INTRODUCTION

En Afrique centrale, la forte pression démographique urbaine impose la diversification et l'intensification des filières d'élevage (poule, porc, lapin, cobaye…). Ces espèces présentent une grande vulnérabilité aux polluants environnementaux, en premier lieu les métaux lourds et éléments traces métalliques (Cadmium, Plomb, Arsenic, Mercure, Fluor, Nikel). Dépourvus de fonction bénéfique chez l'animal comme chez l'Homme, ces éléments sont non biodégradables et sujets à la bioaccumulation comme à la bioamplification le long de la chaîne trophique (Benard, 2006 ; Gimou et *al*., 2014 ; Aljohani, 2023). Les travaux de Keutchatang et *al*. (2026), menés dans les régions du Centre, du Littoral et de l'Ouest du Cameroun, ont révélé une contamination alarmante des denrées animales : cadmium musculaire jusqu'à 29,6 µg/kg (seuil : 10 µg/kg), chrome jusqu'à 60,4 µg/kg dans le muscle et 15,0 µg/kg dans le foie, et bioaccumulation hépatique extrême de mercure (798,3 à 845,5 µg/kg, pour une limite de 3 µg/kg, soit plus d'un ordre de grandeur au-dessus). Chez 900 ménages, les quotients de danger (THQ > 1) et l'indice de risque global (HRI) dépassent les seuils de sécurité chez les enfants, les adolescents et les personnes âgées grandes consommatrices, surtout sous l'effet du mercure et du cadmium, tandis que le risque cancérogène (ILCR) excède le seuil de tolérance pour le Cadmium, le Plomb, l'Arsenic. Ces résultats corroborent les alertes antérieures sur les provendes commerciales et les abats (Keutchatang et *al*., 2023 ; Keutchatang et *al*., 2022, 2025). L'équipe Tchoffo, Ngoula et collaborateurs a décrit les atteintes induites : la tératogénicité fœtale et la résorption embryonnaire sous plomb chez le cobaye (Deutcheu et *al*., 2019, 2020, 2023), perturbations hormonales sous chrome hexavalent (Chongsi et *al*., 2019), effets des pyréthrinoïdes (Adam et *al*., 2020) et toxicité spermatique sous Antouka Super® (Ngoula et *al*., 2017 ; Ngoumtsop et *al*., 2017, 2021). Il importe de renforcer la maîtrise des métaux dans l'environnement afin de garantir la santé humaine, laquelle dépend de la salubrité des aliments d'origine animale, elle-même conditionnée par la santé du cheptel et la qualité écologique des sols, des eaux et de l'air.

1. Définition intégrée générale d'un métal lourd

Un « métal lourd » (ou plus rigoureusement *Élément Trace Métallique* / *Élément Potentiellement Toxique*) est un élément atomique métallique ou métalloïde d'origine naturelle, caractérisé par une masse volumique élevée ($\geq$ 4,5 à 5 g/cm^3), une non-biodégradabilité absolue, une forte réactivité de coordination avec les biomolécules (notamment les ligands soufrés), et une propension marquée à la bioaccumulation et à la toxicité cellulaire à de très faibles doses d'exposition.

2. Classification toxicologique de métaux présents dans la nature

2.1. Les Oligoéléments Essentiels

Les oligoéléments Essentiels (**Fer, Cuivre, Zinc, Manganèse, Molybdène, Cobalt, Sélénium, Iode)** sont des éléments minéraux indispensables au métabolisme, à la croissance, à l'immunité et à la reproduction des organismes vivants. Ils agissent principalement comme cofacteurs d'enzymes vitales ou composants structuraux (comme le fer dans l'hémoglobine ou l'iode dans les hormones thyroïdiennes).

2.2. Les Métaux Lourds Toxiques (Xénobiotiques / Contaminants)

Les Métaux Lourds Toxiques (**Cadmium, Plomb, Arsenic, Mercure…)** sont des éléments minéraux (ou métalloïdes) n'ayant **aucune fonction biologique ou physiologique bénéfique connue** chez l'animal ou l'être humain. Ils se caractérisent par une toxicité cellulaire élevée dès de très faibles doses d'exposition.



Figure 1 : Métaux Lourds Toxiques

3. Origines des métaux lourds

Les métaux lourds et éléments traces métalliques (ETM) proviennent de deux grands réservoirs : une composante naturelle (dite géogénique) et une composante issue des activités humaines (anthropique).

3.1. Origines naturelles (géogéniques)

Les métaux sont des constituants fondamentaux de l'écorce terrestre. Leur libération dans les sols, l'eau et l'atmosphère dépend de dynamiques géologiques :

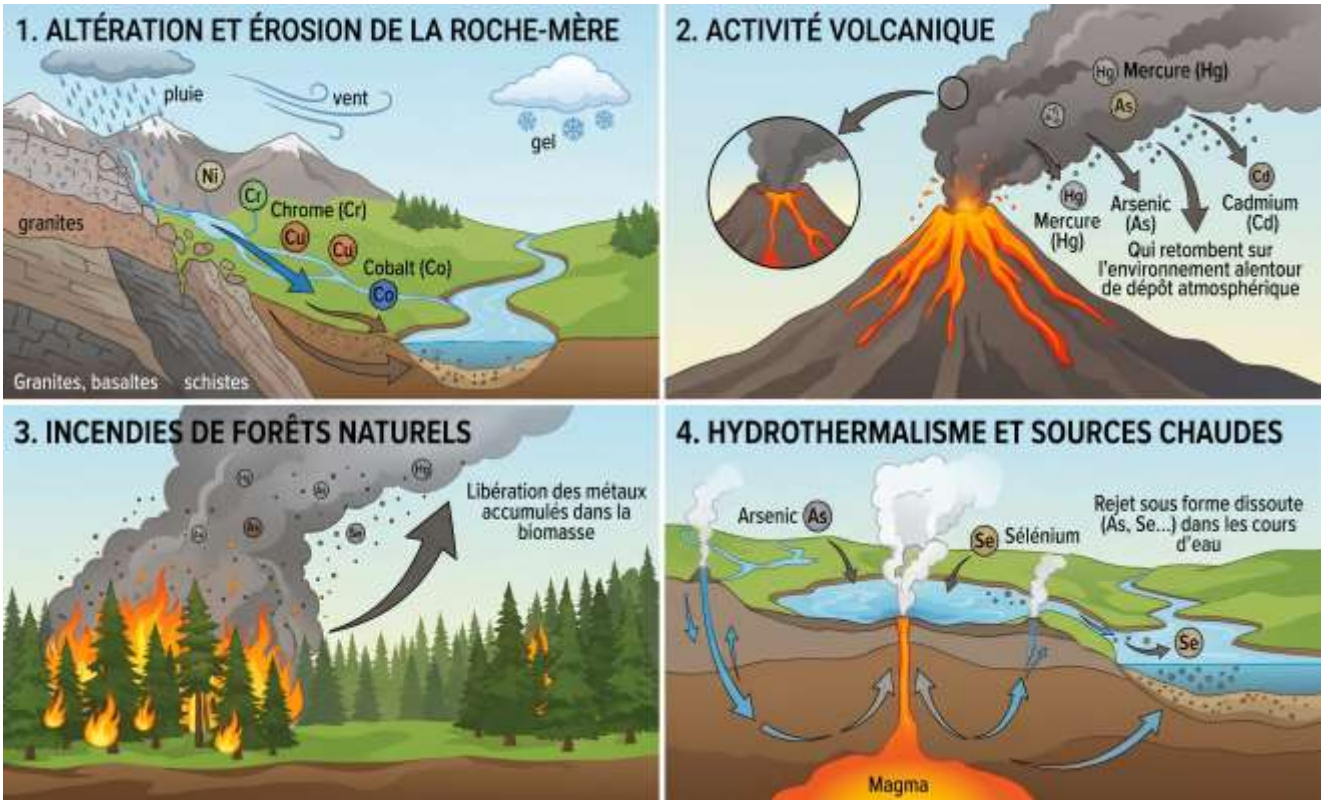

Figure 2 : Principales origines naturelles (géogéniques) de la libération des métaux lourds dans l'environnement

3.2. Origines anthropiques

Les rejets générés par l'homme dépassent aujourd'hui très largement les flux naturels pour la plupart des métaux lourds toxiques (plomb, cadmium, mercure).

- **A) Mines et métallurgie :** le drainage minier acide libère As, Cd, Zn et Cu dans les rivières ; les fumées de fonderies dispersent des poussières de Pb, Cd, Ni et Zn sur de longues distances.
- **B) Agriculture :** engrais phosphatés (Cd), pesticides à base de Cu ou, historiquement, d'As, déjections d'élevage riches en Cu et Zn, boues d'épuration chargées de métaux traces.
- **C) Industrie, chimie et énergie :** la combustion du charbon (première source mondiale de Hg et As) et des produits pétroliers (V, Ni) ; stabilisants et pigments (Cd, Pb, Cr) des plastiques et peintures ; galvanoplastie et tannage au chrome.
- **D) Transports et urbanisme :** essence au plomb (historique), usure des freins (Cu, Pb, Sb) et des pneus (Zn), canalisations anciennes en plomb ou galvanisées.
- **Déchets :** incinération défaillante (Hg, Pb, Cd) ; brûlage sauvage des Déchets électriques et électroniques, piles Ni-Cd et batteries au plomb qui contaminent sols et nappes.

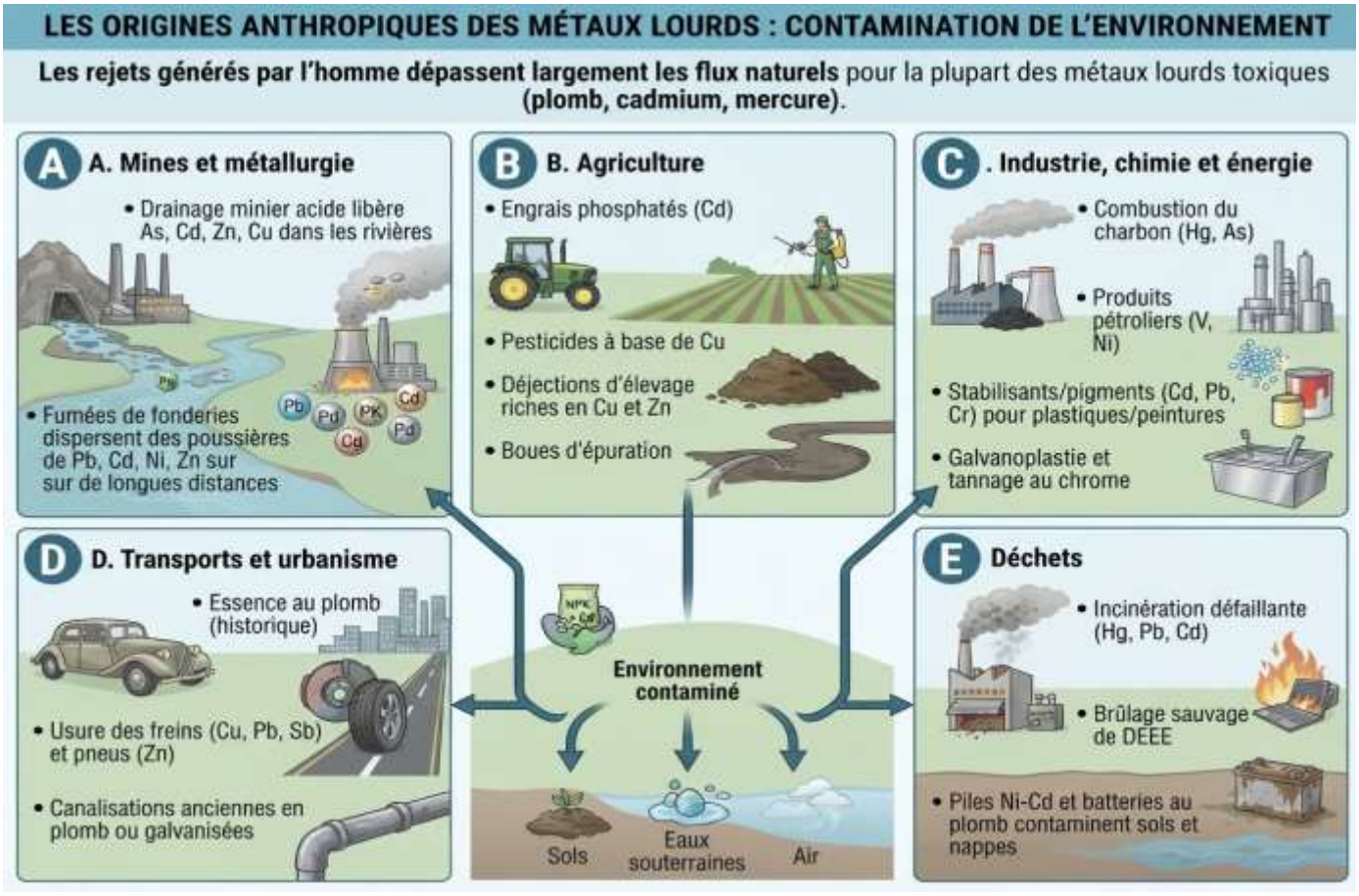

Figure 3 : Les six métaux lourds et métalloïdes les plus toxiques pour la santé et l'environnement

4. Diversité des espèces domestiques les plus exposés au métaux lourds

L'analyse intégrée de la salubrité alimentaire et environnementale ne peut donc se restreindre au seul poulet de chair (*Gallus gallus domesticus*). Elle doit impérativement englober l'ensemble des espèces qui structurent l'économie vivrière et font l'objet d'investigations toxicologiques et zootechniques rigoureuses.

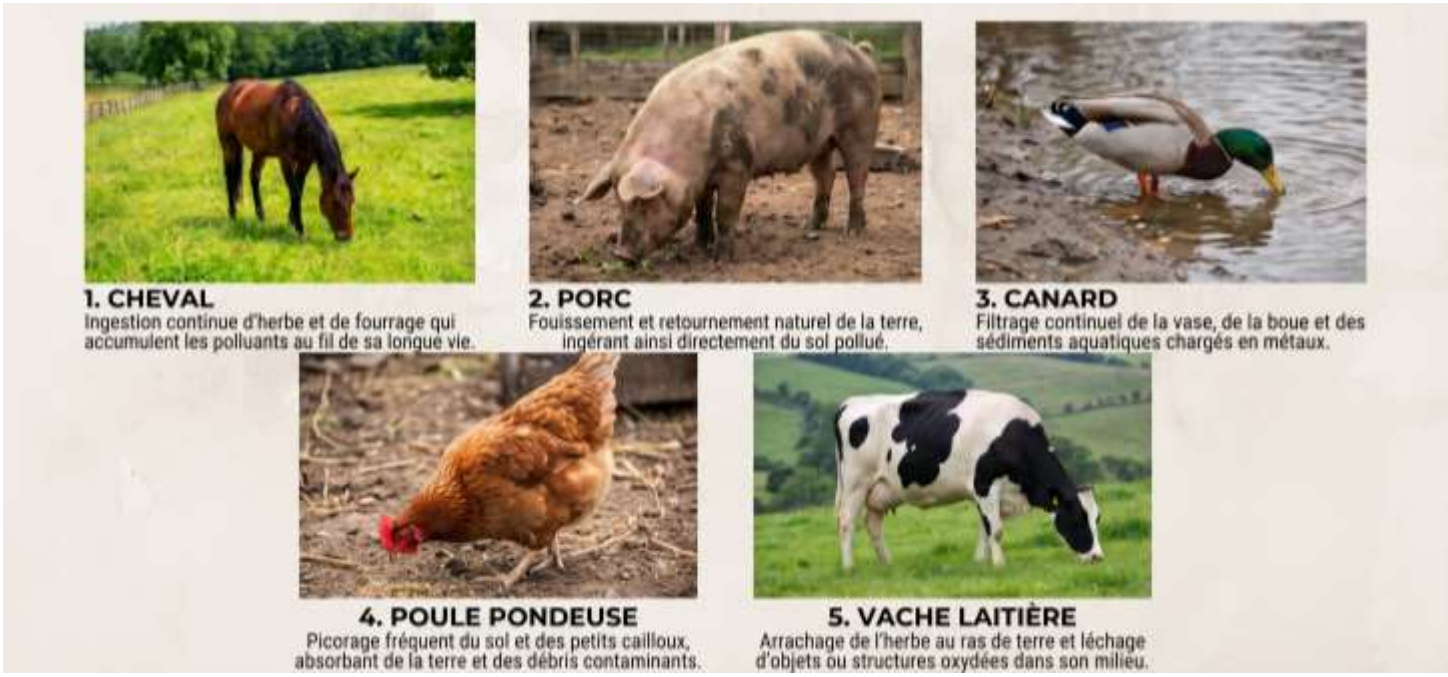



Figure 4 : Animaux domestiques les plus exposés aux métaux lourds

5. Voies d'entrée et d'exposition des animaux au métaux lourds

La pénétration des métaux lourds dans l'organisme animal s'effectue principalement par trois voies :

5.1.La voie digestive (orale) — *Voie majeure (> 90 % des cas*) :

- **Aliments, sol, eau :** fourrages contaminés ou farines de poisson riches en méthylmercure ; géophagie involontaire (pâturage ras, fouissage des porcs, picorage des volailles) ; eau d'abreuvement polluée ; léchage de poussières de plomb.

5.2.La voie respiratoire (inhalation) :

- Inhalation de poussières et d'aérosols (Pb, Ni, Cd), avec absorption alvéolaire très rapide qui court-circuite le foie.

5.3. La voie cutanée (transcutanée) — *Voie mineure* :

- Contact avec boues, produits chimiques ou bains de chrome hexavalent, favorisé par les plaies cutanées.

6. Cibles Tissulaires et Impacts Pathologiques des métaux lourds chez les animaux

Tableau 2 : Cibles Tissulaires et Impacts Pathologiques

Organe / Tissu Cible	Métaux Lourds Prédominants	Type d'Atteinte & Pathologie Associée
Reins (Cortex rénal)	Cadmium (Cd), Mercure inorganique (Hg), Plomb (Pb)	Néphropathie tubulaire irréversible, protéinurie, insuffisance rénale chronique.
Os et Squelette	Plomb (Pb), Strontium (Sr)	Déminéralisation osseuse, ostéoporose, réservoir chronique libérable.
Système Nerveux (SNC & SNP)	Méthylmercure (Hg), Plomb (Pb)	Ataxie, encéphalopathie saturnine, tremblements, retards cognitifs.
Foie (Parenchyme)	Cadmium (Cd), Plomb (Pb), Cuivre (Cu), Arsenic (As)	Hépatomégalie, nécrose cellulaire, stress oxydatif, insuffisance hépatique.
Phanères (Poils, sabots, plumes)	Arsenic (As), Mercure (Hg), Sélénium (Se)	Dépilation, fragilité et fissures de la corne, alopécie, kératoses.
Système Reproducteur & Fœtus	Cadmium (Cd), Plomb (Pb), Méthylmercure (Hg)	Baisse de fertilité, embryotoxicité, avortements, tératogenèse.

7. Mesures de contrôle des métaux lourds

7.1. Contrôle Industriel à la Source et Réduction des Émissions

Première ligne de défense : capter les métaux lourds sur leurs sites d'émission (usines, fonderies, incinérateurs, centrales thermiques). Filtres à manches, électrofiltres et épurateurs humides retiennent les poussières de Pb,

Cd et les vapeurs de Hg ; la chaux ou les polymères floculants précipitent Cd, Cr et Ni dans les effluents ; le drainage minier acide est neutralisé et l'amalgame au mercure de l'orpaillage artisanal est proscrit.

7.2. Bonnes Pratiques Agricoles et Gestion des Sols

Le sol constitue le réservoir central à partir duquel les végétaux et fourrages absorbent les éléments toxiques. Les interventions agronomiques visent à limiter leur transfert :

7.2.1. Chaulage régulier des parcelles acides : L'apport d'amendements basiques (chaux) élève le pH du sol, ce qui réduit la solubilité et immobilise les métaux lourds (Pb, Cd), bloquant leur absorption par les racines des plantes fourragères.

7.2.2. Phytorémédiation végétale : Culture de plantes hyperaccumulatrices (comme certaines brassicacées ou tournesols) capables d'extraire les métaux résiduels du sol par leurs racines pour assainir durablement les terrains contaminés.

7.2.3. Contrôle rigoureux des intrants et fertilisants : Sélection d'engrais phosphatés à très faible teneur certifiée en cadmium (Cd) et analyse obligatoire des boues d'épuration avant tout plan d'épandage agricole.

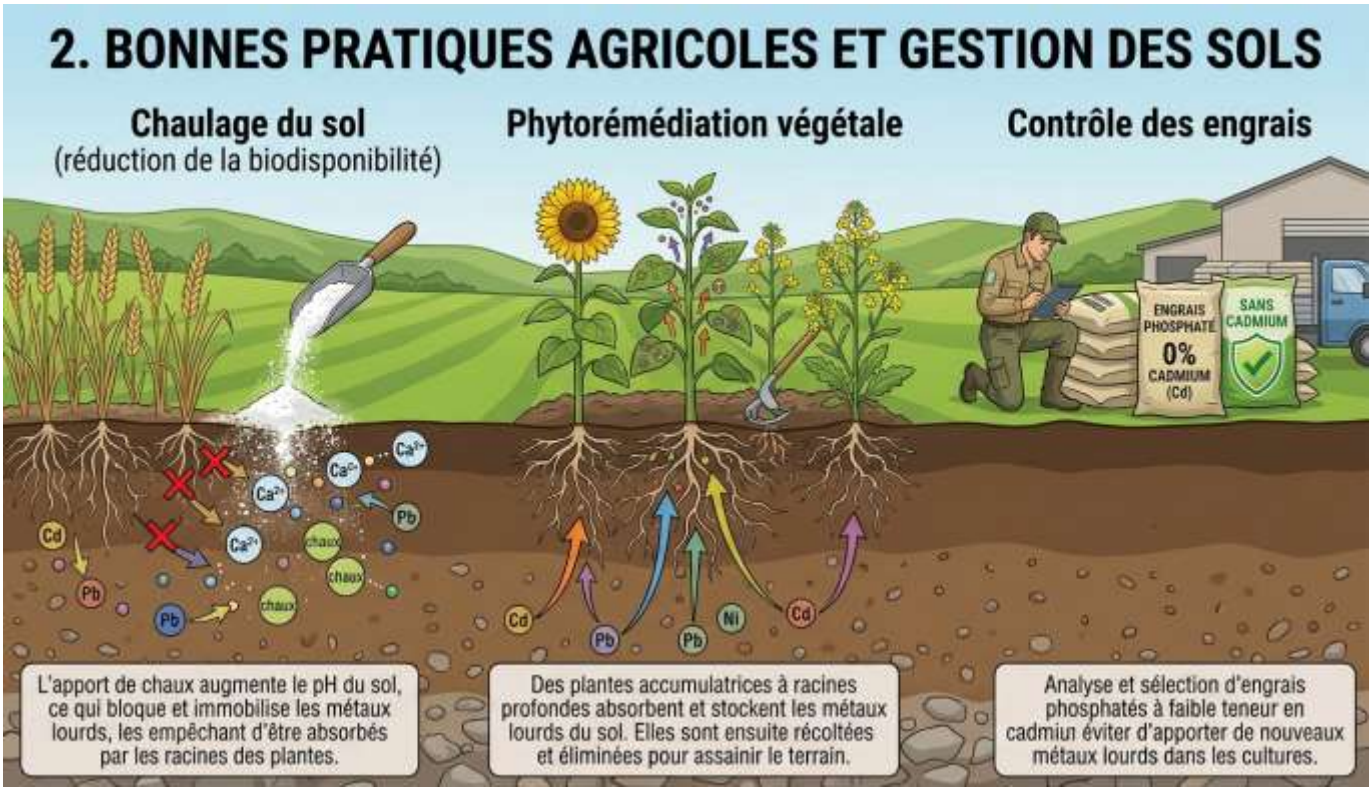

Figure 5: Techniques agricoles de réduction de biodisponibilité (chaulage), dépollution végétale et contrôle des engrais.

7.3. Mesures Préventives en Élevage et Hygiène des Exploitations

À l'échelle de l'élevage, la prévention repose sur l'élimination des gisements de métaux au contact direct des animaux de rente :

a) Bâtiments et parcours : décapage des vieilles peintures au plomb ; retrait des batteries, pneus, câbles et ferrailles.

b) Eau et fourrages : filtration et analyses régulières de l'eau de puits ou de forage (Pb, Cd, As) ; fourrages stockés à l'abri des retombées atmosphériques et du ruissellement.

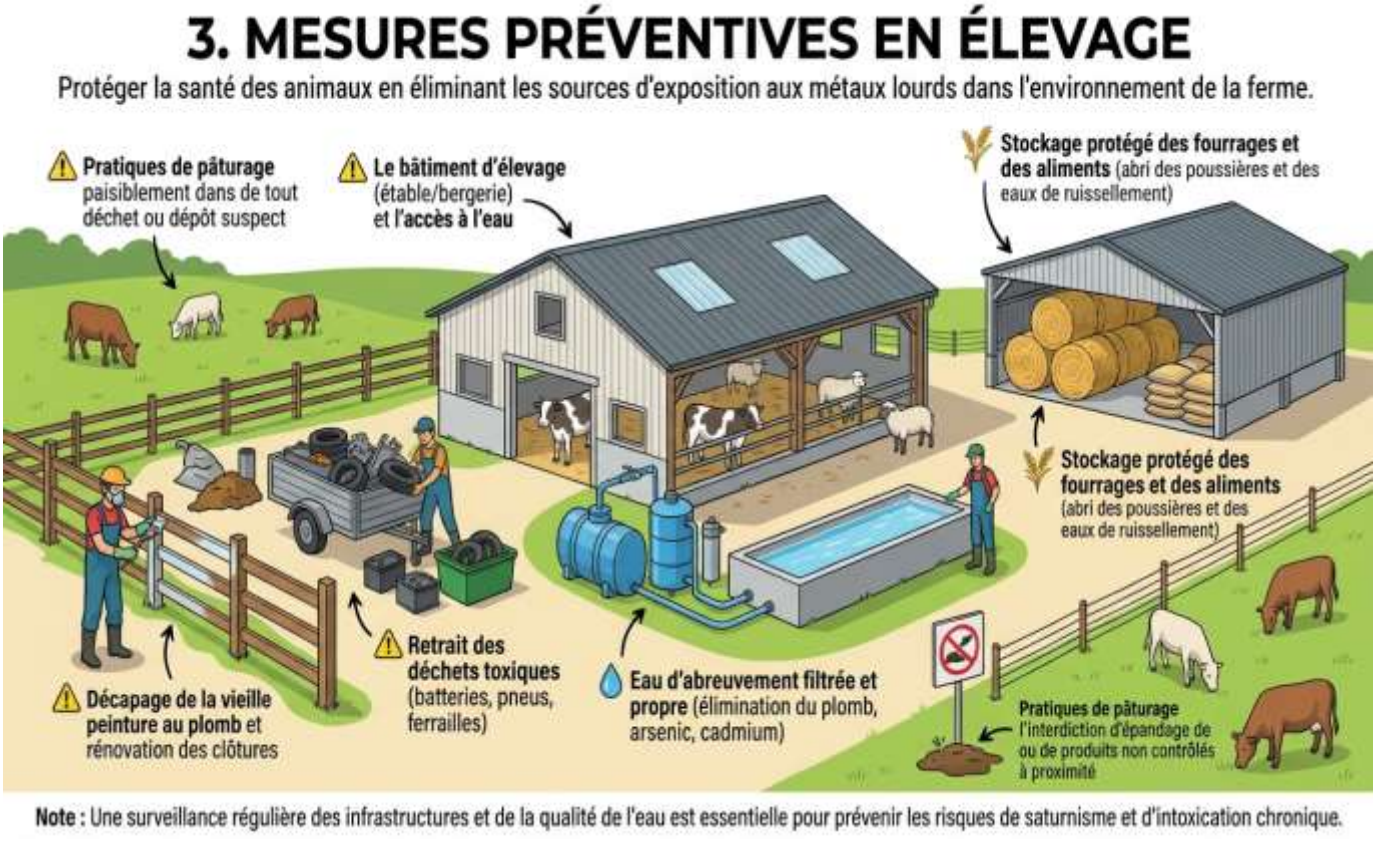

Figure 6 : Mesures sanitaires et aménagement de l'environnement d'élevage pour prévenir le saturnisme et les intoxications chroniques.

7.4. Surveillance Réglementaire et Contrôle Sanitaire des Denrées (POA)

Le dernier rempart protégeant le consommateur est constitué par les dispositifs d'inspection vétérinaire et d'analyse physico-chimique :

a) Inspection et prélèvements en abattoir : Surveillance vétérinaire ciblant spécifiquement les organes d'accumulation biologique critique (reins et foie), avec saisie systématique en cas de suspicion clinique ou de dépassement.

b) Analyses de haute précision en laboratoire : Dosage quantitatif des éléments traces par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) ou absorption atomique.

c) Application des Limites Maximales de Résidus (LMR) : Contrôle strict de conformité aux seuils réglementaires européens et internationaux garantissant l'innocuité des viandes, laits, poissons et œufs mis sur le marché.



Figure 7 : Chaîne de surveillance sanitaire

7.5. Vers un Programme National de Surveillance et de Contrôle des Contaminants Métalliques dans l'Alimentation Animale (PNSC-AA) au Cameroun

Pour préserver la santé du cheptel et prévenir le transfert toxique des éléments-traces métalliques (plomb, cadmium, mercure, arsenic) vers l'alimentation humaine à travers la viande, le lait ou les œufs, l'État camerounais gagnerait à instituer un Programme National de Surveillance et de Contrôle des Contaminants dans l'Alimentation Animale (PNSC-AA). Porté conjointement par le Ministère de l'Élevage, des Pêches et des Industries Animales (MINEPIA) et l'Agence des Normes et de la Qualité (ANOR), ce dispositif s'inspirerait directement des meilleures pratiques internationales : d'une part, le modèle de l'Union européenne (notamment la directive 2002/32/CE et les plans français de la DGAL), qui impose des teneurs maximales strictes sur les matières premières fourragères, compléments minéraux et farines tout en s'appuyant sur un réseau d'alerte rapide ; d'autre part, les approches nord-américaines de la FDA aux États-Unis (Animal Feed Safety System) et de l'ACIA au Canada, qui combinent une cartographie des risques géographiques, des inspections inopinées dans les usines de provendes et des audits de traçabilité des intrants.

Au Cameroun, ce mécanisme se traduirait par un plan d'échantillonnage annuel obligatoire couvrant les moulins industriels, les fabricants d'aliments artisanaux et les zones d'élevage, dont les prélèvements seraient analysés par spectrométrie de pointe au sein d'infrastructures locales comme le Laboratoire National Vétérinaire (LANAVET). En associant des seuils toxicologiques contraignants à un pouvoir de saisie et de rappel immédiat des lots d'aliments non conformes, ce cadre réglementaire et analytique garantirait la

biosécurité des filières animales, renforcerait la confiance des consommateurs camerounais et ouvrirait aux éleveurs l'accès aux marchés sous-régionaux et internationaux.

7.6. Bio-solutions et phytothérapie endogène adaptées aux monogastriques

Les travaux camerounais montrent que la flore tropicale fournit des solutions économiques et sans rémanence chimique :

- **Spiruline (Spirulina platensis) :** antidote chez le cobaye et le lapin face au plomb et au chrome hexavalent (fin de la tératogénicité, fertilité restaurée ; Deutcheu Nienga et *al*., 2019-2023 ; Chongsi Momo et *al*., 2021, 2023 ; Ousmane et *al*., 2019).
- **Avocatier (Persea americana) :** hépatoprotecteur contre organophosphorés et pyréthrinoïdes chez la caille et le lapin (Ngoumtsop et *al*., 2017, 2021 ; Bend et *al*., 2024).
- **Gingembre et curcuma :** ponte, qualité antioxydante des produits et fertilité chez la caille et le lapin (Tchoffo et *al*., 2017-2019 ; Noumedem Fouegap et *al*., 2022 ; Ngoumtsop et *al*., 2025).
- **Safoutier et manguier :** protection rénale et immunité chez le poulet, le lapin et le cobaye (Tchoffo et *al*., 2023 ; Ngwemetah et *al*., 2025 ; Momo et *al*., 2024, 2025).

8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Tatfo Keutchatang F.D.P. et *al*. (2026). Assessment of the health risks associated with the consumption of chicken meat and eggs contaminated with heavy metals in some regions of Cameroon. Food Safety and Risk, 13: 36.

Keutchatang F.D.P.T. et *al*. (2023). Mycotoxins and Heavy Metals of Poultry Feeds from the Centre, Littoral, and Western Regions of Cameroon. Journal of World's Poultry Research, 13(1): 81-88.

Ahmad W. et *al*. (2021). Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk. Scientific Reports, 11: 17006.

Aljohani A.S.M. (2023). Heavy metal toxicity in poultry: a comprehensive review. Frontiers in Veterinary Science, 10: 1161354.

Gimou M.-M. et *al*. (2014). Dietary exposure and health risk assessment for 14 toxic and essential trace elements in Yaounde: the Cameroonian total diet study. Food Additives & Contaminants: Part A, 31: 1064-1080.

Guetiya Wadoum R.E. et *al*. (2016). Abusive use of antibiotics in poultry farming in Cameroon and the public health implications. British Poultry Science, 57(4): 483-493.

Shahriar S. et *al*. (2025). Heavy metal pollution in poultry feeds and broiler chickens in Bangladesh. Toxicology Reports, 14: 101932.

Ullah A.A. et *al*. (2017). Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish and possible human health risk implications in Bangladesh. Toxicology Reports, 4: 574-579.

Tchoffo H. et *al*. (2017). Effects of Ginger (Zingiber officinale) Rhizomes Essential Oil on Some Reproductive Parameters in Laying Japanese Quail (Coturnix coturnix japonica). Advances in Reproductive Sciences Journal, 5: 64-74.

Ngoumtsop V.H. et *al*. (2017). Oxidative Damage and Reproductive Toxicity Associated with Antouka Super® in Male Japanese Quail (Coturnix coturnix japonica): The Protective Effects of Hydroethanolic Leaves Extract of Persea Americana. Annual Research & Review in Biology, 14(1): 1-12.

Ngoumtsop V.H. et *al*. (2017). Effects of Oxidative Stress Induced by Antouka Super (Insecticide) ® on Some Reproductive Parameters of Male Japanese Quail (Coturnix coturnix japonica) and Mitigation Strategies Using Aqueous Leaves Extract of Persea Americana. Global Veterinaria, 18(4): 242-249.

Ngoula F. et *al*. (2017). Antouka Super® induced oxidative stress and reproductive toxicity in male Japanese quail (Coturnix coturnix japonica). Heliyon, 3(10): e00410.

Tchoffo H. et *al*. (2018). Growth performance, serum biochemical profile, oxidative status, and fertility traits in male japanese quail fed on ginger (Zingiber officinale, Roscoe) essential oil. Veterinary Medicine International, Article ID 7682060.

Tchoffo H. et *al*. (2019). Effects of ginger (Zingiber officinale, Roscoe) essential oil on growth and laying performances, serum metabolites and egg yolk antioxidant and cholesterol status in laying japanese quail. Journal of Veterinary Medicine, Article ID 7857504.

Deutcheu Nienga S. et *al*. (2019). Evaluating the antidotal potentials of hydroethanolic extract of Spirulina platensis on teratogenicity of Cavia porcellus induced by exposure to lead acetate. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 4(4): 145-150.

Chongsi M.M.M. et *al*. (2019). Oxidative Effects of Potassium Dichromate on Biochemical, Hematological Characteristics, and Hormonal Levels in Rabbit Doe (Oryctolagus cuniculus). Veterinary Sciences, 6: 30.

Adam M.T.M. et *al*. (2020). Haematological Characteristics and Oxidative Stress Indicators in Pregnant Rabbit does (Oryctolagus cuniculus) Exposed to Lambda Cyhalothrin. EC Veterinary Science, 5.10: 65-67.

Ngoumtsop V.H. et *al*. (2021). Hepato-Preventive Effects of Hydroethanolic Leaves Extract of Persea Americana, Mill (Lauraceae) "Avocado" against Antouka Super® Induced Damage in Male Japanese Quail (Coturnix coturnix Japonica). Open Journal of Veterinary Medicine, 11: 41-56.

Chongsi M.M.M. et *al*. (2021). Effects of Spiruline (Spirulina platensis) Supplementation on Oxidative Stress Markers, Biochemical Characteristics, and Hematological Parameters in Rabbit (Oryctolagus cuniculus) Does. Asian Journal of Agriculture and Rural Development, 11(2): 163-170.

Deutcheu Nienga S. et *al*. (2022). Effects of Aqueous Extract of Spirulina platensis on Some Reproductive Performances in Rabbit Does (Oryctolagus cuniculus). European Journal of Agricultural and Food Sciences, 6(2): 1–5.

Tchoffo H. et *al*. (2023). Blood Parameters, Kidney Histology and Growth Performances in Gallus gallus Domesticus (Brahma) Hens Fed a Diet Supplemented with Dacryodes edulis (Safou) Powder Leaves. Poultry, 2: 187–203.

Tchoffo H. et *al*. (2023). Effects of Dacryodes edulis and Mangifera indica leaves powders on immune system and growth performances in Brahma hen. Asian Journal of Poultry Science, 17: 9-19.

Tchoffo H. et *al*. (2024). Effect of Incorporating Soursop (Annona muricata) Leaves Powder on Reproductive Performance of Japanese Quail (Coturnix coturnix japonica). Journal of World's Poultry Science, 3(3): 42-52.

Deutcheu Nienga S. et *al*. (2023). Curative Effects of Spirulina (Spirulina platensis) Aqueous Extract on Reproductive Parameters and Oxidative Stress Markers in Female Guinea Pig (Cavia porcellus) Exposed to Lead. European Journal of Veterinary Medicine, 3(1): 6-11.