eau est essentielle à la filtration glomérulaire et à

la dilution de l'urée. Une hydratation insuffisante perturbe ces processus, entraînant une accumulation dangereuse de déchets.

4. Consommation et Besoins en eau

Selon Lebas (2016), les lapins adultes consomment en moyenne 50 à 150 ml d'eau par kg de poids corporel par jour, une quantité nettement supérieure à celle des carnivores domestiques comme les chiens ou les chats (qui en consomment 2 à 3 fois moins) (Meredith et Lord, 2014). Cependant, plusieurs facteurs peuvent influencer de manière significative la consommation de l'eau, parmi lesquels :

4.1 Composition et teneur hydrique de l'alimentation

La composition et la teneur en eau de l'alimentation influencent significativement les besoins hydriques des lapins. Selon Lebas(1996), les lapins nourris avec des granulés secs (10–12 % d'humidité) consomment 2 à 3 fois plus d'eau (jusqu'à 150 ml/kg/jour) que ceux recevant des végétaux frais (70–90 % d'humidité), qui ne nécessitent que 50–80 ml/kg/jour. De Blas et Wiseman (année 2010) ajoutent que les régimes hyper-protéinés (>18 %) ou riches en minéraux augmentent encore ces besoins. Aussi, un aliment à 60 % d'humidité réduit de 45 % la consommation d'eau comparé à un aliment à 15% d'humidité. Enfin, la luzerne séchée provoque une consommation d'eau 20 % de plus que l'herbe fraîche, tandis que les lapins en climat chaud privilégient naturellement les aliments hydratés pour leur thermorégulation.

4.2 Âge

Chez les lapins adultes, les besoins sont autour de 50 à 150 ml/kg/jour en moyenne selon leur alimentation et la température ambiante. Le tableau 1 montre qu'entre 6 et 18 semaines, les lapins mâles Néo-Zélandais Blancs présentent une augmentation progressive de leur consommation d'eau, avec un pic à 12 semaines, suivi d'une légère baisse à 18 semaines. La fréquence des prises d'eau s'intensifie, tandis que le rapport eau/aliment et la teneur en eau totale de la ration augmentent régulièrement avec l'âge, traduisant une adaptation physiologique aux besoins croissants en hydratation.

Tableau 1 : Besoin en eau selon l'âge des lapins en croissance (Lebas, 1996)

Âge (semaines)	Consommation d'eau (g/jour)	Nombre de prises/jour	Poids moyen par prise (g)	Rapport eau/aliment
6 semaines	153	31	5.1	1.75
12 semaines	320	28,5	11.5	1.85
18 semaines	297	36	9.1	2.09

4.3 Stade physiologique :

Selon le stade physiologique, les besoins hydriques des lapins varient de manière significative. Chez la lapine gestante, les besoins en eau sont estimés entre 70 et 120 ml/kg/jour, soit environ 200 à 350 ml/jour pour un animal de 3 kg. Ces besoins augmentent d'environ 20 % en fin de gestation, en raison du développement du liquide amniotique et de l'expansion du volume sanguin maternel nécessaire à la nutrition fœtale (Lukefahr et al., 2022).

En période de lactation, la consommation d'eau atteint des niveaux critiques, car environ 80 % de l'eau ingérée est mobilisée pour la synthèse du lait, celui-ci étant composé à 70 à 75 % d'eau (Gidenne, 2015). Les besoins hydriques peuvent alors atteindre 200 à 300 ml/kg/jour, ce qui représente entre 0,6 et 1,2 litre d'eau par jour pour une lapine allaitante de 4 kg (De Blas & Wiseman, 2010).

4.4 Facteur environnemental

La température ambiante constitue un facteur environnemental déterminant dans la régulation de la consommation hydrique chez le lapin. En cas de chaleur excessive (température > 25 °C), la consommation d'eau peut augmenter de 40 à 60 %, en lien avec l'activation des mécanismes de thermorégulation, notamment le halètement et la vasodilatation auriculaire (Lebas, 1996). À l'inverse, des températures inférieures à 10 °C

induisent une réduction de 20 à 30 % de la consommation, en raison du ralentissement du métabolisme basal et de la diminution de l'activité physique (De Blas & Wiseman, 2010).

L'humidité relative de l'air influence également les besoins hydriques. Un air trop sec (< 40 %) engendre une augmentation de 15 à 20 % de la consommation, l'animal cherchant à compenser les pertes en eau par voie respiratoire (Meredith & Lord, 2014).

Par ailleurs, la qualité de l'air et le système de ventilation jouent un rôle non négligeable. Une concentration élevée en ammoniac (> 20 ppm), souvent observée dans les élevages mal ventilés, peut entraîner une diminution de la consommation d'eau jusqu'à 25 %, du fait de l'irritation des muqueuses respiratoires et du stress physiologique qui en résulte (Harcourt-Brown, 2002). Une ventilation adéquate permet de maintenir un environnement stable, en limitant l'accumulation de dioxyde de carbone et de particules fines, favorisant ainsi une consommation hydrique normale (Lebas, 1996).

Enfin, la photopériode influence également le comportement d'abreuvement. Des journées longues (16 heures de lumière) induisent une consommation accrue, notamment pendant la période nocturne, en lien avec le rythme alimentaire crépusculaire du lapin. Une hausse de jusqu'à 30 % de la consommation d'eau durant la nuit a été rapportée (Gidenne, 2015). À l'inverse, une obscurité prolongée ou permanente peut perturber les rythmes biologiques naturels et provoquer une déshydratation intermittente (Lukefahr, 2012).

4.5 Mode d'élevage

Le mode d'élevage influence directement l'accès à l'eau et, par conséquent, la quantité effectivement consommée. Dans les systèmes à cages individuelles, l'accès à l'abreuvoir est direct, constant et sans compétition, ce qui favorise une consommation plus régulière et prévisible (De Blas & Wiseman, 2010). À l'inverse, en élevage collectif, des interactions sociales hiérarchisées peuvent générer des phénomènes de compétition ou de dominance, réduisant l'accès à l'eau chez certains animaux, notamment les plus dominés. Cette situation peut entraîner une baisse de la consommation hydrique et, par conséquent, un impact négatif sur la croissance et l'état sanitaire des individus concernés (Lebas, 2001).

Il est donc recommandé, dans les systèmes d'élevage en groupe, de multiplier les points d'abreuvement afin de garantir un accès équitable à l'eau pour tous les animaux et de limiter les comportements compétitifs défavorables.

Chapitre II : La qualité physico-chimique de l'eau et leur influence sur la santé du lapin

1. Caractéristiques physiques de l'eau

1.1 La température :

En général, les lapins préfèrent une eau fraîche par temps chaud et tiède par temps froid (Khammar, 2019). L'optimum de température recommandé se situe entre 10 et 18 °C (WHO, 2017). Une étude de Marai et al. (2002) révèle qu'une eau à 30°C entraîne une réduction de 20 à 30 % de la consommation hydrique chez le lapin.

1.2 Couleur et turbidité

La couleur et la turbidité influencent directement l'acceptabilité de l'eau par le lapin, en raison de leur impact sur ses préférences sensorielles (Coon, 2013).

Une turbidité (eau trouble) élevée, souvent causée par des particules en suspension (argile, algues, matières organiques), ou une couleur anormale (jaune ou rougeâtre), dissuadent la consommation et peuvent signaler la présence de pathogènes (Coon, 2013). Selon les normes de l'OMS, l'eau destinée à la consommation doit être claire, exempte de toute coloration pouvant indiquer une contamination par des métaux ou des matières organiques (WHO, 2017). La turbidité ne doit pas dépasser 5 NTU (Nephelometric Turbidity Units), seuil au-delà duquel la qualité de l'eau est considérée comme altérée.

Au-delà de l'aspect visuel, une eau turbide peut héberger des kystes parasitaires, des bactéries ou autres micro-organismes pathogènes, augmentant ainsi le risque de troubles digestifs. En élevage, une telle eau a été associée à des épisodes de diarrhées, particulièrement chez les jeunes lapins, fragilisant leur état sanitaire (Harcourt-Brown, 2002).

1.3 Odeur et goût

Les caractéristiques organoleptiques de l'eau, telles que l'odeur et le goût, influencent fortement la consommation chez le lapin. Certaines substances, comme les sulfures (H₂S), donnent à l'eau une odeur d'œuf pourri, souvent indicatrice d'une pollution organique ou

d'une décomposition anaérobie. De même, une teneur excessive en chlore (>2 mg/L) entraîne un rejet de l'eau par les animaux (Gidenne, 2010). Ces altérations sensorielles peuvent provoquer une baisse significative de la consommation hydrique, augmentant le risque de stase digestive et de troubles du transit (Gidenne, 2010).

La conductivité électrique de l'eau, exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens /cm), reflète sa teneur en ions dissous (tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^-) et constitue un indicateur global de minéralisation. Pour les lapins, la plage optimale se situe entre 500 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Lebas, 1997). Au-delà de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, on observe une diminution de la consommation, associée à des troubles digestifs, en raison d'un excès de sels minéraux dans l'eau. Caractéristiques chimiques de l'eau.

1.4 Le pH

Le pH de l'eau, indicateur de son acidité ou de sa basicité, est un paramètre crucial en élevage cunicole en raison de la sensibilité digestive du lapin. La plage idéale recommandée pour ces animaux se situe entre 5,5 et 7,5, ce qui est plus strict que les normes fixées pour l'eau potable humaine (6,5–9,5 selon l'OMS), en raison de leur vulnérabilité intestinale (Inconnu, 2010). Un pH inadapté peut altérer la solubilité de certaines substances, notamment les médicaments tels que les antibiotiques ou les vitamines, limitant ainsi leur efficacité. Il influence également la prolifération bactérienne dans les circuits d'abreuvement, en créant un environnement favorable au développement de biofilms et de micro-organismes pathogènes (Adeboye-adejare, 2021). Cependant un pH inférieur à 6,0 présente de multiples risques pathologiques pour le lapin. Sur le plan bucco-dentaire, une eau trop acide peut dissoudre progressivement l'émail dentaire, entraînant des malocclusions et des abcès dentaires douloureux, compromettant l'alimentation de l'animal (Quesenberry et Carpenter, 2015). Au niveau digestif, un pH cæcal inférieur à 5,7 provoque la destruction de la flore bactérienne bénéfique, essentielle à la fermentation cæcale. Cette perturbation mène à une dysbiose sévère, pouvant évoluer vers une entérite mucoïde ou des diarrhées aiguës potentiellement mortelles (Lebas, 1996). Enfin, des urines trop acides ($\text{pH} < 6,0$) favorisent l'apparition de cystites hémorragiques et de lésions rénales, aggravant les troubles d'élimination et mettant en danger la fonction urinaire du lapin (Harcourt-Brown, 2021).

Dans un autre point un pH alcalin (> 8.5) dans l'eau d'abreuvement compromet gravement la santé des lapins. D'une part, il induit la précipitation des minéraux (notamment le carbonate de calcium) dans les voies urinaires, favorisant la formation de calculs vésicaux douloureux et de lésions rénales chroniques (Pignon, 2021). Parallèlement, cet environnement alcalin accélère la prolifération de biofilms pathogènes dans les circuits hydriques, où des bactéries comme *Pseudomonas aeruginosa* et *E. coli* adhèrent aux surfaces, augmentant les risques d'entéocolites mortelles et de septicémies (Olszewska, 2020). Enfin, il réduit drastiquement l'efficacité des traitements antibiotiques : des molécules comme les tétracyclines précipitent à pH > 8.0, diminuant leur biodisponibilité de 30 à 60% et compromettant la guérison (EMA, 2019). Des études récentes recommandent donc un pH optimal de 6.5 à 7.5 et un nettoyage hebdomadaire des systèmes d'abreuvement à l'acide acétique pour neutraliser ces risques (Heinrich, 2022).

1.5 Nitrates et nitrites (NO_3^- / NO_2^-)

Les nitrates (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-), issus principalement de la pollution agricole (engrais), des eaux usées ou de la décomposition organique, représentent un risque sanitaire sous-estimé pour les lapins. Bien que les nitrates soient naturellement moins toxiques, ils sont convertis en nitrites par la flore intestinale, composés 50 fois plus nocifs (Meredith & Lord, 2014).

L'OMS (2017) et l'EFSA (2005) fixent des limites strictes dans l'eau :

- ≤ 50 mg/L de NO_3^- ,
- ≤ 0.1 mg/L de NO_2^- .

Chez le lapin, des études récentes montrent qu'un seuil de 350 ppm (ou 350mg/L) de NO_3^- reste tolérable, mais qu'à partir de 700 ppm, on observe :

- Une réduction de 30% de la digestion des fibres (Attia et al. 2020),
- Des lésions hépatiques et des tubulonéphroses (Attia et al. 2020).

Le danger majeur réside dans les nitrites car ils induisent une méthémoglobinémie (La méthémoglobine est une forme altérée de l'hémoglobine où le fer (Fe^{2+}) est oxydé en fer ferrique (Fe^{3+}), ce qui l'empêche de transporter efficacement l'oxygène) aiguë en oxydant l'hémoglobine, bloquant le transport d'oxygène dans le sang, un mécanisme mortel bien documenté chez les ruminants, mais transposable aux lagomorphes (Gupta, 2018).

1.6 L'ammonium (NH₄⁺)

L'ammonium (NH₄⁺), issu de la dégradation des matières organiques ou de certains traitements de l'eau par chloramination, constitue un risque discret mais non négligeable en élevage cynicole. Bien qu'il soit moins toxique que sa forme gazeuse, l'ammoniac (NH₃), l'ammonium dépasse fréquemment le seuil tolérable de 0,5 mg/L dans l'eau de boisson, selon les références techniques cynicoles (inconnu, 2010).

Une étude menée sur des lapines de race Néo-Zélandaise a montré qu'une exposition chronique à seulement 0,1 mg/kg/jour de perchlorate d'ammonium via l'eau de boisson suffit à altérer la fonction thyroïdienne maternelle, compromettant ainsi le développement fœtal (Raymond *et al.*, 2001). Par ailleurs, dans les clapiers mal ventilés, des concentrations ambiantes en ammoniac atteignant 50 ppm ont été associées à une série d'effets délétères, notamment des déséquilibres de la flore intestinale, une réduction de 15 à 20 % de la croissance des lapereaux, ainsi que des lésions épithéliales au niveau du tube digestif (Cui *et al.*, 2021).

1.7 La dureté

La dureté de l'eau correspond à la teneur en minéraux divalents dissous, principalement calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺). Elle s'exprime en mg CaCO₃/L ou en degrés français (°F). Une eau dure apporte des minéraux bénéfiques à court terme, mais peut aussi entraîner des désavantages (Klasing *et al.*, 2005). Un changement de la dureté peut avoir un effet sur la santé animale et les performances zootechniques.

Une transition brutale vers une eau dure (> 30°F) après une exposition à une eau douce (< 15°F) peut provoquer des troubles digestifs et métaboliques (Wilkinson, 2019), et accroît le risque de diarrhées chez les jeunes animaux, à cause de l'irritation de la muqueuse intestinale (Boudry *et al.*, 2018). Au niveau métabolique, un excès de calcium dans l'eau (> 100 mg/L) favorise la formation de calculs urinaires chez les ruminants et les lapines reproductrices (Kichou *et al.*, 2020), tout en perturbant le ratio calcium/phosphore dans la ration, ce qui nuit à la minéralisation osseuse (Gidenne, 2016).

D'un point de vue technique, la dureté entraîne l'entartrage des systèmes d'abreuvement (pipettes, canalisations), réduisant ainsi le débit d'eau disponible et induisant un stress hydrique ainsi qu'une baisse de la consommation (Jondreville *et al.*, 2021). À l'inverse, une

eau trop douce (< 10°F) peut exacerber les carences en magnésium, augmentant les risques de tétanie d'herbage chez les bovins (Martinez *et al.*, 2022), et favoriser la corrosion des matériaux métalliques (plomb, cuivre), ce qui expose les animaux à un risque d'intoxication aux métaux lourds (EFSA, 2020).

1.8 Les métaux lourds (plomb, cadmium, cuivre, zinc)

Les métaux lourds (plomb, cadmium, cuivre, zinc) sont des polluants persistants qui s'accumulent préférentiellement dans les tissus hépatiques et rénaux des lapins. Cette bioaccumulation pose un risque sanitaire majeur en cuniculture, car elle entraîne des néphropathies, des hépatites toxiques et des troubles de la reproduction, même à faible dose chronique (ANSES, 2022). Le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) sont particulièrement préoccupants en raison de leur demi-vie biologique prolongée (> 10 ans) et de leur transfert potentiel vers la chaîne alimentaire humaine (INRAE, 2023). Le plomb (Pb) provoque une neurotoxicité sévère caractérisée par une dégénérescence des neurones moteurs, entraînant paralysie et cécité, associée à une anémie hémolytique par inhibition de la synthèse de l'hème (Benhammou, 2023). Le cadmium (Cd), même à faibles doses (0.01 mg/L), s'accumule dans le cortex rénal où il cause une nécrose tubulaire irréversible et une ostéomalacie via la perturbation du métabolisme calcique (ANSES, 2022). Le cuivre (Cu) déclenche une hépatotoxicité aiguë avec nécrose centro-lobulaire et hémolyse intravasculaire à des concentrations > 3 mg/L, tout en induisant des carences secondaires en zinc responsables de dermatoses (Lebas, 2021). Quant au zinc (Zn), un excès (> 50 mg/L) altère le microbiote cœcal en supprimant les lactobacilles, favorisant des entérites nécrosantes à *Clostridium perfringens*, et provoque une arthrose précoce par dépôt articulaire (Gidenne *et al.*, 2020). Ces éléments génèrent également un stress oxydatif systémique qui compromet l'immunité et la fertilité (Jondreville, 2023).

1.9 Le fer (Fe) et le manganèse (Mn)

Le fer ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) et le manganèse (Mn^{2+}) sont des métaux naturellement présents dans les sols et les eaux souterraines, souvent en raison de la dissolution des roches ou de la contamination anthropique (e.g., industries, canalisations corrodées). Bien qu'essentiels à faible dose, des concentrations excessives peuvent altérer la qualité de l'eau (goût, couleur) et poser des risques pour la santé des lapins, notamment via des troubles hépatiques ou des carences compétitives en minéraux. (US EPA, 2015). Le fer (Fe) en excès (> 0.3 mg/L) catalyse

la formation de radicaux libres dans le cæcum, induisant un stress oxydatif qui altère la muqueuse intestinale et favorise les entérites à *E. coli* (Gidenne, 2021). Il précipite également en oxyhydroxydes dans les réseaux d'abreuvement, obstruant les pipettes et réduisant l'accès à l'eau ce qui favorise une déshydratation chronique associée à des lithiases rénales (INRAE, 2022). Le manganèse (Mn) (> 0.1 mg/L) se bioaccumule dans le foie et le système nerveux central, provoquant des troubles neuromoteurs (ataxie, tremblements) par inhibition de la tyrosine hydroxylase, et exacerbe les carences en fer en compétitionnant pour les transporteurs DMT1 (Lebas, 1997). De plus, Mn/Fe forment des dépôts noirâtres dans le pelage ("effet tachant"), dépréciant la qualité des peaux en fourrure (ANSES, 2022).

À titre indicatif, les tableaux 2 et 3 présentent un résumé comparatif des normes algériennes et de celles de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) relatives aux principaux paramètres physico-chimiques de l'eau potable et ceux recommandées dans les élevages cynicoles.

2. Conséquences d'un apport hydrique insuffisant

Une restriction en eau, même modérée (20-40%), entraîne une réduction immédiate de la consommation alimentaire (-30 à 50%), un ralentissement du transit digestif, et une altération de la croissance pondérale (Lebas, 2000). Chez les lapines allaitantes, un déficit hydrique provoque une chute drastique de la production laitière (-35%), compromettant la survie des lapereaux (Sanz et al., 2004). La déshydratation chronique exacerbe également les risques rénaux (néphropathies) et thermorégulateurs, les lapins étant incapables de transpirer (Cervera et al., 2008). À l'inverse, une eau propre et accessible améliore l'efficacité alimentaire (+15% de croissance) et prévient les entéropathies, comme le soulignent Gidenne et Feugier (2009) : "*L'hydratation optimale maintient l'équilibre du microbiote cæcal et limite la prolifération de Clostridium spp.*". Une étude récente confirme que les lapins privés d'eau pendant 24h présentent un stress oxydatif systémique (Trocino et al., 2020).

Tableau 2 : Normes OMS (2003) et Algériennes des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable (Oula, 2014).

Substance	Unité	Normes OMS	Normes Algériennes	Remarques
TA (Titre Alcalimétrique)	mg/l	<15	<5	Norme Algérie plus stricte
TAC	mg/l	<15	<500	Écart important (x33)
pH	Unité pH	6,5 - 9,5	≤6,5 et ≤9	Plage OMS plus large
Ammonium (NH₄⁺)	mg/l	0.5	0.5	Identique
Couleur	mg/l Pt-Co	-	15	OMS: Aucune norme définie
Odeur	Dilution à 12°C	-	4	Spécifique à l'Algérie
Saveur (25°C)	Taux dilution	-	4	Spécifique à l'Algérie
Aluminium (Al)	mg/l	0.2	0.2	Identique
Fluorure (F⁻)	mg/l	1.5	1.5	Identique
Fer total (Fe)	mg/l	-	0.3	OMS: Valeur indicative 0.3 mg/l
Manganèse (Mn)	µg/l	40	50	Norme Algérie +25% plus laxiste
Nitrate (NO₃⁻)	mg/l	50	50	Identique
Nitrite (NO₂⁻)	mg/l	0.2	0.2	Identique
Oxydabilité (KMnO₄)	mg/l	-	5	Spécifique à l'Algérie
Sulfates (SO₄²⁻)	mg/l	400	500	Norme Algérie +25% plus laxiste
Zinc (Zn)	mg/l	3	5	Norme Algérie +66% plus laxiste
Cadmium (Cd)	µg/l	3	3	Identique
Cyanure (CN⁻)	µg/l	70	70	Identique
Résidu sec	mg/l	1500	1500	Identique

Tableau 3 : Valeurs préconisées en élevage cunicole (ITAVI, 2010)

Paramètre	Norme idéale
pH	5,5 < pH < 7,5
Dureté (TH)	10 à 15 °F
Fer (Fe)	≤ 0,2 mg/l
Manganèse (Mn)	≤ 0,05 mg/l
Nitrates (NO ₃ ⁻)	≤ 50 mg/l
Nitrites (NO ₂ ⁻)	≤ 0,1 mg/l
Ammonium (NH ₄ ⁺)	≤ 0,5 mg/l
Matières organiques (MO)	≤ 2 mg O ₂ /l

3. Contamination microbiologique de l'eau

La contamination microbiologique de l'eau constitue une menace sanitaire prioritaire en cuniculture, complémentaire aux risques chimiques. Les micro-organismes, tels que les bactéries (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Pseudomonas*), virus (RHDV, parvovirus) et protozoaires (*Eimeria spp.*) contaminent les réseaux hydriques via les effluents fécaux, les animaux porteurs ou les eaux de surface stagnantes. Ces agents pathogènes induisent des pathologies systémiques graves (entérites nécrosantes, septicémies, hépatites fulminantes) responsables de mortalités massives et de pertes économiques significatives (Gidenne *et al.*, 2022). Les principaux agents sont résumés dans le tableau 4.

Parmi ses agents pathogènes, nous avons :

3.1 Bactéries

Escherichia coli et *Salmonella spp.*, transmises principalement par contamination fécale de l'eau, provoquent des syndromes diarrhéiques aigus chez le lapin. Les souches entéro-pathogènes d'*E. coli* (EPEC) colonisent l'iléon et le cæcum, déclenchant des entérites hémorragiques avec mortalité atteignant 80% chez les lapereaux (Marlier *et al.*, 2019). La salmonellose, bien que moins fréquente, cause des septicémies foudroyantes. L'émergence de souches multirésistantes (résistantes à ≥3 classes d'antibiotiques chez 70% des isolats en élevages intensifs) complique drastiquement les traitements (Licois *et al.*, 2021).

3.2 Virus hydriques

L'eau agit comme vecteur majeur pour les virus stables dans l'environnement :

- RHDV (Rabbit Hemorrhagic Disease Virus) : Persiste >100 jours dans l'eau à 4°C, causant une hépatonécrose hémorragique avec mortalité de 90% en 48h (Le Gall-Reculé et al., 2023).
- Parvovirus : Résiste aux désinfectants usuels ; provoque des entérocolites hémorragiques chez les femelles gestantes (Chen et al., 2023).
- Coronavirus entérique (RECoV) : Responsable de syndromes de dépérissement avec mortalité de 100% chez les lapereaux sevrés, via une atrophie villositaire intestinale (Monteiro et al., 2024).

Tableau 4 : Principaux agents et leurs effets chez le lapin (Lebas, 1997; Harcourt-Brown, 2003; DUCHEMIN et al, 2010)

Agent pathogène	Origine fréquente	Effets cliniques	Population à risque	Gravité	Mesures préventives
<i>Escherichia coli</i>	Contamination fécale	Diarrhée sévère, septicémie	Lapereaux (<8 semaines)	Élevée (mortalité 30-70%)	Chloration (0.5 mg/L résiduel)
<i>Salmonella spp.</i>	Eaux stagnantes, rongeurs	Gastro-entérite hémorragique	Tous âges	Critique (zoonose)	Nettoyage quotidien des abreuvoirs
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Biofilms dans les circuits	Mammites, abcès cutanés	Femelles allaitantes	Moyenne	Remplacement des tuyaux par PEHD
<i>Clostridium perfringens</i>	Matières organiques en décomposition	Entérotoxémie foudroyante	Lapins stressés	Extrême (mortalité >80%)	Vaccination (si disponible)
VHD (Calicivirus)	Persiste 3 mois dans l'eau	Hémorragies multiviscérales	Non vaccinés	Foyers épidémiques	Vaccination obligatoire

Coronavirus entérique	Résiste 8 semaines dans l'eau	Diarrhée mucoïde, déshydratation	Sevrage (3-10 semaines)	Mortalité 100% sans soins	Isolement des cas
Parvovirus	Transmission oro-nasale	Anorexie, léthargie	Jeunes <4 mois	Variable	Désinfection à l'eau de Javel

4. Effets de modification dans la qualité de l'eau sur divers systèmes

Comme le soulignent Fortune-Lamothe et Gidene (2022), une eau contaminée ou inadaptée en élevage cynicole induit des perturbations systémiques touchant les fonctions digestives et urinaires, tout en compromettant la croissance et la reproduction. Comprendre ces effets est fondamental pour une gestion efficace de l'eau.

4.1 Effets sur le système digestif

Une eau de boisson de mauvaise qualité peut sérieusement perturber la santé digestive des lapins (tableau 5). Une hydratation insuffisante ralentit le péristaltisme intestinal, provoquant anorexie, constipation et émission de crottes dures. La présence de contaminants chimiques, notamment les nitrates et nitrites, perturbe le pH intestinal et l'équilibre de la flore microbienne, entraînant diarrhée, ballonnements et douleurs abdominales, avec un risque d'endotoxémie, de choc voire de décès. L'eau chargée en métaux lourds, quant à elle, peut induire une toxicité digestive ou hépatique, se manifestant par une faiblesse générale, une inappétence et, plus rarement, des vomissements, avec un risque d'atteinte systémique aiguë ou chronique. Enfin, une interruption de l'accès à l'eau supérieure à 12 heures peut entraîner un blocage digestif rapide, associé à une apathie, une absence de selles et des signes de douleur, nécessitant une prise en charge vétérinaire urgente.

Tableau 5 : Impact de la qualité de l'eau sur le système digestif chez le lapin (Harcourt-Brown, 2002; Nelson, 2020) on voit une bonne corrélation entre qualité de l'eau et troubles digestifs. Il montre les symptômes et la gravité.

Facteur lié à l'eau	Conséquence physiologique	Manifestations cliniques	Risques/Gravité
Déshydratation (quantité insuffisante)	Ralentissement du péristaltisme intestinal	Anorexie, constipation, crottes dures	Stase digestive (iléus) mortalité en 24–48h si non traité
Eau contaminée (nitrates, nitrites)	Modification du pH intestinal, déséquilibre microbien	Diarrhée, ballonnements, douleurs abdominales	Endotoxémie, choc, décès
Eau contenant des métaux lourds	Toxicité digestive et hépatique	Vomissements rares (si présents), faiblesse, inappétence	Atteinte systémique chronique ou aiguë
Interruption d'accès à l'eau >12h	Blocage digestif rapide	Apathie, absence de selles, grincement de dents	Intervention vétérinaire urgente requise

4.2 Effet sur le système urinaire

La qualité de l'eau influe directement sur la santé urinaire des lapins. Ces derniers éliminent une grande quantité de calcium par l'urine, ce qui les rend particulièrement sujets aux calculs vésicaux (tableau 6).

Tableau 6: Impact de la qualité de l'eau sur le système urinaire chez le lapin (Harcourt-Brown, 2002; Authority (EFSA), 2005)

Facteur lié à l'eau	Conséquence physiopathologique	Signes cliniques observables	Risques ou complications
Eau dure (riche en Ca^{2+} , Mg^{2+})	Dépôts de carbonate de calcium dans la vessie	Urine trouble avec sédiments blanchâtres, difficultés à uriner, hématurie	Dépôt urinaire, calculs, cystite
Eau contaminée (ammonium, nitrates)	Toxicité rénale, altération de la filtration	Léthargie, soif excessive, perte de poids	Néphrite, insuffisance rénale

Faible consommation d'eau	Concentration excessive de l'urine	Urine foncée, baisse de la diurèse	Formation de cristaux, obstruction urinaire
Métaux lourds (plomb, cadmium...)	Accumulation toxique dans les reins	Inappétence, douleur abdominale, déshydratation	Détérioration chronique de la fonction rénale

4.3 Incidence sur la croissance et la reproduction

La qualité de l'eau influence directement la croissance, la reproduction et la santé globale des lapins (tableau 7).

4.3.1 Réduction de la prise alimentaire et croissance ralentie

Une eau trop minéralisée (conductivité >2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ou contaminée (nitrites, métaux lourds) a un goût désagréable, ce qui dissuade les lapins de boire suffisamment entraînant une baisse de consommation allant vers une baisse de l'ingéré alimentaire (Lebas, 1997 ; EFSA, 2005) Une conductivité > 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (riches en Na^+ , Cl^-) induit une sensation de salinité, réduisant l'appétence hydrique de 30 % (Lebas, 1997).

4.3.2 Diminution de la fertilité et troubles reproducteurs

Chez les femelles, une eau contaminée par des nitrates (>50 mg/L) (EFSA, 2005) ou des bactéries (*E. coli*) réduit la fertilité et augmente les avortements (Authority (EFSA), 2005) Les nitrates (> 50 mg/L) sont convertis en nitrites dans le cæcum, provoquant une hypoxie tissulaire responsable d'avortements et de malformations fœtales

Déshydratation chez les lapines allaitantes → baisse de production laitière → mortalité accrue des lapereaux (Harcourt-Brown, 2002). Chez les lapins mâles exposés à une eau contenant du plomb (0,1 mg/L) avaient une qualité spermatique réduite (Inconnu, 2010).

Tableau 7 : Effets de la qualité de l'eau sur la croissance et la reproduction chez le lapin (fertilité, lactation, croissance). (Lebas, 1997; EFSA, 2005)

Facteur lié à l'eau	Conséquence physiologique	Effets sur la croissance	Effets sur la reproduction
Eau malodorante ou au goût désagréable	Baisse de la consommation hydrique et alimentaire	Croissance ralentie, perte de poids	Moins de chaleur détectée, baisse de fertilité
Eau contaminée (nitrates, sulfates)	Stress oxydatif, toxicité fœtale	Réduction de la conversion alimentaire	Retard pubertaire, anomalies congénitales, mortalité néonatale
Eau insuffisante ou mal distribuée	Déshydratation, thermorégulation altérée	Croissance bloquée en période chaude	Baisse de la lactation, portée réduite
Eau dure (excès de Ca ²⁺ , Mg ²⁺)	Effets indirects sur la digestion et la minéralisation	Absorption minérale perturbée, retard pondéral	Impact potentiel sur la qualité du lait

PARTIE EXPERIMENTALE

Objectif de l'étude

L'étude visait à évaluer la conformité de l'eau d'abreuvement par rapport aux normes OMS (2017) et ITAVI (2010) pour les paramètres physico-chimiques (pH, nitrates, métaux lourds) et microbiologiques (E. coli, entérobactéries).

1. Matériels et méthodes

1.1 Prélèvements

Un total de 8 prélèvements d'eau a été collecté au moyen de récipients en plastique ou en verre préalablement lavés et rincés plusieurs fois à l'eau distillée. Pour chaque élevage, deux sites d'échantillonnage ont été choisis pour la collecte de l'eau : En début de ligne au niveau du réservoir et en bout de ligne c'est-à-dire à l'extrémité de la ligne de pipettes.

1.2 Les élevages

Entre les mois d'avril et mai 2025, trois élevages cunicoles ont été visités en vue de la collecte d'échantillons d'eau de boisson. Deux de ces élevages sont situés dans la wilaya de Tizi Ouzou, tandis que le troisième se trouve dans la wilaya de Blida. La sélection de ces élevages a été motivée par des signalements de troubles sanitaires rapportés par les éleveurs, laissant supposer une possible implication de la qualité de l'eau dans l'apparition de ces pathologies.

La capacité moyenne de ces élevages est de 80 lapines reproductrices. Les animaux sont élevés en cages, nourris avec un aliment granulé, et disposent d'un accès à l'eau de boisson à volonté, distribuée par un système de pipettes.

1.3 Analyses de laboratoire

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eau collectés ont été réalisées au laboratoire de contrôle de la qualité de l'unité de Blida de l'Algérienne des Eaux (photo 1).



Photo 1. Préparation des échantillons en vue de leur analyse.

2.3.1 Analyse physico-chimique

Les analyses physico-chimiques réalisées dans le cadre de cette étude ont porté sur les paramètres suivants : pH, conductivité électrique, turbidité, ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), dureté totale et teneur en fer total.

2.3.1.1 Protocoles et appareillage pour l'analyse physico-chimique

- Le pH et conductivité

Le pH et la conductivité ont été mesurés par méthode directe à l'aide d'un pH-mètre (Photo 2) et d'un conductimètre, après étalonnage des appareils :

- Pour le pH : étalonnage à l'aide de solutions tampons standard de pH 4.01, 7.00 et 10.00
- Pour la conductivité : standard de calibration à 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les mesures ont été effectuées à température ambiante, en immersion directe de la sonde dans l'échantillon homogénéisé.



Photo 2 : pH-mètre de paillasse

- La turbidité

La turbidité a été déterminée par méthode néphélométrique, exprimée en unités NTU (Nephelometric Turbidity Units).

- Des standards de formazine (0,1 à 4000 NTU) ont été utilisés pour l'étalonnage de l'appareil (photo 3)
- Les échantillons ont été homogénéisés avant chaque lecture pour garantir la représentativité de la mesure.



Photo 3 : Appareille pour la mesure de la turbidité de l'eau.

- Dosage des composés azotés (nutriments)
 - Ammonium (NH_4^+) : dosage par méthode au salicylate, avec lecture spectrophotométrique à 655 nm.
 - Nitrites (NO_2^-) : dosage par méthode à la phénylènediamine, avec lecture à 540 nm.
 - Nitrates (NO_3^-) : réduction en nitrites suivie d'une détection colorimétrique, également par spectrophotométrie.
- La dureté

La dureté totale de l'eau a été déterminée par titrage complexeométrique à l'EDTA en présence de tampon à pH 10 et d'un indicateur coloré (noir ériochrome T). La fin de la réaction est identifiée par le changement de couleur de rose à bleu.

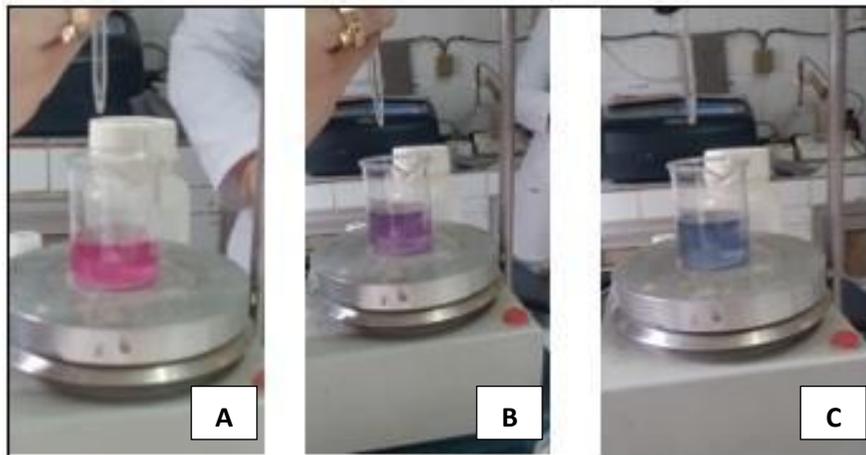


Photo 4 : Détermination de la dureté de l'eau. A : Avant l'équivalence, C : point d'équivalence

- Fer total

La teneur en fer total a été déterminée par méthode colorimétrique à la 1,10-phénanthroline, avec lecture spectrophotométrique à 510 nm. Avant la mesure, le fer ferrique (Fe^{3+}) a été réduit en fer ferreux (Fe^{2+}) à l'aide d'hydroxylamine chlorhydratée ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$). La formation du complexe fer-phénanthroline, de couleur orangée, permet une quantification précise du fer total présent dans l'échantillon.

2.3.2 Analyse bactériologique

- Matériels

Afin de réaliser les analyses bactériologiques, nous avons utilisé le matériel et les équipements listés dans le tableau 8.

Tableau 8. Matériels utilisés lors de l'analyse bactériologique.

MATERIEL STERILE	EQUIPEMENT	Réactifs et milieux de culture
<ul style="list-style-type: none"> - Tubes à essai. - Boîtes de Pétri simples et compartimentées à usage unique. - Pipettes Pasteur. - Eprouvettes de 250 ml, 500ml, 1000ml. - Erlenmeyers de 250ml, 500ml, 1000ml. - Flacons de 250 ml. Lames. - Bêchers. - Micropipettes 20-200 µl, 1000 µl - Anse de platine. - Seringues stériles - Embouts - Microtubes 	<ul style="list-style-type: none"> - Bec bunsen. - Bain Marie - Vortex. - Microscope optique - Autoclave - Etuves (30°C,37°C, 44°C) - Balance de précision - Compteur de colonies. - Réfrigérateurs. - Agitateur magnétique chauffant. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eau distillée. - Eau Peptoné Tamponnée - Alcool éthylique 96°. - Réactif de Kovacs. - Eau oxygénée H₂O₂. - Rouge de méthyle (RM). - VogesProskauer (VP1 et VP2). - Violet de gentiane. - Lugol. - Fuchsine. - Bouillon cœur cervelle. - Milieu Clark et Lubs. - Milieu Urée Indole. - Milieu Citrate de Simmons. - Milieu (TSI). - Géloses : GN, PCA, EMB, VRBG, VRBL

Recherche et dénombrement des flores bactériennes

- Préparation des solutions mère et des dilutions

La préparation des échantillons est réalisée selon les directives de la norme internationale ISO 6887-1 : 1999 (F) et AFNOR (NFV08-201).

25 ml de chaque échantillon ont mélangé à raison de 1/10 avec de l'Eau Salée Tryptone (TSE).

A partir des solutions mères, des dilutions décimales ont été réalisées, en transférant

aseptiquement 1ml de la solution mère dans des tubes contenant 9ml d'eau physiologique stérile.

Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale FMAT

La recherche de la FMAT est réalisée selon la **norme VJV 08-051, 1999**. La méthode utilisée est l'ensemencement en profondeur en gélose PCA (plate count agar) qui consiste à dénombrer les microorganismes viables présents dans l'échantillon. Elle s'effectue en ensemençant 1ml de dilutions (3 dilutions préparées) dans une boîte de Pétri à laquelle est ajoutée 10 à 15 ml de gélose PCA, maintenue liquéfiée à environ 45°C. Les boîtes de Pétri sont ensuite agitées selon le schéma en spirale des 6 cercles afin de répartir uniformément les bactéries dans le milieu de culture et vise à faciliter la formation de colonies isolées, permettant ainsi le dénombrement et l'étude des bactéries.

Après solidification, une deuxième couche (couche protectrice) est coulée pour empêcher le développement d'éventuelles flores de contamination superficielle.

Le milieu de culture étant non sélectif, toutes les espèces de bactéries aérobies non exigeantes peuvent croître et ainsi être dénombrées. L'incubation des boîtes est effectuée à 30°C pendant 72h. Après l'incubation, seulement les boîtes contenant entre 30 à 300 colonies sont prises en considération pour le dénombrement. Les résultats sont exprimés en UFC/ml (unité formant colonies).

Dénombrement des entérobactéries

Le dénombrement des entérobactéries est réalisé selon la norme NF ISO 21528-2. Le milieu utilisé est la gélose VRBG (violet red bile glucose agar). L'ensemencement en profondeur est effectué de la même manière que décrite précédemment. L'incubation des boîtes est réalisée à une température de 30°C pendant 48h. Après incubation les boîtes contenant les colonies caractéristiques des entérobactéries (colonies rose à rouge) sont utilisées pour le dénombrement. Les résultats sont exprimés en UFC/ml (unité formant colonies).

- **Dénombrement d'*Escherichia coli***

L'espèce *E coli* a été recherchée et dénombrée selon AFNOR NF V08-060 et V08-017), la recherche a été réalisée sur milieu VRBL.

Sur le même principe, les dilutions décimales ensemencé en double couche et en profondeur dans des boîtes de Pétri avec la gélose VRBL. Les boîtes ont été ensuite incubées à 44 °C pendant 48 heures. Les colonies caractéristiques (rouge-violet) sont dénombrées et 3 colonies sont prélevées chaque échantillon, un isolement sur milieu gélosé éosine et bleu de méthylène (EMB) coulé en boîte de Pétri compartimentée a été réalisé et incubé à 37°C pendant 24heures.

Les colonies ayant fait virer l'indicateur coloré du milieu EMB donnant des colonies caractéristiques ont été repiquées sur gélose nutritive inclinée (GNI), incubées à 37°C pendant 24h, puis conservées à +4°C.

A partir de ces cultures pures, une suite d'identifications biochimiques d'*E. coli* ont été effectuées par les tests biochimiques classiques.

- **Identification bactérienne**

Cette confirmation bactérienne s'est effectuée par une étude microscopique et une identification des caractères biochimique. Ces analyses ont concerné l'identification d'*E coli* isolée du milieu VRBL.

➤ **Etude microscopique**

Toutes les souches récoltées du milieu (VRBL et EMB) ont subi une coloration de Gram afin de mettre en évidence la morphologie bactérienne, l'aspect pariétale et le mode de regroupement des bactéries.

➤ **Etude des caractères biochimiques**

Plusieurs tests biochimiques ont été réalisés afin d'identifier les entérobactéries isolées à partir des échantillons d'eau :

- Fermentation du glucose et du lactose : réalisée sur milieu TSI (Triple Sugar Iron), permettant également la détection de gaz et de H₂S. L'ensemencement s'effectue par piqûre dans le culot et strie sur la pente, avec incubation à 37 °C pendant 24 h.
- Utilisation du citrate : testée sur milieu citrate de Simmons. Une réaction positive, indiquée par un bleuissement du milieu, révèle l'utilisation du citrate comme unique source de carbone. Incubation à 37 °C pendant 1 à 5 jours.

- Production d'uréase et d'indole : détectée sur milieu urée-indole. L'activité uréasique provoque une coloration rose du milieu (augmentation du pH). La production d'indole est mise en évidence par l'apparition d'un anneau rouge après ajout du réactif de Kovacs.
- Réaction de Voges-Proskauer (VP) : réalisée sur bouillon Clark-Lubs, ce test met en évidence la production d'acétoïne. Une coloration rose ou rouge indique une réaction positive.
- Test au rouge de méthyle (RM) : utilisé pour détecter une fermentation acide du glucose. Une coloration rouge après ajout de rouge de méthyle indique une acidification marquée du milieu.
- Méthodes utilisées pour l'expression des résultats

L'estimation du nombre de bactéries dénombrées en UFC/ml de la FMAT et entérobactéries se fait suite à l'application des formules de calcul selon les directives utilisées (norme ISO et AFNOR)

Le nombre de bactéries en (UFC/ml) est calculé selon la formule suivante :

$$N = \sum c / 1,1 \times d$$

Où :

- **N** : nombre de germes en (UFC/ml).
- **c** : nombre de colonies des dilutions retenues.
- **d** : taux de dilution de la première boîte retenue.
- **1,1** : coefficient d'absorption d'erreur

Le nombre des bactéries d'*E. coli* sur milieux VRBL est calculé selon la formule suivante :

$$N = nE \times nd \times 10x / np$$

Où :

- **10x** : l'inverse du taux de dilution correspondant.
- **nE** : le nombre de colonies d'*E. coli* identifiées.
- **nd** : le nombre de colonies caractéristiques dénombrées.
- **np** : le nombre de colonies caractéristiques prélevées.

*Dans le cas où plusieurs boîtes ont été retenues, on effectue la moyenne des résultats

2. Résultats et discussion

2.1 Résultats et discussion des paramètres physicochimiques

Les résultats physicochimiques des trois élevages sont consignés dans le tableau 9.

Tableau 9. Résultats physico-chimiques de l'eau des trois élevages.

Paramètres	Sites de prélèvement		Valeurs préconisées (ITAVI, 2010 ; norme algérienne)
	Réservoir	En bout de ligne	
PH	7,47 ± 0,16	7,78±0,18	5,5 < pH < 7,5
Conductivité (µS/cm)	741,60 ±252,60	679,00±262,23	< 1200
Turbidité (NTU)	13,42±27,18	1,28 ±0,26	< 5
Température (°C)	16,88±1,26	15,67±1,59	10-20
Fer (mg/L)	0,01 ± 0,0	0,01±0,0	≤ 0,2
Nitrite (NO ₂ ⁻) (mg/L)	0,01 ± 0,0	0,1±0,17	≤ 0,1
TH (mg/L CaCO ₃)	286,73 ± 54,96	285,35±33,11	100 - 150
Ammonium (NH ₄ ⁺) (mg/L)	0,08 ±0,10	1,68±1,45	≤ 0,5
Nitrate (NO ₃ ⁻) (mg/L)	12,29±6,66	8,75±7,41	≤ 50

Les résultats montrent que le pH mesuré varie de 7,47 ± 0,16 (réservoir) à 7,78 ± 0,18 (en bout de ligne). Ces valeurs dépassent légèrement la limite supérieure recommandée par l'ITAVI (2010), fixée entre 5,5 et 7,5. Un pH légèrement alcalin peut affecter la solubilité des éléments nutritifs et altérer l'équilibre de la flore digestive, notamment chez les lapins en croissance (Gidenne, 2015). Cependant, La conductivité électrique reste inférieure à la limite maximale

de 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec $741,60 \pm 252,60 \mu\text{S}/\text{cm}$ au réservoir et $679,00 \pm 262,23 \mu\text{S}/\text{cm}$ en bout de ligne. Ces valeurs traduisent une minéralisation modérée compatible avec l'abreuvement des animaux (OMS, 2022 ; NA 6361, 2018).

La turbidité, conforme en bout de ligne ($1,28 \pm 0,26 \text{ NTU}$), est toutefois élevée au niveau du réservoir ($13,42 \pm 27,18 \text{ NTU}$), largement au-dessus de la limite de 5 NTU. Une eau turbide peut héberger des agents pathogènes, interférer avec les traitements de désinfection et nuire à la santé digestive des animaux (Travel et al., 2006 ; OMS, 2022).

La température de l'eau, comprise entre $15,67 \pm 1,59 \text{ }^\circ\text{C}$ et $16,88 \pm 1,26 \text{ }^\circ\text{C}$, reste dans l'intervalle optimal de 10 à 20 $^\circ\text{C}$ recommandé pour l'eau potable (ITAVI, 2021), favorisant ainsi une consommation normale et limitant la prolifération microbienne (Lebas, 1996).

Pour les métaux, notamment en fer total est négligeable ($0,01 \text{ mg}/\text{L}$), très inférieure au seuil de $0,2 \text{ mg}/\text{L}$, ce qui écarte le risque de coloration, de mauvais goût ou de précipitation dans les conduites (OMS, 2022).

En revanche, la présence de nitrites (NO_2^-) en bout de ligne ($0,1 \pm 0,17 \text{ mg}/\text{L}$) atteint le seuil limite recommandé ($0,1 \text{ mg}/\text{L}$). Les nitrites sont des composés toxiques même à faibles doses, pouvant altérer la flore intestinale et induire un stress physiologique important chez le lapin (De Blas & Wiseman, 2010).

La dureté totale (TH), très élevée dans les deux cas ($\sim 285 \text{ mg}/\text{L CaCO}_3$), dépasse largement les valeurs recommandées de 100 à 150 mg/L . Une eau trop calcaire favorise l'entartrage des systèmes d'abreuvement, altère le goût de l'eau et peut réduire la consommation, en particulier chez les jeunes animaux (Lebas, 1996 ; ITAVI, 2021).

La concentration en ammonium (NH_4^+) est conforme au réservoir ($0,08 \pm 0,10 \text{ mg}/\text{L}$), mais très élevée en bout de ligne ($1,68 \pm 1,45 \text{ mg}/\text{L}$), largement au-dessus de la limite de $0,5 \text{ mg}/\text{L}$. Cette élévation peut résulter d'une dégradation de matière organique ou d'une stagnation dans les conduites, augmentant le risque de prolifération bactérienne (Hapke, 2000 ; OMS, 2022).

Enfin, les nitrates (NO_3^-) restent bien en dessous du seuil maximal fixé à $50 \text{ mg}/\text{L}$, avec $12,29 \pm 6,66 \text{ mg}/\text{L}$ au réservoir et $8,75 \pm 7,41 \text{ mg}/\text{L}$ en bout de ligne, ce qui est conforme aux normes internationales et n'induit pas de risque pour la santé animale.

2.2 Résultats et discussion de l'analyse bactériologique

Les résultats des analyses bactériologiques de l'eau d'abreuvement réalisés aux deux points de prélèvement (réservoir et bout de ligne), sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10. Résultats bactériologiques des trois élevages selon le site de prélèvement

Sites de prélèvement	Flore mésophile totale (UFC)	Entérobactéries (UFC)	<i>E coli</i> (UFC)
Réservoir	3.10^3 - $7,5.10^4$	$3,6.10^2$ - $6,1.10^3$	0
En bout de ligne	$4,0.10^1$ - 15.10^2	10^2	0

La flore mésophile totale observée au niveau du réservoir varie de $3,0 \times 10^3$ à $7,5 \times 10^4$ UFC/mL, ce qui représente une charge microbienne élevée, traduisant une probable contamination organique ou un manque d'entretien du réservoir. En revanche, les valeurs relevées en bout de ligne sont nettement plus faibles, comprises entre 40 et 1500 UFC/mL, ce qui reste dans des limites plus acceptables. Selon les recommandations de l'ITAVI (2010) et de l'OMS (2022), l'eau de boisson destinée aux animaux ne devrait pas dépasser 1000 UFC/mL pour la flore totale ; au-delà, elle est considérée comme de qualité médiocre.

Les entérobactéries, indicatrices de contamination fécale ou environnementale, sont présentes dans les deux points de prélèvement. Leur concentration est comprise entre $3,6 \times 10^2$ et $6,1 \times 10^3$ UFC/ml au réservoir, et à 10^2 UFC/ml en bout de ligne. Ces résultats indiquent une contamination significative, probablement liée à une stagnation, à des biofilms dans le système de distribution, ou à un manque de nettoyage des installations hydrauliques. En règle générale, les entérobactéries ne doivent pas être détectées dans une eau potable de qualité (OMS, 2022).

En ce qui concerne *Escherichia coli*, aucune souche n'a été détectée dans les échantillons, que ce soit au niveau du réservoir ou en bout de ligne. L'absence d'*E. coli* est un indicateur important, traduisant l'absence de contamination fécale.

Conclusion et Recommandation

En conclusion, l'évaluation de la qualité de l'eau de boisson dans les trois élevages cunicoles a révélé certaines non-conformités. Bien que certains paramètres physico-chimiques soient globalement satisfaisants. Cependant, des anomalies ont été relevées telles que la turbidité élevée, dureté excessive, et présence de nitrites et d'ammonium en bout de ligne. Sur le plan bactériologique, la présence élevée de flore mésophile et d'entérobactéries au niveau des réservoirs indique une hygiène insuffisante et un risque sanitaire potentiel pour les lapins.

En recommandation, il est important d'améliorer les points suivants :

- Nettoyer et désinfecter régulièrement les réservoirs et les lignes d'abreuvement.
- Installer des filtres ou systèmes anticalcaire pour limiter la dureté.
- Effectuer un suivi semestriel de la qualité de l'eau (analyses physico-chimiques et microbiologiques).
- Sensibiliser les éleveurs à l'importance de l'eau comme facteur de santé et de performance

Références bibliographiques

1. **Adeboye-adejare, 2021** : Remington The Science and Practice of Pharmacy 23rd edition.
2. **Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). (2022)**. Avis relatif à l'évaluation des risques liés à la présence de cadmium, plomb, arsenic inorganique et aluminium dans les denrées alimentaires.
3. **Agathe Euzen, Catherine Jeandel et Rémy Mosseri, 2018** : EUZEN, Agathe (dir.) ; JEANDEL, Catherine (dir.) ; et MOSSERI, Rémy (dir.). L'eau à découvert. Nouvelle édition [en ligne]. Paris : CNRS Éditions.
4. **ANSES. (2022)**. Guide des bonnes pratiques hygiéniques en cuniculture. Fiche Technique Série Eau/SA.2022.
5. **ANSES. (2023)**. Recommandations pour la désinfection des circuits d'eau en élevage. Maisons-Alfort.
6. **Attia, K. E., El-Din, A. E. T., & El-Sayed, Y. S. (2020)**. Nitrate-induced oxidative stress and histopathological alterations in tissues of growing rabbits: Protective role of ascorbic acid. Environmental Science and Pollution Research.
7. **Benhammou, S. (2023)**. Étude de la neurotoxicité du plomb chez le lapin: mécanismes et biomarqueurs.
8. **Boudry, G., Douard, V., Mourot, J., Lalles, J. P., & Le Huerou-Luron, I. (2018)**. Water hardness does not affect weaned piglet growth performance or small intestinal permeability. Animal.
9. **Boukhari, 2020**. Quality assessment of harvested rainwater in Blida region: Implications for agricultural use. Algerian Journal of Environmental Science and Technology.
10. **Cervera, C., Fernández-Carmona, J., Sabater, C., & Blas, E. (2008)**. Effect of heat stress and water restriction on renal function of rabbits. World Rabbit Science.
11. **Cui, H., Zhang, C., Liu, Q., Liu, Z., & Wang, S. (2021)**. Effects of ammonia exposure on growth performance, intestinal microbiota and barrier function, and inflammatory responses in weaned rabbits. Ecotoxicology and Environmental Safety.
12. **De Blas et Wiseman, 2010**. Nutrition of the Rabbit, 2nd Edition.
13. **Despotovic, 2019**. Hygienic assessment of rainwater harvesting in rural areas: Contamination pathways and health risks. Journal of Environmental Management.

14. **DUCHEMIN, Jacky MANIA, Antoine MONTIEL, Michèle VIALETTE, Jean-Pierre GANIERE et al, 2010.** État des lieux des pratiques et recommandations relatives à la qualité sanitaire de l'eau d'abreuvement des animaux d'élevage, anses.
15. **EMA (2019).** Guideline on the Quality of Water for Veterinary Use.
16. **European Food Safety Authority (EFSA). (2005).** Opinion on nitrate in vegetables. EFSA Journal.
17. **European Food Safety Authority (EFSA). (2020).** Lead dietary exposure in the European population. EFSA Journal.
18. **F. Lebas, 1996.** Le lapin : élevage et pathologie. Collection FAO.
19. **Fortun-Lamothe, L., & Gidenne, T. (2022).** Digestive physiology and nutritional needs. In: The Nutrition of the Rabbit (3rd ed.).
20. **G. Coon, 2013.** Rabbit tracks, Water. 4-H YOUTH DEVELOPMENT • MICHIGAN STATE UNIVERSITY EXTENSION.
21. **Gidenne, T. (2016).** Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit. World Rabbit Science.
22. **Gidenne, T. (2016).** Mineral nutrition in rabbits: Calcium-phosphorus balance.
23. **Gidenne, T., Garreau, H., & Fortun-Lamothe, L. (2021).** Viral pathogen reduction in rabbit drinking water. World Rabbit Science.
24. **Gidenne, T., & Feugier, A. (2009).** Feed restriction strategy in the growing rabbit. Animal.
25. **Gidenne, 2015.** Le lapin, de la biologie à l'élevage. éditions Quæ.
26. **Guergazi et Achour, 2005.** Contribution à l'étude hydrogéologique et qualitative des eaux souterraines à Blida.
27. **Gupta, R. C. (Ed.). (2018).** Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles (3rd ed.).
28. **Guyton et Hall, 2021.** Pocket Companion to Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology (14th ed.).
29. **Harcourt-Brown, 2002.** Textbook of Rabbit Medicine. Oxford.
30. **Heinrich, 2022.** Water Quality Management in Commercial Rabbit Husbandry. Cuniculture Magazine.
31. **ITAVI, 2010.** Eau de boisson en élevage cunicole. ITAVI.
32. **Anonyme, 2010.** Eau de boisson en élevage cunicole. ITAVI.
33. **Anonyme, 2010.** Poisoning with Heavy Metal in Rabbits. PetMD.
34. **Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE). (2023).** Transfert des contaminants dans les chaînes alimentaires.

35. **INRAE. (2022).** Acidification des eaux d'abreuvement: alternatives au vinaigre. Rapport Technique No. 2022-04.
36. **Jondreville, C., Revy, P. S., & Lessire, M. (2021).** Qualité de l'eau d'abreuvement. In: Nutrition des animaux monogastriques.
37. **Kichou, F., Moussafir, Z., & Stour, L. (2020).** Dietary factors influencing urolithiasis in rabbits. World Rabbit Science.
38. **Kichou, F., Moussafir, Z., & Stour, L. (2020).** Water hardness as a risk factor for urinary calculi. World Rabbit Science.
39. **Klasing, K. C. (2005).** Mineral Nutrition. In: Clinical Biochemistry of Domestic Animals.
40. **Lauren Jones, 2023.** GI STASIS IN RABBITS, Rabbit Advocates.
41. **Marai, Habeeb and Gad, 2002.**
42. **Martinez, N., Risco, C. A., & Santos, J. E. P. (2022).** Effect of magnesium source on macromineral metabolism. Journal of Dairy Science.
43. **Meredith et Lord, 2014.** BSAVA manual of rabbit medicine.
44. **Olszewska, 2020.** Biofilm Dynamics in Rabbit Hydration Systems. Applied and Environmental Microbiology.
45. **Oula, 2014.** Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.
46. **Parlement européen. (2020).** Directive (UE) 2020/2184. Journal officiel de l'UE.
47. **Pignon, 2021.** Urolithiasis in Rabbits: Diagnosis and Management. Journal of Veterinary Internal Medicine.
48. **Quesenberry, K.E. & Carpenter, J.W. (2020).** Ferrets, Rabbits and Rodents: Clinical Medicine and Surgery (4^e éd.).
49. **R.G.York et al 2001.** Oral Toxicity Study of Ammonium Perchlorate in Rabbits.
50. **Sanz, E., Villamide, M. J., Cervera, C., & Blas, E. (2004).** Effect of diet and water supply on rabbit does. World Rabbit Science.
51. **Sherwood, Hillis et Ward, 2016.** Animal Physiology: From Genes to Organisms.
52. **Steven D. Lukefahr 2022.** Rabbit Production 10th edition.
53. **Trocino, A., Birolo, M., & Xiccato, G. (2023).** Economic impact of water quality in rabbit farms. Animal.
54. **Trocino, A., Zomeño, C., Birolo, M., Radaelli, G., Ballarin, C., & Xiccato, G. (2020).** Effects of feed restriction and enrichment on rabbits. Applied Animal Behaviour Science.
55. **WHO, 2017.** Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition.

56. **Wilkinson, J. M. (2019).** Re-evaluating the water requirements of livestock. *Animal*.
57. **World Health Organization (WHO), (2017).** Guidelines for drinking-water quality. Geneva.
58. **Tabler, G.T., 2003.** Water quality and broiler performance. University of Arkansas, Cooperative Extension Service, *Avian Advice*, 5(4), pp.1–4.
59. **Hapke, H.J., 2000.** Pharmacotoxicology of drinking water contaminants in animals. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Production Diseases in Farm Animals*. Wageningen Academic Publishers, pp. 245–250.
60. **Travel, C., Madec, J.Y. and Leclercq, A., 2006.** Water: a neglected route of transmission for pathogenic microorganisms in livestock. *Revue scientifique et technique (OIE)*, 25(2), pp. 499–512.