



HAL
open science

Évaluation de la couverture des besoins en minéraux et réalisation d'une complémentation par pierres à sels de fabrication locale chez les troupeaux de bovins de la chefferie de Musungwa, district d'Itezhi Tezhi en Zambie

Mathilde Arniaud

► To cite this version:

Mathilde Arniaud. Évaluation de la couverture des besoins en minéraux et réalisation d'une complémentation par pierres à sels de fabrication locale chez les troupeaux de bovins de la chefferie de Musungwa, district d'Itezhi Tezhi en Zambie. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04417458

HAL Id: dumas-04417458

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04417458v1>

Submitted on 13 Feb 2024

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

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

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2023 - Thèse n° 151

**EVALUATION DE LA COUVERTURE DES BESOINS EN
MINÉRAUX ET RÉALISATION D'UNE
COMPLÉMENTATION PAR PIERRES À SELS DE
FABRICATION LOCALE CHEZ LES TROUPEAUX DE
BOVINS DE LA CHEFFERIE DE MUSUNGWA, DISTRICT
D'ITEZHI TEZHI EN ZAMBIE**

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 15 décembre 2023
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

ARNIAUD Mathilde

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2023 - Thèse n° 151

**EVALUATION DE LA COUVERTURE DES BESOINS EN
MINÉRAUX ET RÉALISATION D'UNE
COMPLÉMENTATION PAR PIERRES À SELS DE
FABRICATION LOCALE CHEZ LES TROUPEAUX DE
BOVINS DE LA CHEFFERIE DE MUSUNGWA, DISTRICT
D'ITEZHI TEZHI EN ZAMBIE**

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 15 décembre 2023
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

ARNIAUD Mathilde

Liste des enseignants

Pr	ABITBOL	Marie	Professeur
Dr	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences
Pr	ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
Dr	AYRAL	Florence	Maître de conférences
Pr	BECKER	Claire	Professeur
Dr	BELLUCO	Sara	Maître de conférences
Dr	BENAMOU-SMITH	Agnès	Maître de conférences
Pr	BENOIT	Etienne	Professeur
Pr	BERNY	Philippe	Professeur
Pr	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	Professeur
Dr	BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences
Dr	BRUTO	Maxime	Maître de conférences
Dr	BRUYERE	Pierre	Maître de conférences
Pr	BUFF	Samuel	Professeur
Pr	BURONFOSSE	Thierry	Professeur
Dr	CACHON	Thibaut	Maître de conférences
Pr	CADORÉ	Jean-Luc	Professeur
Pr	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
Pr	CHABANNE	Luc	Professeur
Pr	CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
Dr	CHANOIT	Gillaume	Professeur
Dr	CHETOT	Thomas	Maître de conférences
Pr	DE BOYER DES ROCHES	Alice	Professeur
Pr	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
Pr	DJELOUADJI	Zorée	Professeur
Dr	ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences
Dr	FRIKHA	Mohamed-Ridha	Maître de conférences
Dr	GALIA	Wessam	Maître de conférences
Pr	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	Professeur
Dr	GONTHIER	Alain	Maître de conférences
Dr	GREZEL	Delphine	Maître de conférences
Dr	HUGONNARD	Marine	Maître de conférences
Dr	JOSSON-SCHRAMME	Anne	Chargé d'enseignement contractuel
Pr	JUNOT	Stéphane	Professeur
Pr	KODJO	Angeli	Professeur
Dr	KRAFFT	Emilie	Maître de conférences
Dr	LAABERKI	Maria-Halima	Maître de conférences
Dr	LAMBERT	Véronique	Maître de conférences
Pr	LE GRAND	Dominique	Professeur
Pr	LEBLOND	Agnès	Professeur
Dr	LEDOUX	Dorothée	Maître de conférences
Dr	LEFEBVRE	Sébastien	Maître de conférences
Dr	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	Maître de conférences
Dr	LEGROS	Vincent	Maître de conférences
Pr	LEPAGE	Olivier	Professeur
Pr	LOUZIER	Vanessa	Professeur

Dr LURIER	Thibaut	Maître de conférences
Dr MAGNIN	Mathieu	Maître de conférences
Pr MARCHAL	Thierry	Professeur
Dr MOSCA	Marion	Maître de conférences
Pr MOUNIER	Luc	Professeur
Dr PEROZ	Carole	Maître de conférences
Pr PIN	Didier	Professeur
Pr PONCE	Frédérique	Professeur
Pr PORTIER	Karine	Professeur
Pr POUZOT-NEVORET	Céline	Professeur
Pr PROUILLAC	Caroline	Professeur
Pr REMY	Denise	Professeur
Dr RENE MARTELLET	Magalie	Maître de conférences
Pr ROGER	Thierry	Professeur
Dr SAWAYA	Serge	Maître de conférences
Pr SCHRAMME	Michael	Professeur
Pr SERGENTET	Delphine	Professeur
Dr TORTEREAU	Antonin	Maître de conférences
Dr VICTONI	Tatiana	Maître de conférences
Dr VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	Chargé d'enseignement contractuel
Pr ZENNER	Lionel	Professeur

20/03/2023

Remerciements au jury

Au Pr. COLLARDEAU-FRACHON Sophie,

Je suis infiniment sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant de siéger parmi le jury de thèse. Je tiens à vous remercier du fond du cœur pour votre précieuse contribution car en acceptant de présider ce jury, vous m'avez permis de bénéficier de votre expertise et de vos conseils pour l'amélioration de ce travail.

Au Dr. ALVES DE OLIVEIRA Laurent,

Je suis honorée d'avoir eu l'opportunité de travailler avec vous et de bénéficier de votre mentorat. Votre expertise, votre sagesse et votre sens aigu de l'évaluation ont joué un rôle déterminant dans le développement de ma thèse. Je suis reconnaissante pour tout ce que j'ai appris grâce à votre encadrement. Votre soutien a été déterminant dans la réalisation de ma thèse. Je vous en suis profondément reconnaissante.

Au Pr. LE GRAND Dominique,

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance pour avoir accepté la responsabilité de faire partie du jury de thèse. Je vous remercie pour votre enseignement et votre gentillesse au sein du service de médecine des bovins de VetAgro Sup Lyon.

TABLE DES MATIERES

Table des matières	7
Liste des annexes.....	13
Liste des figures	15
Liste des tableaux	17
Liste des abréviations	19
Introduction.....	21
Partie 1	23
Synthèse bibliographique	23
I. Connaissances générales sur les minéraux en alimentation des bovins.....	23
1. Le calcium	23
a. Utilité biologique	23
b. Conséquences en cas de défaut et d'excès d'apports	24
2. Le phosphore.....	25
a. Utilité biologique	25
b. Conséquences en cas de défaut et d'excès d'apports	26
3. Le magnésium.....	27
a. Utilité biologique	27
b. Conséquences en cas de défaut et d'excès	28
4. Le sodium et le chlorure.....	29
a. Utilité biologique	29
b. Conséquences en cas de défaut et d'excès	30
5. Le potassium.....	31
a. Utilité biologique	31
b. Conséquences en cas de défaut et d'excès	32
6. Le zinc	32
a. Utilité biologique	32
b. Conséquences en cas de défaut et d'excès	34
7. Le manganèse.....	35
a. Utilité biologique	35
b. Conséquences en cas de défaut et d'excès	36
8. Le cobalt	37

a.	Utilité biologique	37
b.	Conséquences en cas de défaut et d'excès	37
9.	Le sélénium.....	38
a.	Utilité biologique	38
b.	Conséquences en cas de défaut et d'excès	38
10.	Le cuivre	40
a.	Utilité biologique	40
b.	Conséquences en cas de défaut et d'excès	41
11.	L'iode	42
a.	Utilité biologique	42
b.	Conséquences en cas de défaut et d'excès	43
12.	Le fer.....	44
a.	Utilité biologique	44
b.	Conséquences en cas de défaut et d'excès d'apports	44
13.	Le molybdène	44
a.	Utilité biologique	44
b.	Conséquences en cas de défaut et d'excès	45
14.	Le soufre	45
a.	Utilité biologique	45
b.	Conséquences en cas de défaut et d'excès	45
15.	Besoins en minéraux dans l'alimentation des bovins	46
a.	Apports en oligo-éléments établis par le NRC et l'INRA	46
a.	Apports en macroéléments établis par le NRC et l'INRA	48
II.	Alimentation minérale des bovins en Afrique sub-saharienne.....	52
1.	Connaissances sur la disponibilité des minéraux en Afrique sub-saharienne	52
a.	Composition des sols.....	52
b.	Composition des fourrages	53
c.	Les carences observées sur les ruminants	56
2.	Résultats agronomiques obtenus lors de la mise en place de complémentations en Afrique sub-saharienne	59
a.	Bénéfices obtenus par l'utilisation de compléments en phosphore sur des bovins d'Afrique sub-saharienne	59
	Bénéfices de l'utilisation des phosphates comme source de phosphore	59
	Bénéfices de l'utilisation de la poudre d'os comme source de phosphore	59
b.	Problématiques soulevées par la mise en place d'une complémentation en minéraux dans un contexte économique limité.....	60

c.	Une faible disponibilité de ressources bibliographiques au sujet de l'utilisation de mélanges de minéraux pour la complémentation des bovins en Afrique sub-saharienne	61
III.	Melindika, une association loi 1901 implantée dans la chefferie du Musungwa	62
1.	L'association Melindika	62
2.	L'élevage dans la chefferie	62
3.	Les bovins de la chefferie	66
a.	Caractéristiques des races rencontrées	66
b.	Productions animales dans la chefferie	68
4.	Avancées du projet agro-véto pour l'amélioration de l'alimentation des bovins de la chefferie	71
5.	Un nouveau projet Melindika qui s'inscrit dans le concept One Health.....	72
Partie 2		75
Mise en place d'une complémentation en minéraux chez les bovins par la fabrication locale de pierres a sel dans la chefferie du Musungwa		75
I.	Matériel et méthodes.....	75
1.	Analyse de la teneur en minéraux des fourrages consommés par les bovins de la chefferie	75
a.	Choix des fourrages à analyser.....	76
b.	Préparation des échantillons.....	77
c.	Choix des minéraux à doser	78
d.	Méthode d'analyse des échantillons.....	79
2.	Calcul du bilan minéral des animaux de la chefferie pour identifier les carences présentes.....	79
a.	Introduction de la notion de Matière Sèche Volontairement Ingérée (MSVI).....	79
b.	Introduction de la notion de coefficient d'absorption pour les macro-éléments	81
c.	Détermination des besoins en minéraux des bovins de la chefferie	82
d.	Calcul de l'apport en calcium et phosphore de la ration à partir des résultats d'analyses	85
3.	Transmission des informations du projet lors de formations	86
a.	Formation des éleveurs à la complémentation de leurs troupeaux	86
b.	Formation des ASA à la réalisation des blocs de pierre à sel et l'utilisation de compléments minéraux.....	87
II.	Résultats	87
1.	Détermination de la quantité de minéraux à apporter aux animaux à partir de la lecture des résultats d'analyse des fourrages	88
a.	Comparaison des résultats de la concentration en minéraux des fourrages avec les besoins des bovins.....	88

b.	Calcul de l'apport en calcium, phosphore et magnésium de la ration à partir des résultats d'analyses	89
c.	Détermination de la quantité de minéraux à apporter par la complémentation	90
2.	Choix d'un bloc à lécher adapté aux besoins des animaux et répondant aux contraintes financières et de disponibilité des produits	91
a.	Choix du complément à mettre en place dans la chefferie à partir de l'inventaire et de la tarification des pierres à sel disponible à l'achat pour Melindika.....	91
b.	Comparaison de la composition du complément choisi par rapport aux besoins des animaux de la chefferie	92
c.	Inventaire et tarifications des autres types de compléments minéraux disponibles à l'achat pour Melindika.....	93
3.	Bilan des formations aux ASA et aux éleveurs	94
a.	Retours sur l'organisation des présentations faites aux éleveurs	94
b.	Bilan des retours des éleveurs au sujet de la présentation, et des effectifs de leurs troupeaux	97
c.	Observations sur la méthode de réalisation des blocs Rainfos 15.....	99
a.	Bilan des formations faites aux ASA.....	102
III.	Discussion	102
1.	Etude des carences en minéraux des bovins de la chefferie	103
a.	Carences observées par rapport aux carences mentionnées dans la littérature	103
b.	Limites de cette étude.....	104
2.	Relever les défis de la mise en place d'une complémentation minérale chez les bovins dans la chefferie du Musungwa	106
a.	Relever les défis culturels pour la mise en place d'une complémentation minérale chez les bovins dans la chefferie du Musungwa	106
	Phénomène de groupe et influence des personnalités politiques de la chefferie	106
	Toucher un public large malgré les contraintes culturelles et logistiques.....	106
	L'importance d'adapter les supports au niveau des connaissances	106
	Focaliser les formations sur l'acquisition des connaissances primordiales	107
a.	Relever les défis techniques posés par la mise en place de la complémentation minérale : Recommandations pratiques sur la fabrication des pierres à sel	108
b.	Relever les défis techniques posés par la mise en place de la complémentation minérale : problématiques liées à l'environnement	108
	Nécessité de protéger les minéraux de l'eau en saison des pluies	108
	Nécessité de prévenir le risque d'intoxication au sel.....	109
c.	Relever les défis techniques posés par la mise en place de la complémentation minérale : coût de la surconsommation liée à la privation de minéraux.....	110
d.	Relever les défis techniques posés par la mise en place d'une complémentation minérale : gestion de la quantité ingérée	110

e.	Relever les défis techniques posés par la mise en place d'une complémentation minérale : gestion des conflits physiques générés par l'introduction des compléments en libre accès	111
a.	Relever les défis techniques posés par la mise en place d'une complémentation minérale : la problématique logistique	112
b.	Relever les défis financiers de la mise en place d'une complémentation minérale chez les bovins dans la chefferie du Musungwa : aspect financier de l'utilisation des blocs Rainfos15	112
a.	Relever les défis financiers de la mise en place d'une complémentation minérale chez les bovins dans la chefferie du Musungwa : proposer des alternatives abordables	113
	La Biofortification, un moyen à faible coût présentant un double intérêt agronomique	113
	La mise en culture de fourrages riches en minéraux	114
	Utilisation de poudre d'os comme complément phosphocalcique	115
	Utilisation d'eaux riches en minéraux	117
	Utilisation de la cendre de bois	117
	La complémentation à minima en Ca et P avec l'utilisation du DCP	117
	L'utilisation de complément d'oligo-éléments injectable	117
	Conclusion	119
	Bibliographie	121
	Annexes	128

Liste des annexes

ANNEXE 1 : Choix des fourrages d'après les interviews

ANNEXE 2 : Avis des éleveurs sur la liste des fourrages sélectionnés

ANNEXE 3 : Attentes et questions des éleveurs vis-à-vis du projet

ANNEXE 4 : Poster de formation des éleveurs

ANNEXE 5 : Support de formation pour les ASA

ANNEXE 6 : Document pratique distribué aux ASA

ANNEXE 7 : Résultats individuels d'analyses de fourrages

ANNEXE 8 : Recette de fabrication des blocs Rainfos15

ANNEXE 9 : Fiche de recommandation pour la culture des herbacées riches en minéraux

ANNEXE 10 : Recette de fabrication de pierre à sel artisanale développée au Togo

Liste des figures

Figure 1 : Rôle du calcium dans la transformation de la prothrombine en thrombine.	24
Figure 2 : Mécanisme d'apparition de l'urotlithiase liée à une dérégulation de l'homéostasie phosphocalcique chez les animaux en élevage intensif. Source : Meschy 2017	27
Figure 3 : Mécanisme d'initiation de l'hypomagnésémie ou tétanie d'herbage. Source : Meschy 2017	29
Figure 4 : Savane après un écobuage dans la chefferie du Munsugwa. Source personnelle ..	63
Figure 5 : Exemple d'états de maigreur rencontrés pendant la saison sèche (photos prises fin septembre). Source personnelle	65
Figure 6 : La diversité des races dans les troupeaux de la chefferie du Musungwa. De gauche à droite et de haut en bas : Jeune taureau Brahman, vache Barotse, vache Tonga X Brahman et vache Ila X Brahman. Source personnelle	67
Figure 7 : Photographies des éleveurs ayant participé aux formations et lieux des formations dans les villages de (de gauche à droite et de bas en haut) : New Ngoma - Basanga - Iyanda – Ntubya. Source personnelle.....	96
Figure 8 : Photographies pendant et après l'atelier de fabrication des pierres à sel Rainfos15 par les 4 ASA de Melindika. Source personnelle	100
Figure 9 : Mélange de minéraux, sel et mélasse déposé dans un moule pour le séchage. Source personnelle.....	101
Figure 10 : Bloc après séchage. Source personnelle	101
Figure 11 : Enclos en bois et vache en pâturage libre en journée. Source personnelle	102
Figure 12 : Troupeaux en pâturage libre sur le lit de ce qui serait, hors saison sèche, la rivière kafue. Source personnelle – octobre 2023	109

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des recommandations d'apport en oligo-éléments pour les bovins de boucherie d'après l'INRA 2018 ou d'après le NRC 2016.	47
Tableau 2 : Phénomènes d'interaction avec la disponibilité des oligo-éléments.....	48
Tableau 3 : Recommandations sur les besoins d'entretien (g/j) en macro-éléments absorbables en fonction du statut physiologique des animaux, d'après INRA 2018	49
Tableau 4 : Recommandations INRA 2018 sur les besoins de production (g/j) en macro-élément absorbables des bovins.	49
Tableau 5 : Recommandations sur les besoins d'entretien (g/j) en calcium et phosphore en fonction du statut physiologique des animaux. D'après NRC 2016	50
Tableau 6 : Exemple de présentation des tables de valeurs d'après les recommandations du NRC pour la couverture des besoins en calcium et phosphore des bovins de boucherie..	51
Tableau 7 : Recommandations NRC 2016 sur les besoins totaux en Mg, K, Na et S en fonction du statut physiologique des animaux (en % MS).....	51
Tableau 8 : Comparaison des recommandations pour l'alimentation minérale des bovins de boucherie d'après l'INRA ou d'après le NRC à partir d'un exemple.	52
Tableau 9 : Synthèse des résultats d'analyse de sols réalisés en Afrique sub-saharienne.	53
Tableau 10 : Synthèse des résultats d'analyse de teneur en minéraux des fourrages en Afrique sub-saharienne.	54
Tableau 11 : Synthèse des carences mises en évidence par des manifestations cliniques et/ou des dosages sanguins en Afrique sub-saharienne.....	56
Tableau 12 : Caractéristiques phénotypiques des races endémiques de Zambie. D'après IAEA 2011, Genetic Characterization of Indigenous Cattle Breeds in Zambia - Which Way Forward?	68
Tableau 13 : Liste de fourrages majoritaires dans l'alimentation des bovins de la chefferie..	77
Tableau 14 : Valeurs de %NDF pour chaque fourrage de la liste	80
Tableau 15 : Valeur de CAR moyen pour des prairies permanentes d'après INRA 2018.....	81
Tableau 16 : Calcul des besoins en P, Ca, Na et Mg des bovins de la chefferie d'après les formules développées par l'INRA 2018.	83

Tableau 17 : Comparaison des besoins en minéraux pour une vache allaitante d'après l'INRA et le NRC.....	84
Tableau 18 : Besoins en oligo-éléments exprimés en mg/kg de MS et en mg/j pour des vaches ayant une MSVI de 5kg	84
Tableau 19 : Village où ont été organisées des présentations sur l'intérêt des minéraux et les moyens d'augmenter leur apport pour les bovins de la chefferie.....	86
Tableau 20 : Synthèse des résultats de concentration en minéraux (ppm) des différents échantillons.	88
Tableau 21 : Valeurs approximatives de l'apport en calcium et phosphore obtenu par le pâturage en fonction des saisons	89
Tableau 22 : Apport de la ration et du complément pour répondre aux besoins quotidiens en calcium et phosphore	90
Tableau 23 : Composition en minéraux d'un bloc à lécher couvrant les besoins des bovins de la chefferie pour 100g ingérés quotidiennement.	90
Tableau 24 : Comparaison des prix des compléments minéraux complets disponibles à la vente chez Agrivet et Livestock center en Zambie.....	92
Tableau 25 : Etude de la couverture des besoins journaliers par l'ingestion de 90g de Rainfos15 d'après l'étude de la composition du produit.	93
Tableau 26 : Grille tarifaire des produits disponibles pour les éleveurs au CLC.....	93
Tableau 27 : Composition du DCP disponible à la vente pour Melindika.....	94
Tableau 28 : Composition du Multimin	94
Tableau 29 : Compte rendu des dates, lieux et nombre de participants aux réunions d'information sur les minéraux et les compléments à destination des éleveurs.....	95
Tableau 30 : Répartition du nombre de vaches dans les troupeaux des éleveurs présents en fonction de leur village de provenance	98
Tableau 31 : Intérêt des éleveurs pour les différentes méthodes de complémentation proposées en fonction des villages.....	99
Tableau 32 : Recettes de pierres à lécher artisanales.....	115

Liste des abréviations

ADH : Hormone Antidiurétique

ANF : Facteur Natriurétique Auriculaire

BE : Bilan Electrolytique

CLC : *Community Livestock Center*

CT : Calcitonine

FSH : *Follicular Stimulating Hormone* – Hormone de Stimulation Folliculaire

GRI : *Game Ranger International*

HT : Hormones Thyroïdiennes

ICP-AES : *Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrophotometers*

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

LH : *Luteinizing hormone* - Hormone Lutéinisante

MS : Matière Sèche

N.E.C. : Note d'Etat Corporel

NRC : *Nutrient Requirement Council*

PEM : Polioencéphalomalacies

PTH : Parathormone

PV : Poids Vif

RAAS : Système Rénine-Angiotensine-Aldostérone

ROS : *Reactive Oxygen Species* - Espèces Réactives de l'Oxygène

TAS : *Total Antioxydant Status* - Statut Antioxydant Total

T4 : Thyroxine

INTRODUCTION

La chefferie du Musungwa appartient à la zone rurale du centre de la Zambie, dans la zone régulée en bordure du Parc National de Kafue. Pendant longtemps, la pratique de l'élevage était associée au peuple Tonga qui était nomade et possédait de grands troupeaux. Le peuple des Ila était sédentaire et spécialisé dans l'agriculture. La sédentarisation des Tonga et la cohabitation de ces deux ethnies a mené peu à peu à une homogénéisation des pratiques. La tendance à la sédentarisation des populations pastorales en Afrique s'accompagne de l'apparition de poly-carences minérales chez leur bovins car le régime varié permis par la transhumance est remplacé par une alimentation uniforme (Calvet et al. 1976). L'apparition d'enzooties de botulisme avait alors pu être reliée à des maladies nutritionnelles induites par ces poly-carences et en particulier par le déficit en phosphore (Calvet et al. 1976; NDIAYE 1985; Boyazoglu 1973). Depuis la révélation de l'existence de carences chez ces animaux émerge l'intérêt de la couverture de leur besoin en minéraux.

Par ailleurs, les bovins de Zambie évoluent dans un climat tropical caractérisé par une saison sèche de mai à octobre et une saison des pluies, de novembre à avril. La pauvreté des pâturages lors de la saison sèche place les animaux dans un déficit énergétique chronique induisant une importante perte de poids, en particulier pendant les mois de septembre et octobre qui sont les plus chauds et secs. La mise en place d'une complémentation azotée pour couvrir ce déficit est inabordable pour les éleveurs de la région du Musungwa. Cependant en situation de carence, la mise en place d'une complémentation minérale montre des résultats similaires à la complémentation azotée sur la réduction de la perte de poids en saison sèche et le gain de poids en saison des pluies (Calvet et al. 1976). La mise en place de compléments minéraux dans la chefferie serait donc un moyen à moindre coût d'améliorer la santé et les performances des animaux de la chefferie.

L'existence de variations régionales importantes pour la composition en minéraux des fourrages (Lundu 2012; Boyazoglu 1973) suggère la réalisation d'analyse de fourrages préalablement à la mise en place de compléments minéraux. Ainsi, le premier objectif de ce projet a été d'analyser 11 échantillons des principaux

fourrages consommés par les bovins de la chefferie pour permettre d'évaluer la couverture de leurs besoins en minéraux.

Une étude de la mise en place de complémentation par pierre à lécher au Burkina Fasso a permis de formuler trois recommandations importantes pour le succès de cette mise en place : contrôler le coût des compléments proposés, sensibiliser les éleveurs à l'importance des minéraux et à l'utilisation des compléments et créer des alternatives artisanales aux produits commerciaux (Kessé 1999).

Le deuxième objectif de ce projet a donc été d'identifier la complémentation commerciale par pierre à sel la plus économique possible, d'organiser des présentations de sensibilisation et de formation au sein des communautés, et de rechercher des alternatives artisanales aux produits commerciaux qui soient économiques et disponibles pour une meilleure couverture des besoins en minéraux des bovins du Musungwa.

Après avoir exposé des connaissances générales sur l'importance des minéraux dans l'alimentation des bovins et sur la situation spécifique des bovins de l'Afrique sub-saharienne, une présentation du contexte de la chefferie et de ses habitudes d'élevage sera réalisée.

Dans une seconde partie, les carences en minéraux identifiées sur les bovins de la chefferie à partir d'analyses de fourrages et de calculs de besoins seront présents. Puis, la composition d'une pierre à sel abordable pour les éleveurs et la sensibilisation à son utilisation seront exposés. Enfin, des recommandations ont été formulées pour relever les défis de la mise en place d'une complémentation dans la chefferie.

PARTIE 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Connaissances générales sur les minéraux en alimentation des bovins

1. Le calcium

a. Utilité biologique

Le calcium entre pour une part très importante dans la composition des os. Ceux-ci constituent le lieu de stockage du calcium et du phosphore. L'homéostasie phosphocalcique, sous contrôle du dérivé actif de la vitamine D3, de la parathormone (PTH) et de la calcitonine (CT). La mobilisation des réserves calciques est réalisée sous l'action de la parathormone qui active des ostéoclastes, pour augmenter les taux sanguins de Ca et P lorsque la demande le justifie. Cette mobilisation est particulièrement intense en début de lactation, lorsque l'augmentation brutale des besoins ne peut pas être satisfaite par l'apport de l'alimentation. A l'inverse, les ostéoblastes vont permettre de fixer ces éléments minéraux sur les os, soit pour permettre la minéralisation donc la solidité des os, soit pour permettre la croissance osseuse. Le dérivé actif de la vitamine D3, de la PTH et de la CT peuvent aussi agir sur l'absorption intestinale ou la réabsorption tubulaire rénale pour maîtriser l'homéostasie phosphocalcique (Meschy 2017).

Les variations rapides de concentration en calcium dans le milieu intra-cellulaire lui permettent d'assurer la contraction et le relâchement des fibrilles musculaires.

Le calcium participe à la formation de thrombine à partir de la prothrombine, ce qui lui confère un rôle important dans le processus de coagulation (voir figure 1). Il participe aussi au déclenchement de la réponse immunitaire au niveau cellulaire.

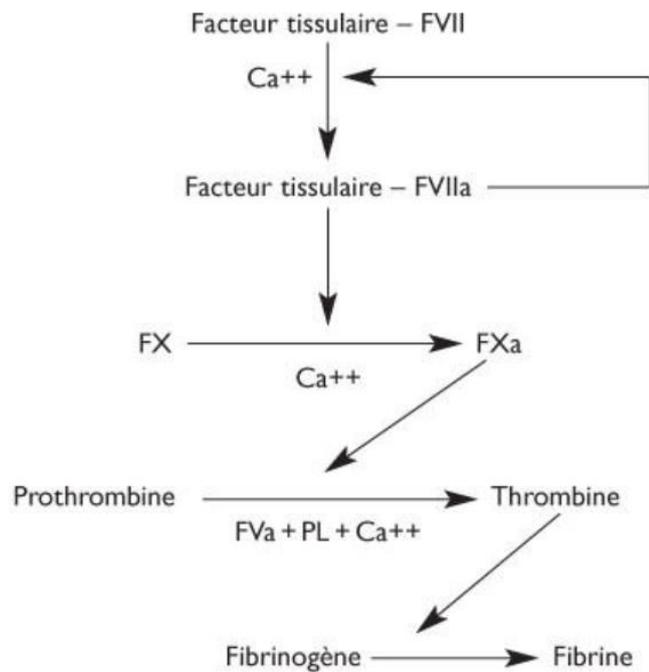


Figure 1 : Rôle du calcium dans la transformation de la prothrombine en thrombine. Source : Reber et al. (2008)

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès d'apports

En occident, la concentration en calcium dans les fourrages est généralement suffisante. Ils sont particulièrement concentrés dans les légumineuses.

Etant donné la réserve phosphocalcique osseuse mobilisable à 20-25%, les carences modérées n'ont pas de traduction clinique. Lorsque le manque est prolongé et/ou qu'une carence en vitamine D est présente, cette mobilisation des réserves osseuses entraîne un défaut de minéralisation de la matrice osseuse. Lorsqu'il survient pendant la croissance, rachitisme et déformations osseuses apparaissent alors que chez les adultes, ce sont des ostéomalacies et plus rarement de l'ostéoporose et fractures spontanées qui surviennent (Meschy 2017).

Les travaux de Sheetal et al. (2014) ont fait le lien entre métabolisme du calcium et rétention placentaire. Les vaches présentant des rétentions placentaires présentaient également des concentrations sanguines en calcium à 0h et 12h post-partum significativement inférieures à celles des vaches n'en présentant pas. Le déficit en calcium lié à un investissement vers la production de lait à l'approche du part induit une atonie de l'utérus à l'origine de cette rétention placentaire.

Le début de lactation induit la multiplication par 4 des besoins en calcium. Cette augmentation des besoins induit une hypocalcémie subclinique chez 25% des primipares et 50% des multipares (Meschy 2017). Chez les hautes productrices, ou en cas d'apport inapproprié de calcium, l'hypocalcémie est majeure (<1,5 mmol/L) et est associée à une hypophosphatémie modérée qui conduisent à la fièvre vitulaire. Cette affection survient dans les 24 à 48h post-vêlage (plus rarement la semaine suivante) et se manifeste dans un premier temps par de l'anorexie et de l'adipsie, suivies de l'arrêt de la rumination, ensuite la vache se couche, présente une tachycardie et une hypothermie avant de tomber dans le coma qui mène à la mort dans 60 à 70% des cas sans traitement.

La calcémie est peu représentative de l'apport alimentaire compte tenu de son étroite régulation.

La toxicité directe du calcium est improbable mais les régimes trop riches en calcium peuvent diminuer l'absorption du cuivre et surtout du zinc par l'augmentation du pH intestinal qu'ils induisent.

2. Le phosphore

a. Utilité biologique

Nous l'avons vu, le phosphore est impliqué avec le calcium dans la composition des os. Il est également inclus dans la molécule d'ATP, source d'énergie nécessaire à l'activité métabolique, et dans de nombreuses autres molécules d'importance capitale comme les acides nucléiques, les phosphoprotéines ou encore les phospholipides (Meschy 2017).

Les minéraux, notamment le P, sont également très importants pour le métabolisme des micro-organismes du rumen. Les apports alimentaires sont souvent suffisants pour la plupart d'entre eux même en cas d'apport insuffisant pour l'animal, parce que les besoins de ces micro-organismes sont inférieurs. Ce n'est pas le cas pour le phosphore dont ces micro-organismes ont un besoin deux fois supérieur à celui du bovin car la cellulolyse en mobilise une quantité importante (Meschy et al., 2005).

Le phosphore n'a pas d'action directe sur la reproduction mais lorsque les animaux sont soumis à une ration insuffisamment pourvue en protéine et carencée en phosphore, la supplémentation en phosphore, en permettant d'améliorer l'ingestion, permet l'amélioration des performances de reproduction (Meschy 2017).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès d'apports

La concentration physiologique de phosphore inorganique dans le sang des bovins varie entre 1,2 et 2,2 mmol/L. Le dosage le mieux représentatif du statut nutritionnel en phosphore est le dosage dans les os tandis que la concentration plasmatique n'est affectée qu'en cas de carence sévère et subit de grandes variations, notamment autour des repas (Meschy 2017).

Les carences en phosphore sont à l'origine de l'apparition de pica et plus particulièrement de l'ingestion d'os et de sols (Meschy 2017; McDowell et al. 1983). Les études menées par Theiler en Afrique du sud ont permis de corréler mâchonnement d'os et apparition de botulisme d'une part, et apparition de botulisme et présence de sols pauvres en phosphate d'autre part (cité par Boyazoglu 1973). L'ingestion de sols et d'os induite par les carences phospho-calciques a ainsi été à l'origine d'épizooties de botulisme à travers l'Afrique (Calvet et al. 1976; Ndiaye 1985; Boyazoglu 1973). Des spores de *Clostridium botulinum* de type A, responsable de forme grave de botulisme chez l'homme, et de type D, souvent incriminée chez les bovins (Ruvoen et al. 2023) sont isolés dans les sols de Zambie (Perrin 2018).

Les carences en phosphore peuvent se manifester par des boiteries associées à des paralysies du train arrière et des fractures spontanées, une perte d'appétit qui peut influencer la croissance et la production laitière des animaux (Meschy 2017).

La teneur en phosphore est souvent insuffisante dans les régimes de pâturages (Ward et al. 2005) et diminue avec la sécheresse (Meschy 2017). Lorsqu'une supplémentation en phosphore est nécessaire elle doit respecter un rapport phosphocalcique Ca :P compris entre 1,5:1 et 2:1 pour respecter le métabolisme imbriqué de ces deux minéraux. Les effets d'un rapport phosphocalcique déséquilibré s'observent à partir de 6:1 (Ward et al. 2005)-

Les céréales sont riches en phosphore et carencé en calcium. Dans les élevages intensifs où l'alimentation est très riche en céréales, l'excès de phosphore combiné au déficit en calcium lié à la croissance rapide des animaux mène à la formation de calculs urinaires, d'après le processus décrit en figure 2. Ce problème affecte majoritairement les petits ruminants du fait de particularités anatomiques favorisant l'obstruction des voies urinaires par ces calculs (Meschy 2017).

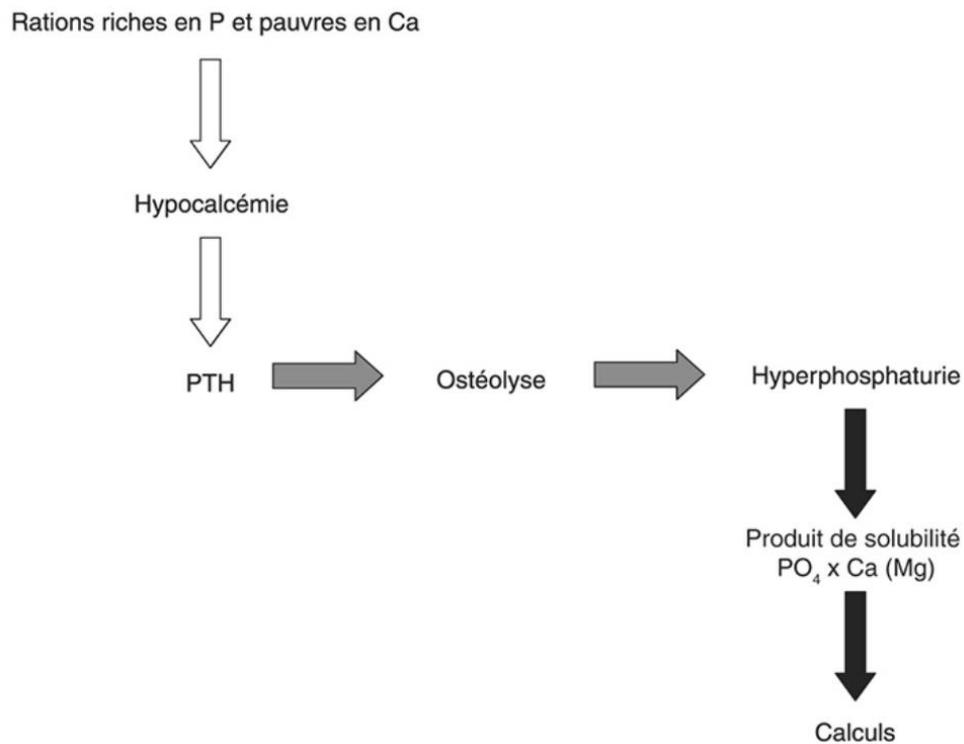


Figure 2 : Mécanisme d'apparition de l'urothiase liée à une dérégulation de l'homéostasie phosphocalcique chez les animaux en élevage intensif. Source : Meschy 2017

En dehors de ce problème spécifique de l'élevage intensif, l'excès de phosphore est très bien toléré mais son excrétion en excès dans l'environnement favorise l'eutrophisation des eaux (Meschy 2017).

3. Le magnésium

a. Utilité biologique

60 à 70% du magnésium se retrouve dans les os et 1% dans les liquides interstitiels et le plasma. Le reste est présent dans les cellules et forme, après le

potassium, le second cation intracellulaire. Ensemble ils œuvrent pour le maintien des constantes physicochimiques cellulaires. Il agit sur l'initiation des processus métaboliques, en tant que cofacteur de plus de 300 réactions enzymatiques, et sur l'activité neuromusculaire en régulant les flux cytosoliques de calcium et de potassium (Meschy 2017).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

Etant donné l'omniprésence des réactions faisant appel à ce minéral, les besoins en magnésium doivent être couverts pour ne pas perturber les grandes fonctions de l'organisme. La concentration plasmatique doit être entre 0,7 et 1,4 mmol/L et dans les urines entre 5,0 et 10,0 mmol/L. Ces valeurs sont peu sensibles à l'insuffisance d'apport et seules les carences sévère pourront être diagnostiquées, à l'approche d'un accident tétanique (Meschy 2017).

Les légumineuses sont une bonne source de magnésium. Lorsqu'un complément doit être mis en place, l'oxyde de magnésium est la forme utilisée. Du fait de son manque d'appétence, il doit être mélangé avec d'autres éléments pour assurer la prise attendue (Ward et al., 2005). Des concentrations faibles en calcium et élevées en phosphore ont tendance à favoriser l'hypomagnésémie (Ward et al., 2005).

Lorsque les fourrages sont moyennement carencés (moins de 0,8 g/kg MS), la cellulolyse par le microbiote ruminal est diminuée. La digestibilité des fibres végétales est alors réduite, ce qui induit une baisse de l'appétit et des performances (Meschy 2017) : la reproduction est moins efficace et le développement des veaux est moindre du fait d'une production laitière réduite (Ward et al. 2005).

La tétanie d'herbage apparait lors d'hypomagnésémies sévères brutales (<10mg/L) (Meschy 2017). Elle se manifeste par une polyurie et des troubles neurologiques allant des troubles du comportement et contraction anarchique des muscles faciaux, à des convulsions et à la mort de l'animal (Ward et al.2005). Le déclenchement brutal de cette hypomagnésémie majeure est provoqué par la captation du magnésium par les adipocytes pour la réalisation de leur catabolisme à la suite d'une importante lipolyse. Ainsi l'apparition de cette maladie va être permise

par, d'une part, des fourrages pauvres en magnésium et d'autre part, un facteur de stress (déficit énergétique, froid, chaleurs, etc...) induisant la sécrétion d'adrénaline qui est un facteur lipolytique chez le ruminant (cf figure 3). Les symptômes observés sont alors liés à une chute de la concentration de magnésium dans le liquide céphalorachidien (<12mg/L) (Meschy 2017). Les symptômes peuvent parfois être aggravés lorsqu'un excès de potassium est également associé comme c'est parfois observé dans les fourrages soumis à un stress hydrique (Ward et al. 2005).

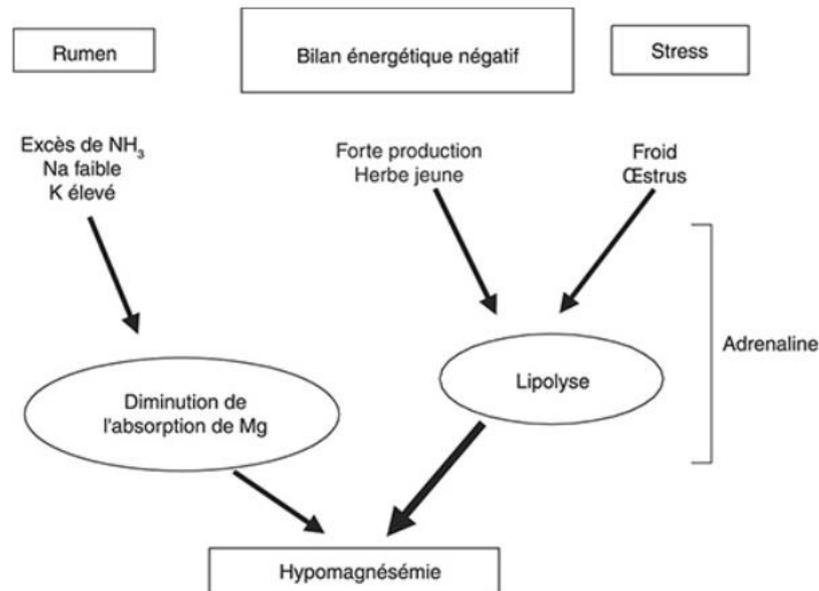


Figure 3 : Mécanisme d'initiation de l'hypomagnésémie ou tétanie d'herbage. Source : Meschy 2017

L'excès toxique de magnésium n'est pas possible dans des conditions naturelles. Dans des conditions expérimentales, il a mené à des symptômes digestifs légers (concentration de 14g/kg MS) à graves (concentration de 25 à 47 g/kg de MS) (Meschy 2017).

4. Le sodium et le chlorure

a. Utilité biologique

Les électrolytes (sodium, chlorure et le potassium) permettent le maintien des constantes physico-chimiques des compartiments liquidiens.

L'équilibre hydrique de l'organisme est permis par le jeu d'excrétion-réabsorption des électrolytes au niveau des néphrons, s'accompagnant de flux entrant et sortant d'eau, sous contrôle de l'hormone antidiurétique (ADH), du système rénine-angiotensine-aldostérone (RAAS) et du facteur natriurétique auriculaire (ANF) (Meschy 2017). Le rôle des électrolytes dans la prise de boisson les rend important pour la production laitière (Ward et al., 2005).

En constituant un gradient électrochimique entre le milieu intracellulaire et extracellulaire, les électrolytes permettent le fonctionnement neuromusculaire : contraction et transmission de l'influx nerveux (Meschy 2017).

Le chlorure intervient également dans la digestion au niveau de l'abomasum au sein de la molécule d'acide chlorhydrique (Ward et al., 2005)

Le sodium en action combinée avec le potassium, permet les transports de nutriment en antiport et symport au niveau de l'absorption intestinale et des échanges au niveau cellulaire (Ward et al., 2005).

La consommation de sel fait saliver. La salive contient du bicarbonate de soude et de l'urée. La consommation de sel favorise donc le bon fonctionnement du rumen en assurant le maintien de son pH et l'apport d'éléments indispensables au fonctionnement du microbiote et en particulier à la synthèse protéique (GDS Aveyron 2016).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

La concentration physiologique en sodium dans le plasma est de 135 à 150 mmol/L et dans les urines est de 8 à 40 mmol/L. La concentration physiologique en chlore dans le plasma est de 90 à 110 mmol/L et dans les urines est de 20-80 mmol/L. Ces concentrations sont de bons indicateurs du statut nutritionnel en sodium et chlore (Meschy 2017).

Les besoins en sel sont couverts par l'ingestion quotidienne de 2 à 3 g/kg de MS (GDS Aveyron, 2016) .

Les carences en sodium sont les plus courantes et les plus répandues dans le monde (Meschy 2017). Elles sont renforcées en cas de fourrages très riches en

potassium. Elles induisent une baisse de poids, de production laitière, d'appétit et de croissance (Ward et al., 2005) lié au défaut de fonctionnement du rumen. Elles induisent également du pica, avec consommation d'urine et de terre (Meschy 2017).

Les carences en chlorure sont peu probables en conditions naturelles (Meschy 2017)..

Les vaches peuvent tolérer un apport en sel jusqu'à 8% de la ration. Au-delà, on observe une baisse de la production et une perte de poids. Le risque de toxicité est réduit par une consommation d'eau suffisante (Ward et al., 2005). Sans accès à l'eau, la limite de tolérance est réduite à 1%. Les intoxications modérées se traduisent par une baisse de l'appétit liée à la perturbation de la pression osmotique dans le rumen et peut favoriser l'apparition d'œdème de la mamelle (Meschy 2017). Les intoxications graves au sel sont dues à la privation d'eau pendant plusieurs jours. L'accumulation d'ion et la perturbation de leur transport hors des cellules entraînent la formation d'un œdème cérébral lorsque l'accès à l'eau est de nouveau possible (Verdan-Roulet 2020).

5. Le potassium

a. Utilité biologique

98% du potassium est intracellulaire et les 2 tiers sont contenus dans les cellules musculaires et cutanées (Meschy 2017).

Nous avons vu la fonction des électrolytes dans le maintien de la pression osmotique, de l'équilibre acido-basique et de l'équilibre hydrique des organismes, et le rôle de transport de nutriment conjointement au sodium. L'augmentation de la concentration en potassium nécessite donc une augmentation similaire de la concentration de sodium pour le maintien de l'homéostasie. C'est pour cette raison qu'une forte concentration en potassium dans la ration induit une carence en sodium (Ward et al. 2005).

L'action de la pyruvate kinase et de la Na-K-ATPase, indispensables à de nombreuses réactions du métabolisme énergétique, dépendent du potassium. Il est

également nécessaire à l'entrée des acides aminés dans les cellules et au processus de formation des protéines à partir de ceux-ci (Meschy 2017).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

La concentration plasmatique est attendue entre 4 et 5 mmol/L en condition physiologique. Ces valeurs sont cependant de piètres indicateurs du statut nutritionnel en potassium des bovins à cause des puissantes régulations hormonales dont il fait l'objet (Meschy 2017).

La concentration dans les herbes et légumineuses occidentales, entre 1 et 2% de MS, suffit aux besoins des animaux qui nécessitent seulement 0,6 à 0,7% (Ward et al., 2005).

Les carences en potassium peuvent engendrer des signes peu spécifiques tels qu'une perte d'appétit, de poids, des raideurs au niveau des articulations (Ward et al. 2005), des troubles nerveux, des faiblesses musculaires et une baisse de production laitière, qui sont facilement résolus avec la correction de la carence (Meschy 2017).

La toxicité liée à l'excès de potassium a un effet indirect en facilitant l'apparition de la tétanie d'herbage par inhibition de l'absorption de magnésium (Ward et al., 2005). L'excès de potassium est rare car son élimination urinaire est efficace. Il peut cependant apparaître si l'accès à de l'eau non salée est restreint. La toxicité directe elle, n'a pu être établie que dans des conditions expérimentales.

6. Le zinc

a. Utilité biologique

Le zinc est un élément central de la machinerie enzymatique. Il intervient dans la formation des enzymes de dégradation des protéines au niveau du gros intestin, (Ward et al., 2005). Il est également cofacteur d'enzymes indispensables à la synthèse du matériel génétique et protéique. Il intervient dans la synthèse et le fonctionnement

de l'insuline et possiblement des glucocorticoïdes et de l'hormone de croissance. Par son action sur l'anhydrase carbonique, il joue un rôle dans le maintien de l'équilibre acido-basique (Meschy 2017).

Le zinc est impliqué dans la capacité de prolifération des cellules, ce qui le rend essentiel pour les processus de cicatrisation et pour le bon fonctionnement du système immunitaire qui nécessite la formation rapide de nouvelles cellules en grande quantité (Sheetal et al., 2014). Une prolifération cellulaire rapide est également indispensable à la réparation de la muqueuse utérine en post-partum, ce qui implique le zinc dans le retour de la fonction reproductrice après vêlage (Sheetal et al., 2014).

Le zinc a un rôle important pour les fonctions de reproduction. Anchordoquy et al. (2019) ont étudié l'effet de l'injection de 400mg de sulfate de zinc au début d'un protocole d'insémination artificielle à temps fixe. Le taux de gestation était de 80,95% sur le lot test contre 51,61% sur le lot non traité. Chez les individus ayant initialement un taux de Zn plasmatique approprié, on observait une augmentation du diamètre du follicule pré-ovulatoire, donc une amélioration de la fertilité ; ainsi qu'une augmentation de la concentration en progestérone, donc un meilleur établissement et maintien de la gestation. Chez les individus initialement carencés en Zn, on observait en plus une augmentation du diamètre du corps jaune. Ces observations sont dues à l'importance du zinc dans la production de LH et de FSH (Lemay 2019).

Chez le mâle, les travaux de Kumar et al. (2006) ont montré qu'une supplémentation en zinc pendant 6 mois permettait de voir une augmentation significative pour différents paramètres étudiés : le volume de l'éjaculat, le nombre de spermatozoïdes par éjaculat, la concentration spermatique, la mobilité des spermatozoïdes, la vitalité des spermatozoïdes et montrait de façon globale une meilleure capacité fonctionnelle des spermatozoïdes dans le groupe complétement par rapport au groupe témoin. Le rôle du zinc dans la multiplication cellulaire explique son importance dans le processus de spermatogénèse (Arthington et al., 2021) et son importance dans la synthèse de la testostérone achève d'expliquer l'importance de ce minéral pour la reproduction des mâles (Meschy 2017).

Le zinc est impliqué dans le maintien du tissu épithélial et la formation de la kératine, ce qui lui donne un rôle primordial dans le maintien de la barrière contre les infections et dans la santé des pis et des onglons (Sheetal et al., 2014; Gressley 2009)

La régulation du taux sanguin de vitamine A par mobilisation des réserves hépatiques et la conversion du rétinol en rétinol sont sous contrôle du zinc qui intervient donc dans la qualité de la vision (Meschy 2017)

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

Les besoins en zinc sont difficiles à quantifier du fait de l'absence de pool tissulaire (sanguin, osseux, hépatique,...) ou d'enzyme spécifique permettant de suivre le statut des animaux (NRC, 2016). Le dosage plasmatique donne une bonne interprétation du statut nutritionnel en zinc des animaux. Dans des conditions physiologiques, il doit être compris 0,8 et 1,2 mg/L. Certaines précautions sont toutefois à prendre pour l'interprétation du résultat. Si l'échantillon est hémolysé, la concentration sera faussement augmentée par la libération du contenu des hématies, 5 fois plus riche en zinc que le compartiment sanguin. Les bouchons de caoutchouc, riches en zinc, sont à proscrire. Il est recommandé de mesurer la cuprémie pour détecter une hausse des concentrations liée à un phénomène inflammatoire, ce qui entraînera une concentration élevée des deux minéraux (Meschy 2017).

Étant donné son large spectre d'action, les besoins en zinc sont relativement élevés. Il se trouve en quantité intéressante dans certains fourrages, graines et protéines. Cependant, pour des animaux nourris seulement par pâturage, l'apport des fourrages peut ne pas être suffisant, en particulier en période de stress (Ward et al., 2005).

Les carences en zinc s'accompagnent d'anorexie, d'un pauvre gain de poids, d'une hypersalivation, d'un pelage dru et du gonflement des membres distaux. Dans les cas les plus critiques, les manifestations cutanées s'intensifient avec une alopecie, un épaissement de la peau et des ulcérations autour du nez et de la bouche (Ward et al., 2005). Les ongles sont mous, fragiles et parfois déformés. Le défaut de kératinisation des trayons pourrait nuire à leur intégrité et favoriser l'apparition de mammites (Meschy 2017).

De même que pour le calcium, les vaches présentant des rétentions ont des concentrations sanguines en zinc à 0h et 12h post-partum significativement inférieures

à celles des vaches n'en présentant pas (Sheetal et al., 2014). Cette conséquence est en lien avec le rôle du zinc dans la prolifération cellulaire et le maintien du tissu épithélial (Lemay 2019). De manière générale, tous les stades de la reproduction peuvent être atteints du fait du déficit énergétique induit par la modification du comportement alimentaire observé en cas de carence en zinc (Meschy 2017).

Chez les mâles le défaut de zinc s'accompagne d'un ralentissement du développement testiculaire (Meschy 2017).

Le risque toxicité du zinc par l'apport alimentaire est infime. Expérimentalement, il est atteint à partir de 600 ppm et se caractérise, de façon directe, par une baisse de l'appétit et de la croissance ; et indirectement, par des anémies liées à des carences secondaires à un défaut d'absorption du cuivre et du fer induit par un antagonisme compétitif (Meschy 2017).

7. Le manganèse

a. Utilité biologique

Le manganèse joue un rôle dans la synthèse et la transformation des protéines (Reis et al. 2014), ainsi que dans leur recyclage dans le cycle de l'urée par activation d'enzymes Mn- dépendantes (Arthington et al., 2021).

Il est impliqué dans le métabolisme des glucides et dans celui des lipides (Reis et al. 2014), notamment la synthèse du cholestérol, donc dans la synthèse des hormones stéroïdiennes (Lemay 2019).

La glycosyl transférase, nécessaire à la synthèse du cartilage, est activée par le manganèse, ce qui lui donne un rôle important pour la croissance (Arthington et al., 2021).

Il est présent dans le corps jaune et assure ainsi la mise à terme de la gestation (Lemay 2019).

Le manganèse compose (Mn-superoxyde dismutase) ou active (Mn-catalase et Mn-peroxydase) des enzymes impliquées dans le système antioxydant (Meschy 2017).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

Il est rarement déficient dans les fourrages occidentaux (Arthington 2021) mais l'excès de Ca et P inhibe son absorption (Ward et al., 2005). La concentration plasmatique en manganèse est peu corrélée au statut nutritionnel de l'animal mais une valeur <20 µg/L dans le sang total révèle une probable insuffisance alimentaire.

En cas de carence en manganèse, on observe des cycles irréguliers, un taux de reproduction diminué, des difficultés à la naissance plus nombreuses, un taux d'avortement supérieur à la normale et des veaux présentant un faible poids à la naissance et une faible croissance par la suite (Ward, Lardy 2005; Arthington et al., 2021). A cause des défauts de cartilage, les jeunes animaux carencés peuvent présenter des malformations squelettiques, notamment des jarrets droits. Chez les veaux, cela peut se traduire par du brachygnathisme, un nanisme, des membres non fonctionnels à causes de gonflements articulaires, un raccourcissement ou une torsion des os (Arthington et al., 2021, Meschy 2017). Les nouveau-nés peuvent présenter de l'ataxie liée à un défaut de synthèse des otolithes (Meschy 2017).

L'excès de manganèse est délétère pour la qualité des spermatozoïdes en nuisant à l'intégrité du plasma et à celle de la membrane acrosomique (Reis et al. 2014). En dehors de cet effet sur les mâles reproducteur, l'excès de manganèse est très bien toléré avec une limite de toxicité de 1 000 ppm (Ward et al., 2005) grâce à une faible absorption intestinale et une grande capacité d'excrétion dans la bile (Arthington, et al., 2021). Cependant, les interactions du manganèse avec d'autres minéraux peuvent faire baisser le seuil de tolérance pour les minéraux impliqués (Ward et al., 2005).

8. Le cobalt

a. Utilité biologique

Le cobalt est essentiel au métabolisme du microbiote qui l'utilise pour la synthèse des vitamines B₁₂, elles-mêmes indispensables à la formation du propionate, source d'énergie importante pour les bovins (Ward et 2005). Cette utilisation par le microbiote implique un apport accru pour subvenir à leurs besoins qui sont supérieurs à ceux de l'animal (Meschy et al., 2005). Le cobalt peut également se substituer au zinc dans la formation des enzymes de dégradation des protéines au niveau du gros intestin (Ward et al., 2005).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

La concentration plasmatique physiologique du Cobalt se situe entre 0,15 µg/L et 0,50 µg/L et celle de la vitamine B₁₂ entre 0,40 µg/L et 0,90 µg/L. Elles sont considérées comme des représentations fidèles du statut en cobalt des animaux (Meschy 2017).

Les carences en cobalt sont accompagnées d'une diminution de l'appétit, de la production laitière et de la croissance des animaux qui sont souvent apathiques et présentent un pelage dru (Ward et al., 2005). En cas de carences, la diminution du métabolisme de la vitamine B₁₂ entraîne une défaillance du métabolisme des lipides (Arthington et al., 2021).

Les excès de cobalt sont très bien tolérés. Les vaches peuvent supporter un apport jusqu'à 100 fois supérieur à leurs besoins (Arthington et al. 2021; Meschy 2017).

9. Le sélénium

a. Utilité biologique

Le sélénium est un excellent anti-oxydant lorsqu'il forme des séléno-enzymes capables d'agir sur les Espèces Réactives de l'Oxygène (ROS, *Reactive Oxygen Species*) et de gérer la régulation rédox. La sélénométhionine s'est même récemment vu attribuer un rôle dans la réduction des cancers de la peau, des poumons, de la prostate et du colon en médecine humaine (Ward et al., 2005).

Il permet d'augmenter l'activité phagocytaire et bactéricide des neutrophiles notamment par l'augmentation de l'expression des molécules d'adhésion par les neutrophiles.

Le stress oxydatif est un facteur de dysfonctionnement de l'inflammation et de l'immunité. En particulier si un stress métabolique est associé, comme dans la période péri-partum, les chaleurs ou les états pathologiques. Par son action antioxydante et de soutien au système immunitaire, l'apport suffisant de sélénium pendant ces périodes permet de favoriser la bonne santé des femelles (Loreto Palacio et al. 2022 ; Gressley 2009). Par exemple, la durée et la sévérité des mammites est significativement moins importante chez les femelles recevant un apport en sélénium suffisant, le risque de métrite et rétention placentaire sont également réduits (Loreto Palacio et al. 2022; Lemay 2019).

Le sélénium fonctionne en synergie avec la vitamine E. Les études portant sur l'effet de la complémentation en sélénium sur le taux de gestation montrent que l'augmentation de celui-ci est observée plutôt lorsque ces deux éléments sont administrés conjointement (Lemay 2019).

Le sélénium intervient dans la désiodisation de la T4. Ainsi, en cas d'apport sélénié insuffisant, le rapport T4/T3 augmente (Meschy 2017).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

Bien que le dosage hépatique soit le meilleur indicateur du statut nutritionnel en sélénium des animaux, le dosage plasmatique est couramment pratiqué. Sa valeur

physiologique est attendue entre 0,08 et 0,5 mg/L et son seuil de toxicité est de 0,8 mg/L (Meschy 2017).

Le sélénium est généralement l'oligo-élément le plus déficient dans les régimes de pâturage, même si certains, à l'inverse, peuvent le contenir en excès, notamment aux Etats-Unis (Arthington et al., 2021). La complémentation sous forme de sélénium organique montre de meilleurs résultats que le sélénium inorganique (Lemay 2019). Les pâtures riches en soufre peuvent induire des carences en sélénium par antagonisme compétitif du fait de structures proches (Arthington et al., 2021).

En cas de carence, la maladie des muscles blancs se développe, conséquence d'un stress oxydatif important au niveau des muscles, entraînant leur dégénération, en absence de l'action sélénium-dépendante de la glutathionne peroxydase. La dégénération induit alors une couleur blanchâtre des muscles (Arthington et al., 2021). Elle peut se déclarer quelques jours après la mise bas ou 4 mois après et se manifeste par des troubles locomoteurs et une position de miction anormale. La myopathie est également possible mais très rare chez les adultes (Meschy 2017).

En cas de carence en sélénium, on observe également une réduction des performances reproductives et un nombre accru de rétentions placentaires (Ward et al., 2005). Le sélénium serait impliqué dans la nidation et dans le bon fonctionnement ovarien. Ainsi la carence augmente la mortalité embryonnaire dans le premier mois de gestation et la présence de kystes ovariens. Elle altère également la fertilité chez les mâles (Meschy 2017).

On observe également une réduction de l'efficacité de la phagocytose donc de l'efficacité du système immunitaire et, chez les veaux nouveau-nés, les carences en sélénium induisent le syndrome du veau faible (Arthington et al., 2021).

Son seuil de tolérance est plutôt bas : 5 ppm, ce qui a longtemps rendu compliqué sa complémentation. Bien que la complémentation en sélénium organique montre de meilleurs résultats, elle est également plus délétère pour le foie et l'intestin grêle que le sélénium inorganique. Des signes de toxicité tels que boiterie par altération des cartilages, l'ataxie, l'alopécie et la chute des onglons et de nombreux problèmes autour de la naissance apparaissent dans les zones arides ou un taux élevé de calcium est

associé à un taux élevé de sélénium (Ward et al., 2005). Le seuil de tolérance bas additionné à des concentrations variables et parfois excessive dans les pâturages ont poussé la Food and Drug Administration (FDA), à imposer une limite de 0,3 mg/kg de MS dans les aliments pour animaux ou 3 mg/j (Arthington et al., 2021).

10. Le cuivre

a. Utilité biologique

De nombreuses métalloenzymes contiennent du cuivre. Certaines d'entre elles occupent un rôle important dans la coordination de la réponse immunitaire. Ainsi, 90% du cuivre sanguin se retrouve sous forme de céruloplasmine, une des protéines majeures de phase aiguë de l'inflammation chez les bovins. Les études de l'impact des carences en cuivre ont également pu montrer son rôle dans la fonction humorale et phagocytaire des cellules immunitaires (Arthington et al. 2021).

D'autres métalloenzymes ont besoin du cuivre pour assurer le fonctionnement du système nerveux par la synthèse de myéline et des catécholamines (Meschy 2017).

Comme le zinc, le cuivre entre dans la composition de la kératine. Il est responsable de l'activation de l'enzyme responsable de l'oxydation des groupes thiols, permettant ainsi la liaison des ponts disulfure entre les cystéines et donc d'assurer la stabilisation de la matrice des cellules de kératine. Il est donc important pour la croissance et la santé des onglons (Ward et al. 2005).

Le soufre et le molybdène sont associés au cuivre pour la formation de nombreuses enzymes impliquées dans le métabolisme des vitamines et acides nucléiques (Ward et al. 2005).

Il joue également un rôle dans la santé des globules rouges car la ferroxydase, métalloenzyme Cu dépendant, intervient dans le métabolisme du fer et dans l'hématopoïèse (Meschy 2017).

Certaines infertilités répondant à une complémentation en cuivre ont longtemps prêté au cuivre un rôle important dans la reproduction. Des études ont finalement montré que ce rôle est en fait indirect. C'est la formation du thiomolybdène, puis son interaction négative avec les enzymes Cu-dépendantes qui vont venir perturber la

synthèse d'hormones stéroïdiennes par les ovaires ((Arthington et al., 2021). Phillipou et al. (1987), ont montré que le retard de la survenue de la puberté chez des génisses était dû à l'action directe du Mo plutôt qu'à l'existence de carences en cuivre.

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

La concentration plasmatique physiologique du cuivre est attendue entre 0,8 et 1,5 mg/L. Bien que la cuprémie soit fortement influencée par la mobilisation des réserves hépatiques et puisse être doublée par l'existence d'un processus inflammatoire en cours, elle reste un indicateur intéressant du statut nutritionnel en cuivre des ruminants. Le dosage dans le foie est plus précis (Meschy 2017).

C'est le deuxième oligo-élément le plus déficient (Arthington et al. 2021). Les sols dont le pH est supérieur à 7.0 voient leur biodisponibilité diminuée et une complémentation devient nécessaire. Les formes solubles (CuSO₄, CuCl) ont une meilleure absorption que l'oxyde de cuivre (Ward et al. 2005).

Les carences en cuivre peuvent être secondaires à un excès de soufre, de fer ou de molybdène (Lemay 2019). Comme pour le phosphore et le calcium, un rapport Cu : Mo doit être respecté et l'excès de l'un entraîne la carence de l'autre. De plus la liaison avec le molybdène sous forme de thiomolybdène rend le cuivre indisponible pour les animaux. Le zinc, le fer, le molybdène et le phosphore en grande quantité ont, pour effet de réduire l'absorption du cuivre par antagonisme compétitif. Ainsi, on observe parfois des signes de carences en cuivre malgré un apport suffisant (Ward et al. 2005).

Etant donné le rôle de la céruloplasmine, les carences en cuivre induisent une défaillance de la réaction de la phase aigüe qui se manifeste par la formation d'haptoglobine et de fibrinogène en grande quantité. Cette défaillance de la réaction de phase aigüe diminue l'efficacité des phénomènes qui la déclenche : la réponse immunitaire innée à une maladie ou la pratique d'une vaccination (Arthington et al. 2021).

Des troubles de l'ossification, liés à une baisse d'activité de la lysyloxydase, une autre cuproenzyme, sont à l'origine de fractures spontanées des os longs (Meschy 2017)

Les carences en cuivre induisent un changement de couleur du pelage qui devient plus clair et terne, une diminution du taux de reproduction, des diarrhées importantes, des os fragiles, et une réponse immunitaire moins efficace (Ward et al. 2005).

Chez les agneaux et plus rarement les veaux, la carence en cuivre induit le déclenchement de l'ataxie enzootique par défaut de synthèse ou dégénération de la myéline. Elle se manifeste par une parésie postérieure donnant une démarche chaloupée, voire une paraplégie ou une paralysie totale. La mort dès la naissance est également possible (Meschy 2017).

La toxicité du cuivre, s'observe à partir de 30-40 mg/kg MS. Elle se déroule en 2 phases. La première phase est dite « silencieuse » car les symptômes sont discrets (légère baisse d'appétit ou anémie), ou absents. Cette phase peut durer quelques semaines à plusieurs mois tandis que la suivante est brutale. La libération soudaine de cuivre entraîne une crise hémolytique qui se caractérise par une hémoglobinurie, un ictère hémolytique et une nécrose rénale plus ou moins marquée conduisant à la mort de l'animal (Meschy 2017).

11. L'iode

a. Utilité biologique

L'iode intervient dans la production des Hormones Thyroïdiennes (HT), ce qui lui confère un rôle primordial dans le contrôle de l'activité métabolique des organismes : mécanismes d'oxydation cellulaire, synthèse des protéines, métabolisme basal, système immunitaire et thermorégulation (Meschy 2017).

Lors de la croissance fœtale, les HT contrôlent le développement du cerveau et de l'appareil cardio-respiratoire (Meschy 2017).

Les ovaires sont les tissus les plus riches en HT qui contrôlent leur fonctionnement. Leur rôle sur la reproduction est également renforcé par leur influence sur la synthèse des hormones gonadotropes et sur la saisonnalité (Meschy 2017).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

Les concentrations plasmatiques de l'iode total en conditions physiologiques sont attendues entre 100 et 400 µg/L. Elles peuvent être couplées au dosage des hormones thyroïdiennes qui dépendent cependant de nombreux facteurs indépendants du statut nutritionnel en iode des animaux. Le dosage de l'iode dans le lait est également pertinent (Meschy 2017).

Les conséquences d'un défaut en iode sont ainsi ceux d'un défaut de production de T4 c'est à dire ralentissement du métabolisme affectant la santé du troupeau ainsi que sa production laitière et la croissance des veaux. En cas de carence sévère, l'apparition d'un goitre est à prévoir et les veaux nés de mères carencées peuvent être faibles, aveugles, glabres ou même mort-nés (Ward et al. 2005). Lorsque les animaux survivent, l'insuffisance de développement du système nerveux central lors du développement fœtal entraîne la persistance d'une incoordination motrice (Meschy 2017).

Les femelles ne recevant pas suffisamment d'iode ont des cycles irréguliers, voire suspendus, car la synthèse d'œstrogènes est diminuée. De même, le manque de HT induit une insuffisance du développement fœtal à l'origine d'avortements (Meschy 2017).

Les carences en iode sont parfois liées à des niveaux élevés de fluorure qui inhibe son absorption (Ward et al., 2005) ou à la présence d'autres substances goitrogéniques comme le thiocyanates et le glycosinolate (Arthington et al. 2021).

La toxicité à l'iode est extrêmement rare chez les bovins (Arthington et al. 2021).

12. Le fer

a. Utilité biologique

Le fer se retrouve sous forme de Fe^{2+} dans l'hémoglobine et la myoglobine ou sous forme de Fe^{3+} associé à des protéines de transport (transferrine) ou de stockage (ferritine). Il possède ainsi un rôle primordial dans la respiration cellulaire (Meschy 2017).

Il intervient également dans le processus de détoxification cellulaire en tant que constituant des cytochromes et de certaines enzymes oxydoréductrices comme les peroxydases (Meschy 2017).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès d'apports

La recherche du statut ferrique n'est pas une pratique courante chez les ruminants (Meschy 2017) car les carences en fer sont extrêmement rares. C'est une ressource abondante dans l'alimentation des bovins et leurs besoins en fer sont modérés (Meschy 2017).

L'excès de fer nuit au fonctionnement digestif, notamment par la diminution de la digestibilité de la matière sèche (Meschy 2017).

De plus, le fer interagit avec de nombreuses molécules, réduisant alors leur absorption. C'est le cas du phosphore et du cuivre et dans une moindre mesure du zinc et du manganèse (Meschy 2017).

13. Le molybdène

a. Utilité biologique

Le molybdène est intéressant dans son rôle conjoint au cuivre pour la formation d'enzymes impliquées dans le métabolisme des vitamines et des nucléotides. Ainsi,

un ratio Cu : Mo compris entre 2:1 et 4:1 doit être respecté pour assurer les performances des bovins en pâture (Ward et al. 2005).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

La plupart des sols contiennent des quantités suffisantes en molybdène pour subvenir au besoin des animaux.

Le molybdène est un antagoniste compétitif du cuivre et sa présence en excès nuit à l'absorption du cuivre (Arthington et al. 2021). Il nuit également à sa biodisponibilité par la formation de thiomolybdate (Ward et al. 2005). Les conséquences d'un excès de molybdène sont alors ceux d'une carence en cuivre.

14. Le soufre

a. Utilité biologique

De même que le phosphore et le cobalt, les besoins en soufre du microbiote ruminal sont largement supérieurs à ceux des bovins (Meschy et al. 2005). Ce besoin en sulfure s'explique par son incorporation dans les acides aminés soufrés synthétisés aussi bien par les vaches que par les micro-organismes du rumen (Ward et al., 2005). Sous forme de sulfate, il intervient dans l'homéostasie acido-basique systémique. Il entre dans la constitution des acides aminés soufrés, des vitamines et des hormones ce qui le rend indispensable à toutes les grandes fonctions biologiques. Il est également indispensable à la synthèse du cartilage et des phanères (Meschy 2017).

b. Conséquences en cas de défaut et d'excès

Le meilleur indicateur du statut nutritionnel en soufre est la teneur dans la ration (Meschy 2017). En occident, les carences sont peu observées car les graines ou la luzerne par exemple sont très riches en soufre. En revanche, le foin de poacées contient peu ou pas de soufre (Ward et al. 2005).

Les carences en soufre, bien que rare, induisent perte d'appétit, de poids et d'énergie. Elles impliquent également une moindre efficacité de l'utilisation de différentes formes d'azote non protéique, elles-mêmes à l'origine d'une baisse de la croissance microbienne et de la qualité de l'activité fermentaire (Ward et al. 2005).

La quantité maximale tolérable est de 0,30- 0,50% (Arthington, 2021). Le soufre est un antagoniste de plusieurs minéraux donc sa présence en excès nuit au métabolisme du cuivre, du sélénium, du molybdène et de la thiamine (Arthington et al., 2021; Ward et al., 2005). L'excès de soufre favorise la production de sulfure d'hydrogène, gaz toxique qui induit des lésions nécrotiques au niveau de l'encéphale. Ces lésions sont à l'origine de polioencéphalomalacie (PEM), manifestées par des troubles neurologiques allant jusqu'à la mort. De plus, le soufre limite le métabolisme de la thiamine qui est un traitement efficace de la PEM (Patterson et al., 2003).

15. Besoins en minéraux dans l'alimentation des bovins

Les différentes études sur les besoins en minéraux des bovins de boucherie permettent l'établissement de grilles de recommandations d'apports de minéraux pour ces bovins. En France, l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) fixe ses propres recommandations. Aux États-Unis c'est le Nutrient Requirement Council (NRC) qui établit ses recommandations. Des révisions régulières de leurs recommandations sont publiées au fur et à mesure que des avancées scientifiques sont faites sur le sujet de l'alimentation animale. Les plus récentes sont la 8^{ème} révision du Nutrient Requirement of beef cattle du NRC en 2016 et L'Alimentation des Ruminants : INRA 2018.

a. Apports en oligo-éléments établis par le NRC et l'INRA

Les besoins en oligo-éléments sont établis de façon indépendante de la condition physiologique des animaux dans ces deux ouvrages, à l'exception de l'INRA,

qui considère une augmentation des besoins en I et Se chez les femelles en lactation. Une marge de sécurité par rapport au seuil de carence est alors prévu pour permettre de couvrir les besoins des animaux malgré les variations individuelles des besoins. Les recommandations sont également choisies bien en deçà des limites de toxicité pour prévenir tout risque de leur apparition. Cette fenêtre de sécurité est cependant moins large pour le cuivre et surtout pour le sélénium étant donné la faible tolérance pour ces minéraux par les ruminants (Meschy 2017). Le tableau 1 compare les recommandations INRA 2018 et NRC 2016 pour l'apport en oligo-éléments chez les bovins de boucherie.

Tableau 1 : Comparaison des recommandations d'apport en oligo-éléments pour les bovins de boucherie d'après l'INRA 2018 ou d'après le NRC 2016.

* 0,5 à 0,8 en fonction de la production de lait

** 0,1 à 0,2 en fonction de la production de lait

		INRA 2018	NRC 2016
Cobalt	ppm	0,3	0,15
Cuivre	ppm	10	10
Iode	ppm	0,5*	0,5
Fer	ppm	/	50
Manganèse	ppm	50	40
Sélénium	ppm	0,1**	0,1
Zinc	ppm	50	30

L'absorption des oligo-éléments est intestinale et faible. La disponibilité des oligo-éléments subit l'effet de nombreuses interactions (cf tableau 2) (Meschy 2017).

Tableau 2 : Phénomènes d'interaction avec la disponibilité des oligo-éléments.

Minéral	Antagonistes	Phénomène en cause
Cu	Fe, Cd	Compétition pour les protéines de transport
	Mo, S	Antagonisme + Formation de thiomolybdates
	Carence en Fe	Mobilisation des réserves hépatiques en Fe grâce à la ferroxidase qui nécessite du Cu
	Tannins polyphénols	Absorbent le Cu, diminuant son absorption digestive (Meschy 2017)
Zn	Fe, Cd	Compétition pour les protéines de transport
	Tannins polyphénols	Absorbent le Zn, diminuant son absorption digestive
	Acides phytiques	Insolubilise le Zn (Meschy 2017)
Mn	Ca, P en excès	Limite son absorption (Ward et al. 2005)
Se	S	Antagoniste (Meschy 2017)

a. Apports en macroéléments établis par le NRC et l'INRA

Le soufre sera traité ici mais il possède un statut intermédiaire. Sa concentration dans l'organisme et l'importance de l'apport recommandé dans la ration l'apparente à un macro-élément, mais l'incapacité à déterminer son absorption du fait de perte sous forme gazeuse non quantifiables empêche de le classer comme tel (Meschy 2017).

Les besoins en macroéléments ont été quantifiés pour les principaux états physiologiques des animaux. Les besoins totaux correspondent à la somme des besoins d'entretien et des besoins de production : croissance, gestation ou lactation. Pour Ca, P, Mg et Na, ils sont exprimés en éléments absorbables, dépendant du Coefficient d'Absorption Réel (CAR).

Les recommandations de l'INRA sont présentées sous forme de formules à additionner pour obtenir les besoins totaux des animaux en fonction de leur statut

physiologique, de leur production, de leur poids vif, et pour le calcium et le phosphore, en fonction également de la Matière Sèche Volontairement ingérée (MSVI).

Les formules de calcul des recommandations de l'INRA 2018 figurent dans les tableaux 3 pour les besoins à l'entretien et le tableau 4 pour les besoins de production qui doivent leur être ajoutés.

Tableau 3 : Recommandations sur les besoins d'entretien (g/j) en macro-éléments absorbables en fonction du statut physiologique des animaux, d'après INRA 2018

Catégories d'animaux	P	Ca	Mg	Na	Cl	K	S
Croissance	0,83 MSVI + 0,002 PV	0,663 MSVI + 0,008 PV	0,007 PV	0,015 PV	0,023 PV	0,07 PV	2g/kg MS
Gestation		0,015 PV			0,023PV		
Lactation		0,663 MSVI + 0,008 PV		0,023 PV	0,035PV	0,115 PV	

Tableau 4 : Recommandations INRA 2018 sur les besoins de production (g/j) en macro-élément absorbables des bovins.

Sg = semaines de gestation

PV = Poids Vif et PVad = PV à l'âge adulte

P	Ca	Mg	Na	Cl	K
Croissance (par kg de gain)					
$1,2 + 4,66 PV_{ad}^{0,22} \times PV^{-0,22}$	$9,83 PV_{ad}^{0,22} \times PV^{-0,22}$	0,40	1,40	1,00	1,60
Gestation (dernier tiers)					
$\frac{7,38}{1 + e^{(19,1 - 5,46 \times \log(sg))}}$	$\frac{23,5}{1 + e^{(18,8 - 5,03 \times \log(sg))}}$	0,30	1,30	1,00	1,00
Lactation (par kg de lait)					
0,90	1,25	0,15	0,45	1,15	1,50

Les formules de calculs des besoins d'entretien en Ca et P d'après NRC 2016 dépendent du Poids Vif (PV) des animaux ; et pour le besoin en phosphore des animaux en croissance et en gestation, il tient également compte de la Matière Sèche Volontairement Ingérée (cf tableau 5). Les besoins sont exprimés en élément total.

Tableau 5 : Recommandations sur les besoins d'entretien (g/j) en calcium et phosphore en fonction du statut physiologique des animaux. D'après NRC 2016

Catégories d'animaux	P	Ca
Croissance	1MSVI + 0,002 PV	0,031 PV
Gestation		0,015 PV
Lactation	0,8 MSVI	0,031 PV

L'expression des besoins totaux en calcium et phosphore peut ensuite être adaptée à l'âge de la vache, de son poids, de l'avancement de la gestation, de la valeur du pic de production laitière, de l'avancement dans la période de lactation. Pour rendre leur utilisation plus facile, ces valeurs de besoins totaux établis d'après les normes du NRC font l'objet de publications de grandes tables de valeurs mise en page comme illustré dans le tableau 6.

Tableau 6 : Exemple de présentation des tables de valeurs d'après les recommandations du NRC pour la couverture des besoins en calcium et phosphore des bovins de boucherie.
Source : Beef Cattle Nutrition Series, Nutrient Requirement Tables éditions révisée en 2018.

Table 4. Mature Cow Requirements at Mature Unshrunk Weight

Mature Weight: Peak Milk Period	Month Since Calving	Daily Nutrients Required					Daily Nutrients as Percentage of Intake					
		TDN (lbs)	NEm (Mcal)	CP (lbs)	Ca (lbs)	P (lbs)	Intake lbs DM/d	TDN %DM	NEm Mcal/lb	CP %DM	Ca %DM	P %DM
1,100 lbs												
11 lb Peak												
Early Lactation	1	13.46	13.1	2.26	0.06	0.04	23.2	58	0.56	9.7	0.26	0.17
	2	14.13	13.9	2.46	0.066	0.044	23.9	59.1	0.58	10.3	0.28	0.18
Mid Lactation	3	13.79	13.5	2.35	0.063	0.042	23.5	58.6	0.57	10	0.27	0.18
	4	13.12	12.7	2.14	0.057	0.039	22.8	57.4	0.56	9.4	0.25	0.17
	5	12.52	12	1.94	0.051	0.035	22.2	56.4	0.54	8.7	0.23	0.16
Mid Gestation	6	11.94	11.3	1.77	0.046	0.032	21.6	55.3	0.52	8.2	0.21	0.15
	7	11.59	10.9	1.64	0.042	0.03	21.2	54.7	0.51	7.8	0.2	0.14
	8	9.64	8.3	1.34	0.033	0.025	19.8	48.7	0.42	6.8	0.16	0.13
Late Gestation	9	9.91	8.7	1.39	0.033	0.025	19.9	49.9	0.44	7	0.16	0.13
	10	10.32	9.3	1.47	0.054	0.034	20	51.6	0.46	7.4	0.27	0.17
	11	11.03	10.3	1.61	0.054	0.034	20.3	54.2	0.51	7.9	0.26	0.16
	12	12.06	11.7	1.83	0.054	0.034	20.9	57.6	0.56	8.8	0.26	0.16
18 lb Peak												
Early Lactation	1	14.47	14.3	2.58	0.069	0.046	24.3	59.6	0.59	10.6	0.28	0.19
	2	15.38	15.4	2.85	0.077	0.05	25.2	61	0.61	11.3	0.3	0.2
	3	14.88	14.8	2.7	0.073	0.048	24.7	60.3	0.6	10.9	0.29	0.19
Mid Lactation	4	14.04	13.8	2.43	0.065	0.043	23.8	59	0.58	10.2	0.27	0.18
	5	13.19	12.8	2.15	0.057	0.039	22.9	57.6	0.56	9.4	0.25	0.17
	6	12.44	11.9	1.92	0.05	0.035	22.1	56.3	0.54	8.7	0.23	0.16
Mid Gestation	7	11.93	11.3	1.75	0.045	0.032	21.5	55.4	0.52	8.1	0.21	0.15
	8	9.64	8.3	1.34	0.033	0.025	19.8	48.7	0.42	6.8	0.16	0.13
	9	9.91	8.7	1.39	0.033	0.025	19.9	49.9	0.44	7	0.16	0.13
Late Gestation	10	10.32	9.3	1.47	0.054	0.034	20	51.6	0.46	7.4	0.27	0.17
	11	11.03	10.3	1.61	0.054	0.034	20.3	54.2	0.51	7.9	0.26	0.16
	12	12.06	11.7	1.83	0.054	0.034	20.9	57.6	0.56	8.8	0.26	0.16

Les recommandations du NRC formule des besoins totaux en magnésium, potassium, sodium, et soufre, dépendant du statut physiologique de l'animal mais pas de sa production (voir tableau 7).

Tableau 7 : Recommandations NRC 2016 sur les besoins totaux en Mg, K, Na et S en fonction du statut physiologique des animaux (en % MS)

Minéral	Croissance / Engraissement	Gestation	Lactation	Concentration maximales tolérables
Mg	0,10 %	0,12 %	0,20 %	0,40 %
K	0,60 %	0,60 %	0,70 %	2 %
Na	0,07 %	0,07 %	0,10 %	
S	0,15 %	0,15 %	0,15 %	0,4 %

Pour mieux comparer les recommandations de ces deux organismes, le tableau 8 présente les besoins en macroéléments et oligo-éléments d'après INRA 2018 et NRC 2016 à partir d'un profil exemple d'une vache de 400kg, avec une production de lait de 4,5 kg, ou une gestation au 9ème mois, et MSVI = 9 kg.

Tableau 8: Comparaison des recommandations pour l'alimentation minérale des bovins de boucherie d'après l'INRA ou d'après le NRC à partir d'un exemple.

Profil = vache de 400kg, NEC 2, production de lait 4,5 kg ou gestation 9ème mois et MSVI = 9 kg

		Vaches gestantes		Vaches lactation	
		INRA 2018	NRC 2016	INRA 2018	NRC 2016
Calcium	%	0,4 à 0,5	0,26	0,4	0,28
Phosphore	%	0,23	0,16	0,21	0,18
Magnésium	%	0,17	0,12	0,2	0,2
Potassium	%	0,4	0,60	0,6	0,7
Sodium	%	0,2	0,07	0,1	0,1
Soufre	%		0,15		
Cobalt	ppm	0,3	0,15	0,3	0,15
Cuivre	ppm	10	10	10	10
Iode	ppm	0,5	0,5	0,5*	0,5
Fer	ppm	/	50	/	50
Manganèse	ppm	50	40	50	40
Sélénium	ppm	0,1	0,1	0,1**	0,1
Zinc	ppm	50	30	50	30

II. Alimentation minérale des bovins en Afrique sub-saharienne

1. Connaissances sur la disponibilité des minéraux en Afrique sub-saharienne

a. Composition des sols

Les résultats de différentes études présentant la composition en minéraux des sols dans des pays d'Afrique sub-saharienne sont synthétisés dans le tableau 9.

Tableau 9: Synthèse des résultats d'analyse de sols réalisés en Afrique sub-saharienne. Les résultats entre parenthèse correspondent à des observations spécifiques de certaines régions ou de certains moments.

Pays	Echantillonnage	Carence	Teneur suffisante	Référence
Zambie	124 sols	P : 83%, (K)	Mg, Ca, Fe	FAO 2010
		Cu et P	K	Rees 1978
	16 sols	(P), Fe, Mg	P, Ca, K, Cu	Lundu 2012
Ethiopie	Prélèvements dans 25 fermes	P		Khalili et al. 1993
Malawi		P, Cu, NaCl		Mtimuni, 1992

L'étude de Lundu (2012) sur 16 prélèvements de sols zambiens révèle de grandes variations saisonnières. La concentration en macro-élément était supérieure lors la partie chaude de la saison sèche par rapport à la partie froide ou à la saison des pluies. Les mêmes résultats étaient observés pour le fer et le cuivre. La faible hydratation des sols dans cette saison limite l'absorption par les plantes, favorisant ainsi la concentration des minéraux dans le sol (Jones 1998).

L'étude de Khalili et al. (1993), montre, elle, l'importance des variations en fonction des zones géographiques car des différences significatives dans les concentrations des macroéléments mesurés étaient observées entre les 25 fermes prélevées.

b. Composition des fourrages

Les résultats d'analyses de teneur en minéraux de fourrages dans des pays d'Afrique sub-saharienne sont synthétisés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Synthèse des résultats d'analyse de teneur en minéraux des fourrages en Afrique sub-saharienne.

SS = Saison Sèche et SP = Saison des Pluies. Les résultats entre parenthèse correspondent à des résultats spécifiques de certaines régions ou saisons.

Pays	Echantillonnage	Carence	Teneur suffisante	Référence
Niger	180 graminées 48 autres herbacées et 7 ligneux	P, Cu, Zn	Ca, Mg, K, Mn, Fe, Co	Didier 1986
Afrique du sud	5 000 échantillons sur 10 ans	P, Cu, Co	Ca, Mg	Boyazoglu 1973
	11 fourrages	P, Zn, Cu, I	Mg, Mn, Fe, Se	Molefe et al. 2019
République de Djibouti	17 fourrages sur 38 sites	Zn, Cu, (Mn, Co, Se)	Excès : Mo, S, Co, I, Se	Faye et al. 1990
Zambie (province du sud)	43 fourrages Comparés aux besoins des chèvres	P (K → SP) Cu	(P → partie chaude de la SS) K → SS Ca, Mg, Fe	Lundu 2012
Ethiopie	58 fourrages	Cu (72%), Se (59%), Zn (43%)	Excès Fe Co, Mn	Dermauw 2013
	Prélèvements dans 25 fermes	(P), Na, Mg, K		Khalili et al. 1993
Malawi		P, Cu, NaCl		Mtimuni 1992

Nigéria	4 fourrages	Cu, Zn	Mn, Fe	Kabaija et al. 1988
République Démocratique du Congo (anciennement Zaïre)	12 fourrages dans 3 secteurs avec 2 à 5 pâtures par secteur	P, Ca, Na, Cu, Zn	K, Mg, Fe, Mn	Mandiki et al. 1986

Certains points intéressants ressortent de ces études :

L'étude de Didier (1986) montre que la faible teneur en calcium des graminées peut être compensée par les autres types de fourrages qui le concentrent : autres herbacées (entre 9 et 29 g/kg de MS), feuilles des ligneux (Ca = $37,0 \pm 53,0$ g/kg MS), fruits (Ca = $9,7 \pm 10,2$ g/kg MS). Les zones de brousses, plus riches en ligneux, présentent ainsi des fourrages riches en calcium (Boyazoglu 1973). De manière générale, les feuilles et fruits de ligneux contiennent une quantité supérieure aux limites de carences retenues dans l'étude pour tous les minéraux mesurés : Ca, P, Cu, Fe et Co sauf Zn et Mn pour les fruits (Didier 1986).

Les carences en P, Cu et Zn semblent redondantes dans les fourrages d'Afrique sub-saharienne.

Le magnésium, le calcium et le fer sont présents en quantités suffisantes dans les fourrages de la majorité des territoires explorés dans ces études.

Les études ayant fait des prélèvements en différentes saisons soulignent l'importance des variations saisonnières. Par exemple, en Afrique du sud, Boyazoglu (1973) relève P = 0,12 – 0,17% pendant l'été et P = 0,05% - 0,07% l'hiver. Et Lundu (2012) relève des concentrations de Cu adéquates pour les besoins des chèvres en hiver en Zambie (saison des pluies et partie froide de la saison sèche) et en limite voire déficient pendant l'été (partie chaude de la saison sèche).

c. Les carences observées sur les ruminants

Les résultats d'expériences ayant évalué les carences en minéraux chez les ruminants en Afrique sub-saharienne à partir d'observations cliniques ou de prélèvements sanguins sont synthétisés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Synthèse des carences mises en évidence par des manifestations cliniques et/ou des dosages sanguins en Afrique sub-saharienne.

SS = Saison Sèche et SP = Saison des Pluies. Les résultats entre parenthèse correspondent à des observations spécifiques de certaines régions ou de certains moments.

Pays	Carence	Maladies	Référence
Niger	P, Cu, Zn	Maladies nutritionnelles + baisse de production	Didier 1986
Afrique du sud	Zn, Mn (Mg et Co)	Taux plasmatiques faibles	Boyazoglu 1973
	Cu	Ataxie enzootique	
	Iode : carence (excès)	Goitre (Tâches dentaires, émaciation)	
	(Se excès)	Taux hépatiques élevés chez les moutons + fragilité des poils chez le cheval	
Ethiopie	Cu	Ataxie néonatale (40% des animaux)	Faye et al. 1990
	Cu, Na, (Mn,) Se Excès Mo, Fe Normal Ca, P, K, Mg, Zn	Taux plasmatiques et hépatiques bas Na:K inférieur à 0,1, signe de carence en Na	Dermauw 2013
	P Na	Taux plasmatique en deçà du seuil critique Analyse fécale déficiente	Khalili et al. 1993

République de Djibouti	Cu, Zn	Cu plasmatique faible chez toutes les espèces : 17% bovins - 46% camelins Idem Zn : 13% bovins - 90% camelins	Faye et al. 1990
Zambie (province du sud)	P, Ca, Mg, K, (Cu, Fe)	Taux plasmatiques faibles pour tous les minéraux sauf Cu pendant la SP et Fe pendant partie froide de la SS	Lundu 2012
Malawi	P, Cu, NaCl	Taux faibles dans les tissus explorés	Mtimuni, 1992
République Démocratique du Congo (anciennement Zaïre)	P	Faible taux de croissance et de reproduction Fractures spontanées Pica	Mandiki et al. 1986
Sénégal	Ca, P, Cu	Pica, ostéomalacie	(Thiongane 1982)

De ces résultats d'études, plusieurs conclusions peuvent être tirées :

Les carences en Zn et Cu sont largement répandues sur les territoires d'Afrique sub-saharienne.

Les carences peuvent être difficiles à évaluer par manque de corrélation entre le statut nutritionnel de l'animal et sa concentration plasmatique. C'est le cas du phosphore dont le métabolisme est impacté par bien trop de facteurs extérieurs à l'apport. Également parfois à cause du manque de corrélation entre la teneur des fourrages et les carences observées. C'est par exemple le cas du calcium dont les besoins sont très dépendants du statut physiologique de l'animal donc des pâtures subvenant aux besoins d'entretien peuvent ne pas suffire et induire des carences chez des animaux aux besoins augmentés lors de la gestation, de la lactation ou pendant la croissance. Les carences en Fer observées en Zambie, malgré des fourrages riches,

sont souvent dues aux pertes sanguines intestinales induites par les *Haemonchus* (Lundu 2012).

Dans le plasma aussi, les variations saisonnières se confirment (Lundu 2012, Khalili, 1993), de même que la variabilité régionale, ce qui souligne ainsi l'importance de la réalisation d'analyses avant la mise en place d'une complémentation (Boyazoglu 1973).

Au Niger, l'apport parfois insuffisant des fourrages en Ca par les graminées peut être compensé par l'ingestion des autres types de fourrages qui en sont très riches mais les carences en P, Zn et Cu, elles, sont avérées. Elles sont à l'origine de maladies d'origine nutritionnelle et de baisse de production. Une supplémentation systématique est à prévoir pour ces minéraux (Didier 1986).

En Afrique du sud, les carences en cuivre se manifestent cliniquement par l'observation d'ataxie enzootique chez les agneaux. Chez ces animaux, on retrouve des taux hépatiques de cuivre très bas associés à des concentrations en fer élevées. Les adultes et les agneaux peu atteints peuvent répondre à un traitement de cuivre (Boyazoglu 1973).

En Afrique du sud toujours, la mise en place des sels renforcés en iode, a permis le contrôle des cas de goitres, présents principalement chez les porcs, dans les zones carencées. A l'inverse, le fluor peut être trouvé en excès, provoquant l'apparition de tâches sur les dents et une Note d'Etat corporel (N.E.C.) faible malgré un appétit conservé. Des taux trop excessifs dans le foie des moutons et des symptômes de fragilité des poils chez les chevaux ont été observés dans des zones excédantes en cuivre et sélénium (Boyazoglu 1973).

2. Résultats agronomiques obtenus lors de la mise en place de complémentations en Afrique sub-saharienne

a. Bénéfices obtenus par l'utilisation de compléments en phosphore sur des bovins d'Afrique sub-saharienne

Un apport suffisant de Ca et P est primordial, et si les fourrages africains peuvent contenir un apport en calcium correct (Didier 1986; Boyazoglu 1973; Lundu 2012), le phosphore est largement déficitaire (<1g/kg MS) sur le continent (Meschy 2017) et plus particulièrement sur le territoire zambien (Lundu 2012).

Bénéfices de l'utilisation des phosphates comme source de phosphore

La complémentation en calcium et phosphore pendant la saison sèche permet de limiter la perte de poids associée à cette période et d'améliorer la prise de poids lors de la saison des pluies (NDIAYE 1985). Des travaux au Centre de Prévulgarisation minérale de Labgaroux, Sénégal, montrent par exemple un gain de poids relatif évalué à 8% avec l'utilisation de phosphate bicalcique (NDIAYE 1985; Calvet et al., 1976). Ce résultat confirme ceux d'une étude sur 161 croisés Brahman au Malawi (Mtimuni et al. 1992). L'avantage sur le poids ainsi obtenu est équivalent à celui obtenu avec une complémentation en source azotée (Calvet et al., 1976). L'importance du phosphore pour le fonctionnement du microbiote du rumen implique qu'un apport suffisant permet une meilleure assimilation des ressources alimentaires. En particulier la cellulolyse, demandant 2 fois plus de phosphore que l'amylolyse ou la protéolyse, devient plus efficace (Meschy et al., 2005).

La complémentation en calcium et phosphore permet également une augmentation de la quantité de lait produite mise en lumière par une plus grande croissance des veaux avant sevrage dans les lots où les mères sont complémentées (Calvet et al. 1976).

Bénéfices de l'utilisation de la poudre d'os comme source de phosphore

L'utilisation de poudre d'os comme complément phosphocalcique dans des pâtures carencées ne contenant qu'autour d'1g/kg de MS de phosphore s'est montrée efficace pour améliorer la capacité de reproduction des troupeaux bénéficiaires en

Afrique du sud, avec un accroissement du taux de fertilité de 51 à 80% (Theiler et al., 1928)

D'après le travail de Bisschop (1964), les vaches recevant de la poudre d'os réduisent drastiquement leur comportement de pica. Il montre aussi que leur distribution permet d'améliorer le gain de poids et les performances reproductives. Ce résultat est confirmé par les travaux de Ward (1968), qui montrent une amélioration de la fertilité, de la viabilité, du GMQ et du poids au sevrage des veaux, permettant un gain 12% supérieur sur les recettes liées à l'abattage.

Par contre, l'utilisation de poudre d'os, dans une étude au Zimbabwe et une en Zambie, n'a pas permis d'obtenir une amélioration des paramètres reproductifs évalués. Certaines études n'ayant pas obtenu de résultats sur la reproduction reconnaissent cependant n'avoir pas utilisé une quantité suffisante pour couvrir les besoins recommandés (Mtimuni et al. 1992). Par ailleurs, certains chercheurs associent les résultats positifs de l'utilisation de poudre d'os à leur haute teneur en protéine plutôt qu'à l'apport de P (Cohen 1975).

b. Problématiques soulevées par la mise en place d'une complémentation en minéraux dans un contexte économique limité

La mise en place d'une complémentation minérale relève un défi économique dans les zones rurales africaines. Le taux de pauvreté en milieu rural atteint les 80% en Zambie. Ce taux de pauvreté élevé n'a vu aucune amélioration entre 1991 et 2006 alors que, dans cette même période, le taux de pauvreté en milieu urbain diminuait de 49% à 34% (Chapoto et al. 2011).

La majorité des éleveurs a de trop faibles ressources pour pouvoir se permettre l'achat de mélanges de minéraux disponibles dans le commerce (Lundu 2012).

Etant donné la croissance de la demande mondiale en P, il devient une ressource de plus en plus limitée, ce qui conduit à la hausse des prix, en particulier en Afrique (Simons et al. 2023).

Des solutions ingénieuses peuvent être mises au point comme le recyclage du P depuis les déchets d'abattoirs que sont les os (Simons et al. 2023), ou l'utilisation

des phosphates naturels suite à l'analyse de leur composition et l'évaluation des risques de leur utilisation (NDIAYE 1985).

c. Une faible disponibilité de ressources bibliographiques au sujet de l'utilisation de mélanges de minéraux pour la complémentation des bovins en Afrique sub-saharienne

Probablement en lien avec les problématiques économiques que soulève cette complémentation, la bibliographie manque d'articles sur l'utilisation de compléments sous forme de blocs à lécher chez les bovins d'Afrique.

Un essai de complémentation avec un mélange de minéraux a été fait dans une étude sur 8 zébus provenant de zones carencées d'Ethiopie. La complémentation contenait du Zn (30 mg/kg MS), Mn (20 mg/kg MS), Cu (10 mg/kg MS), Se (0.1 mg/kg MS), Co (0.1 mg/kg MS), I (0,5 mg/kg MS) selon les proportions recommandées par le NRC en 2000. Cette complémentation a permis l'augmentation des concentrations plasmatiques en Cu, Zn, Mn et Se, de même que leur concentration fécale, et ce malgré des concentrations élevées en antagonistes. Le taux de Co était également augmenté dans les fécès. Cette augmentation n'a pas été corrélée à une augmentation de la digestibilité des nutriments ni à l'absorption apparente des minéraux sauf pour I et Se (Dermauw 2013).

Une étude, apportant une complémentation quotidienne en Cu, Zn, Se, Co et I pendant 150 jours dans des fermes en Ethiopie, évaluait l'impact sur plusieurs paramètres biologiques. Les animaux carencés en Cu, avaient maintenu leur taux de Cu mais n'avaient pas dépassé le seuil physiologique malgré une distribution d'une quantité importante de Cu, ce qui montre la puissance des phénomènes antagonistes. La concentration en Se était 2 fois plus importante dans les troupeaux tests, celle de Cu et Zn restait inchangée. Le rendement laitier n'était pas impacté. Les paramètres relatifs au statut antioxydant total (TAS) n'était pas impacté contrairement à des résultats d'études antérieures. L'électrophorèse des protéines sur échantillons sanguins prélevés 30 jours après vaccination antirabique a mis en évidence une augmentation significative du niveau de β -globulines, indiquant une production accrue d'IgM ou d'IgA dans les groupes tests (Dermauw 2013).

Une étude réalisée au Malawi comparant les performances reproductives de groupes complétés de 4 façons différentes : sel seul - sel et P (phosphate mono et dicalcique) - sel et Cu - sel, P et Cu, sur 3 ans, a permis de montrer l'impact positif grandissant de la complémentation au fil du temps. Entre la première et la deuxième année, tous les groupes ont diminué leur taux de vêlage sauf le groupe recevant P et Cu. Les résultats de la troisième année étaient encore plus encourageants avec une augmentation de 46,2% de ce taux. Le nombre de vaches ayant vêlé 2 fois pendant les 3 ans de l'expérimentation étaient significativement plus important dans les 2 groupes recevant du phosphore (Mtimuni et al. 1992).

III. Melindika, une association loi 1901 implantée dans la chefferie du Musungwa

1. L'association Melindika

L'association Melindika, fondée en 2016 par Victoire Delesalle et Wilfried Wambeke, est une association loi 1901 qui opère dans la chefferie Musungwa, district d'Itezhi Tezhi en Zambie. Voyant la nécessité de trouver des alternatives économiques à la chasse dans le parc national de Kafue, il a été décidé de créer une association dédiée au soutien de l'agriculture à petite échelle et au développement durable des ressources naturelles. Pour cela, Melindika œuvre en mettant en place des programmes éducatifs et en favorisant des pratiques agricoles durables.

Après avoir travaillé sur l'aspect sanitaire des troupeaux de la chefferie, l'association se penche maintenant sur l'amélioration des pratiques d'élevages pour permettre une bonne gestion des ressources et un développement économique prospère.

2. L'élevage dans la chefferie

La chefferie de Musungwa de par sa proximité directe avec le parc naturel Kafue, constitue une zone tampon très règlementée par l'organisme Game Ranger International (GRI). Elle est caractérisée par sa proximité avec la rivière Kafue qui

s'assèche pendant la saison sèche et observe une importante crue pendant la saison des pluies. Cette chefferie abrite principalement deux ethnies : les Ilas et les Tongas. Les Ilas, majoritaires, sont des éleveurs agro-pastoraux possédant de grands troupeaux de bétail, tandis que les Tongas sont davantage connus pour leurs compétences en agriculture. Les Ilas et les Tongas appartiennent au groupe ethnique "Bantu Botatwe" et cohabitent pacifiquement dans la région.

Le mode d'élevage au sein de la chefferie de Musungwa est principalement agro-pastoral, où les éleveurs sont sédentaires mais pratiquent également, pour la plupart, une transhumance saisonnière. Ce mode d'élevage est adapté aux conditions environnementales et climatiques de la région, marquées par une saison des pluies de novembre à avril et une saison sèche de mai à octobre. Pendant la saison des pluies, lorsque les ressources en eau et en pâturage sont abondantes, les troupeaux restent près des villages. En revanche, lors de la saison sèche, la zone s'assèche et les ressources sont insuffisantes. Les éleveurs utilisent alors des techniques comme la mise à feu des zones herbacées, écobuage (cf figure 4), pour encourager la repousse d'herbe tendre et empêcher les lions de se cacher dans les herbes hautes à proximité des troupeaux. C'est également à cette période, qu'une grande partie des éleveurs pratiquent la transhumance et emmènent leurs troupeaux dans les plaines de Lutanga, où le pâturage est plus riche et l'eau plus accessible. Cette pratique permet aux animaux de bénéficier de meilleures conditions alimentaires et hydriques pendant la saison sèche.



Figure 4 : Savane après un écobuage dans la chefferie du Munsugwa. Source personnelle

La pratique de cette transhumance est inconstante et dépend de plusieurs facteurs.

Elle dépend :

- de la proximité de chaque village avec des cours d'eau, par exemple l'anda se trouve près d'un gisement de source chaude qui permet un abreuvement en eau riche en minéraux toute l'année.
- de l'assèchement des puits pour l'abreuvement dans les villages ne bénéficiant pas de sources naturelles comme c'est le cas à Ntubya.
- de la taille des troupeaux, en effet, les éleveurs ayant de grands troupeaux peuvent être plus enclins à transhumer
- de préférences personnelles basées sur l'empreinte culturelle d'un village.
- de l'expérience personnelle des éleveurs, par exemple, un épisode d'épidémie associé à une mortalité élevée pour certains éleveurs ayant transhumé vers Lutanga les avaient dissuadés de conserver cette pratique.

Bien que l'alimentation du bétail provienne principalement du pâturage naturel, une distribution inconstante de farine de maïs est également pratiquée par certains éleveurs pendant la saison sèche. Après la récolte du maïs en avril, les animaux broutent les résidus de maïs dans les champs ce qui permet conjointement la fertilisation des sols sur les terres cultivées.

Malgré tout, ces ressources restent insuffisantes et les vaches perdent beaucoup de poids à cette saison (cf figure 5)





Figure 5 : Exemple d'états de maigreur rencontrés pendant la saison sèche (photos prises fin septembre). Source personnelle

Les bovins ont un rôle crucial dans l'agriculture locale. Pendant la saison des pluies, lorsque les terres sont labourées et que les cultures - maïs principalement - sont semées, les bovins sont utilisés comme force de traction pour les travaux agricoles. Ils labourent le sol en tirant des charrues rudimentaires, préparant ainsi les champs pour la plantation de maïs, la culture principale de la région. La force de traction des bœufs est également utilisée toute l'année pour le transport de matériel lourd comme le bois utilisé pour les constructions.

Le bétail a une signification profondément enracinée dans la culture des communautés locales. Posséder du bétail est une source de prestige social et de richesse. Le nombre de bovins qu'un éleveur possède reflète son statut et sa réussite économique. Les animaux ont également des rôles cérémoniels, comme lors des mariages, des naissances et des décès, où ils sont offerts en cadeau ou sacrifiés et consommés pour les festivités.

3. Les bovins de la chefferie

a. Caractéristiques des races rencontrées

Les races bovines présentes dans la communauté présentent une diversité notable où se mélange les sous espèces *Bos taurus Linnaeus* (vache) et *Bos taurus indicus* (zébu). Les éleveurs ont effectué des croisements entre les races indigènes zambiennes - principalement les races Angoni, Tonga, Baroste et le produit de leur croisement : les Ila - et des races exotiques telles que le Boran et le Brahman, dans le but d'augmenter la carrure des animaux, ce qui est considéré comme un signe de prestige social.



Figure 6 : La diversité des races dans les troupeaux de la chefferie du Musungwa. De gauche à droite et de haut en bas : Jeune taureau Brahman, vache Barotse, vache Tonga X Brahman et vache Ila X Brahman. Source personnelle

L'apparition fréquente de grandes épizooties ou encore la volonté des éleveurs de s'orienter vers des races plus productives menace les races indigènes mais leur grande adaptation les rend irremplaçable. Ils ont une extrême résistance aux hautes températures, à la sécheresse, aux maladies tropicales ou encore à la faible couverture de leurs besoins en eau et en aliment (IAEA 2021).

Chaque race a des traits distincts et est élevée pour différentes finalités. Les Barotse caractérisés par leur grande taille, leur cadre corporel relativement mince et leurs longues cornes incurvées, sont principalement destinés à la production de viande et de lait. Les Tonga, de stature corporelle plus petite avec des cornes de taille moyenne, souvent orientées vers l'extérieur, sont utilisés comme animaux de travail et pour la production mixte de viande et de lait. Les Angoni, présentant un cadre corporel compact et des cornes relativement courtes, sont utilisés pour la traction animale et la

préservation de la culture traditionnelle (IAEA 2021). Leurs caractéristiques phénotypiques sont présentées dans le tableau suivant. (Voir tableau 12)

Tableau 12 : Caractéristiques phénotypiques des races endémiques de Zambie. D'après IAEA 2011, Genetic Characterization of Indigenous Cattle Breeds in Zambia - Which Way Forward?

Race	Angoni	Tonga	Barotse
Taux de reproduction	82,5	74,4	78,1
Poids à la naissance	22,9	25,7	19,8
Poids au sevrage	147,3	140,8	167,0
Mortalité des veaux	2,7	4,6	5,3
Poids à 18 mois (kg)	207,7	200,0	235,0
Poids à 3 ans (kg)	283,3	210,3	255,3
Poids de carcasse (kg)	182,4	145,7	185,5
Lactation (kg)	990	850	1160

b. Productions animales dans la chefferie

Le bétail de la chefferie est essentiel pour les familles, symbolisant un capital et un indispensable outil de travail pour sa force de traction. Ainsi, même si la viande de ces animaux n'est consommée que lorsqu'un individu est malade, trop âgé ou encore à l'occasion de festivités, l'accroissement du troupeau revêt une importance capitale (Dagorret-Bonetto 2022). La devise zambienne est le kwacha zambien (K 1 = 0,044€). Le prix d'un bovin adulte peut varier entre K 7 000 et K 15 000, ce qui représente une importante somme d'argent pour les populations locales. Il s'agit aussi d'augmenter la production laitière et de pallier au taux de mortalité important dans ces troupeaux.

La reproduction repose entièrement sur la monte naturelle. Les taureaux du troupeau sont laissés en liberté avec les vaches. Ainsi, la reproduction des vaches au sein de la chefferie ne suit pas un calendrier strict. Cependant, l'abondance de ressource au moment de la saison des pluies favorise la fertilité des vaches, ce qui se traduit par une augmentation des accouplements et des naissances. En particulier, les

vêlages ont tendance à être plus fréquents de la période d'octobre à décembre. Dans le cycle de reproduction naturel, non coordonné de la chefferie, les génisses, commencent généralement à vêler autour de 3 ans (Bichat 2021).

L'intervalle vêlage-vêlage est d'au moins 2 ans. La plupart sont longs de 2 à 3 ans mais ils peuvent dépasser largement cette durée. Lorsque les vaches n'assurent pas de fonction reproductrice, elles ont alors des besoins alimentaires moins importants. Ce sont des vaches en meilleure condition physique, ainsi, lorsqu'elles ne sont pas vendues pour la viande, elles sont utilisées comme force de traction. Celles qui sont ainsi conservées dans les troupeaux, peuvent observer des retours en chaleur après des durées de 4 à 5 ans pouvant aller jusqu'à 7 à 8 ans.

La traite est réalisée le matin, avec les vaches attachées et est pratiquée par les enfants. La première tétée par les veaux stimulent la libération du lait et élimine le premier jet, ce qui réduit de façon significative la contamination du lait par les coliformes fécaux et les staphylocoques (Addo et al. 2011). Le lavage des mains est fréquent cependant l'eau n'est pas toujours propre. La manipulation des cordes de contention est souvent réalisée après le lavage des mains, ce qui est extrêmement contaminant (Addo et al. 2011). Le nettoyage des trayons, bien que réduisant par 10 fois le nombre de micro-organismes présents (Addo et al. 2011), est rare. Malgré cela, les éleveurs rapportent peu de cas mammites cliniques dans la chefferie. Le lait trait est ensuite filtré pour enlever les impuretés. Les veaux trop petits pour suivre le troupeau sur la journée, sont gardés dans les villages jusqu'au retour des mères.

La quantité de lait recueillie varie en fonction de la disponibilité des fourrages, des saisons et des périodes de reproduction. Pendant la saison des pluies, la disponibilité accrue d'eau et de fourrage conduit à une augmentation significative de la production laitière par vache. La traite quotidienne permet d'obtenir par vache environ 0,7 L/j en saison sèche et d'environ 2 L/j en saison des pluies. La production maximale observée est de 2,5 L en saison sèche et jusqu'à 5 L en saison des pluies (Bichat 2021). Ce chiffre est extrêmement difficile à estimer car les éleveurs ne procèdent pas à des mesures précises de ces quantités et ne traitent pas leurs vaches de façon constantes. Elles ne sont pas traitées forcément tous les jours et la traite n'est pas toujours réalisée jusqu'à la vidange du quartier.

Les vêlages ne sont pas synchronisés, permettant de compenser les baisses de production d'une vache par les gains d'une autre. Le pourcentage de vaches en lactation varie tout au long de l'année, atteignant son sommet pendant la saison des pluies. La période de traite commence 2 mois après la naissance du veau, afin de lui laisser les ressources nécessaires à sa croissance et son développement, et s'étend généralement sur environ 7,6 mois en moyenne. Les éleveurs peuvent cesser la traite dès qu'ils constatent que la vache est gestante à nouveau ou que la production de lait est insuffisante. Les vaches sont alors tarées pour favoriser la reprise des chaleurs (Bichat 2021).

Le lait est consommé frais ou sous forme fermentée, une part étant réservée à la consommation familiale. Il est consommé principalement par les femmes et les enfants de la chefferie pour mieux répondre aux besoins spécifiques de leur statut physiologique. Pendant la saison des pluies, une surproduction peut nécessiter la vente du lait en dehors du cercle familial et local. Les éleveurs vendent leur lait à des intermédiaires, qui le revendent ensuite dans la ville d'Itezhi-Tezhi. La vente du lait génère un revenu complémentaire pour les éleveurs, offrant une source de liquidités bienvenue. Ainsi, les éleveurs peuvent espérer vendre leur lait entre 3K/L (avec un pourcentage de vente de 70%) et 6K/L (avec un pourcentage de vente de 15%) en vente directe et entre 3 et 4 K/L en passant par un revendeur. Le revendeur fera une marge de 3 à 4 K/L pour le vendre au distributeur. Le lait sera enfin vendu aux consommateurs pour un prix allant de 10 à 20 K/L (Bichat 2021).

En résumé, la reproduction et la production laitière des vaches dans la chefferie sont étroitement liées aux saisons, au cycle de reproduction naturel des bovins et aux pratiques de traite. Les éleveurs gèrent leur production pour accroître leur troupeau, tandis que la production de lait contribue à l'alimentation des communautés et constitue une source de liquidités pour les familles.

4. Avancées du projet agro-véto pour l'amélioration de l'alimentation des bovins de la chefferie

Le développement de la recherche agro-alimentaire au sein de la chefferie de Musungwa revêt une importance cruciale, tant pour l'amélioration de la production animale que pour l'essor économique de cette région. Les informations recueillies à travers les études entreprises par Melindika mettent en évidence des enjeux clés liés à la disponibilité et à la qualité des ressources alimentaires pour le bétail ou encore les difficultés freinant le développement d'une filière laitière. En s'appuyant sur ces connaissances, l'association cherche à identifier des solutions innovantes et adaptées aux conditions locales. Deux projets agronomiques se sont déjà tenus dans cette optique, d'autres sont en cours.

L'association Melindika, en collaboration avec Phileo by Lesaffre, une entreprise spécialisée dans les probiotiques agro-alimentaires, a entrepris une étude réalisée par Elise DAGORRET-BONETTO, en 2022. Cette étude visait à examiner les méthodes alimentaires adoptées par les éleveurs. L'objectif central de cette initiative était de décrire en détail ces pratiques, d'identifier les problèmes prédominants et de formuler des suggestions pour leur amélioration.

À travers des entrevues menées auprès de 32 éleveurs, cette étude a réussi à retracer l'évolution des pratiques d'élevage des deux groupes ethniques coexistants au sein de la chefferie. Elle a permis d'identifier les zones de pâturage utilisées par les troupeaux issus de 7 villages différents, et de décrire les déplacements des troupeaux au fil des saisons. En tout, 61 types de fourrages consommés (comprenant des herbes, des arbres et des fruits) ont été recensés, prélevés et analysés afin d'évaluer leur qualité nutritive.

L'obstacle majeur à la bonne couverture des besoins alimentaires des bovins reste la disponibilité limitée en fourrages, tant en termes de quantité que de qualité, durant la saison sèche. Afin de résoudre cette problématique, plusieurs solutions ont été envisagées incluant le stockage de fourrage sous forme de foin, une gestion optimisée du pâturage grâce à organisation d'un système mis en commun de rotation de pâture d'après un plan établi dans l'étude ainsi des pistes d'amélioration de l'utilisation des résidus de cultures comme compléments alimentaires.

D'autre part, Gabrielle BICHAT a quant à elle, établi un diagnostic technico-économique de la filière laitière au sein de la chefferie Musungwa en 2021. L'étude met en évidence des problématiques cruciales au sein de la filière laitière des villages étudiés : une production limitée en saison sèche et des difficultés majeures pour commercialiser leur lait pendant la saison des pluies.

5. Un nouveau projet Melindika qui s'inscrit dans le concept One Health

Le présent projet s'inscrit dans la suite des actions mises en place par Melindika pour permettre le développement de l'activité agro-alimentaire dans la chefferie. Il s'inscrit également dans le concept One Health car son succès permettrait d'améliorer le bien-être des animaux, la sécurité alimentaire dans la chefferie, les finances des éleveurs et le bien-être des consommateurs de lait produit par de ces vaches.

Une bonne gestion de l'alimentation minérale des animaux permet notamment une meilleure production de lait, de meilleures aptitudes de reproduction, et le soutien d'une meilleure immunité.

Une production de lait plus importante permettra d'assurer une meilleure sécurité alimentaire aux habitants de la chefferie. Une étude menée dans 5 592 foyers en Zambie avait montré qu'un transfert d'argent sans condition était sans amélioration sur l'état de stress qui, en revanche, était étroitement corrélé à l'insécurité alimentaire et au décès d'un membre du foyer (Hjelm et al. 2017). Ainsi, les programmes d'aide les plus efficaces pour améliorer le bien-être sont ceux visant l'autonomisation.

L'impact serait aussi bénéfique sur la santé humaine. En Zambie, 76 à 90% de la population présente des carences en calcium et en sélénium et 51 à 75% présente en zinc (Joy et al. 2014). Or, le lait est une excellente source de minéraux pour les humains. En France, les laitages sont connus pour couvrir jusqu'à 67% des AJR en calcium, 39% pour le phosphore, 15 à 20% pour le magnésium et le zinc et 6% pour le fer (Coulon et al. 2003).

D'autre part, la prévalence des maladies zoonotiques dans les zones rurales africaines, associée à des mesures d'hygiène insuffisantes voire inexistantes, à un manque d'informations sur les modes de contamination, et à des habitudes alimentaires à risque (consommation de lait non traité ou de viande crue) exposent les populations rurales africaines à un risque de transmission zoonotique important (Addo et al. 2011; Deneke et al. 2022). Les épidémies de botulisme, maladie zoonotique, développées lors de carences en phosphore sont un exemple concret de l'importance de la couverture des besoins minéraux pour préserver la santé humaine et animale. En prévenant l'apparition des épidémies de botulisme et en renforçant la résistance des troupeaux aux maladies par le soutien de leur système immunitaire, on peut ainsi réduire le risque de contamination des hommes par des maladies zoonotiques.

Enfin, les éleveurs africains reconnaissent continuer à traire les vaches recevant un traitement et à consommer ce lait (Addo et al. 2011). Cette pratique est courante dans la chefferie du Musungwa malgré la sensibilisation par les assistants vétérinaires. Les consommateurs s'exposent alors à l'ingestion de molécules toxiques (traitements antiparasitaires) et au risque de développement d'antibiorésistances. Ce risque est à prendre en compte dans le contexte des communautés car les traitements sont administrés sans connaissances de la médecine vétérinaire et que seules 2 molécules antibiotiques sont disponibles à l'achat. Le renfort des défenses naturelles donc l'augmentation de la résistance aux maladies permettra de réduire le nombre de traitements administrés aux animaux.

Vis-à-vis de l'aspect économique, les éleveurs pourront augmenter leurs revenus liés à la vente du lait et espérer une meilleure insertion dans la filière laitière zambienne. Si toutes les vaches produisant actuellement autour de 2 L en saison des pluies, se mettent à produire 4L (maximum observé de 5L pour les vaches les plus performantes), et en considérant une vente directe à 4 K/L (prix entre 3 et 6 K/L), alors les éleveurs peuvent espérer gagner 8 K/L de plus par jour et par vache.

De même, les bienfaits de la couverture des besoins en minéraux permettront l'augmentation de la résistance du troupeau aux maladies et la croissance des cheptels, engendrant ainsi de nouvelles ressources et réduisant les coûts liés à la morbidité et la mortalité dans les troupeaux.

L'absence de maladie est un des piliers du bien-être animal. Ainsi, l'amélioration de l'immunité de ces animaux œuvre pour leur bien-être, de même que la diminution de l'apparition de pathologies directement liées aux carences en minéraux comme la rétention placentaire par exemple.

Un autre pilier du bien-être animal est l'absence de faim. Les carences minérales, provoquent l'apparition de comportements anormaux : pica et conflits physiques entre animaux, qui signale la détresse induite par ces carences. De plus, en améliorant la digestibilité des fourrages, les animaux bénéficiant d'une bonne couverture de leur besoins minéraux présentes une meilleure couverture de leur besoins énergétiques.

PARTIE 2

MISE EN PLACE D'UNE COMPLÉMENTATION EN MINÉRAUX CHEZ LES BOVINS PAR LA FABRICATION LOCALE DE PIERRES A SEL DANS LA CHEFFERIE DU MUSUNGWA

Dans le contexte de l'accompagnement des éleveurs de la chefferie du Musungwa vers le développement de leur filière agricole de façon durable, ce projet a pour but d'évaluer les carences en minéraux dans leurs troupeaux et de trouver un mélange de minéraux sous forme de pierres à lécher qui soit adapté, disponible et abordable. L'exploration de cette complémentation a été l'occasion de mettre en lumière d'autres méthodes pour améliorer l'apport en minéraux des bovins. L'intérêt et la pratique de la complémentation minérale ont ensuite pu être présentés aux éleveurs et enseignés aux Assistant en Santé Animale (ASA) lors de formations organisées dans la chefferie.

I. Matériel et méthodes

1. Analyse de la teneur en minéraux des fourrages consommés par les bovins de la chefferie

Il existe différentes méthodes pour évaluer les apports et carences en minéraux chez les bovins. Meschy (2017) recommande l'analyse de fourrage comme une méthode fiable et répétable. En élevage extensif, compte tenu des incertitudes sur les quantités et le type de fourrages consommés, cette méthode peut être imprécise. C'est cependant la méthode qui a été retenue car la plus adaptée aux contraintes liées au contexte d'étude. En effet, aucun laboratoire en Zambie ne pouvait nous proposer de

dosage des minéraux dans le sang des bovins et l'envoi d'échantillons biologiques vers un autre pays est très coûteux et administrativement complexe.

a. Choix des fourrages à analyser

Le travail d'Elise Dagorret-Bonetto (2022) avait, à l'aide d'interviews de 32 éleveurs, recensé les espèces de plantes qui étaient consommées par leurs bovins. Une liste de 8 plantes les plus citées, supposés ici comme étant les plus consommés par les animaux a ainsi été établie.

Il a été choisi de sélectionner toutes les herbes citées plus de 3 fois, et dans plus d'un village, pour ne pas retenir de plantes qui ne seraient présentes que dans une certaine zone et être ainsi non représentative de la chefferie dans sa globalité.

A côté de ces plantes herbacées, il a également été choisi de sélectionner les 2 arbres les plus cités, afin de respecter une proportion du nombre d'arbres analysés par rapport au nombre d'herbes cohérent avec les proportions observées dans l'alimentation des bovins par les différentes personnes de l'association ayant travaillé sur l'alimentation des bovins.

Le détail du nombre de citations pour chaque plante ainsi que du nombre de villages l'ayant mentionnée est visible en ANNEXE 1.

La liste retenue a, par la suite, été soumise au jugement des éleveurs lors d'entrevues en mai et juin 2023 à l'occasion de la réalisation d'un autre projet. Les éleveurs ont confirmé la pertinence de la liste proposée et ont été nombreux à suggérer de rajouter un fruit qui, bien que présent seulement 2 à 3 mois par an, est consommé en grande quantité par les bovins. Les analyses de fèces effectuées dans le cadre de cet autre projet ont permis de confirmer la présence de nombreux noyaux de ces fruits. Les résultats des réponses aux questions concernant la liste sont résumés dans l'ANNEXE 2. Ces entrevues ont également été l'occasion de recueillir les attentes et les questionnements des éleveurs au sujet du projet de complémentation minérale de leurs animaux. Ils sont visibles en ANNEXE 3.

Ainsi on a pu établir la liste définitive de plantes à analyser en tant que plantes majoritairement consommées par les bovins de la chefferie (voir la tableau 13)

Tableau 13 : Liste de fourrages majoritaires dans l'alimentation des bovins de la chefferie

Herbes	Arbres	Fruit
Isaale (<i>Vossia cuspidata</i>)	Musekese (<i>Piliostigma thonningii</i>)	Mungashia (<i>Acacia erioloba</i>)
Nankokwe (<i>Setaria incrassata</i> ou <i>S. phragmitoides</i>)	Mulombe (<i>Pterocarpus angolensis</i>)	
Lusanje (<i>Hyparrhenia rufa</i>)		
Muntende (<i>Hyperthelia dissoluta</i>)		
Looyo (<i>Cynodon dactylon</i>)		
Mampolwe (<i>Trystachia superba</i> ou <i>T. rehmannii</i>)		
Sangani (<i>Digitaria milanjiana</i> ; <i>D. scalarum</i> ; <i>D. setivalva</i>)		
Kalalatimba (<i>Schizachyrium</i> sp. ou <i>Bothiochloa</i>)		

L'identification du nom scientifique des plantes à partir de leur nom d'usage avait été obtenu grâce à l'aide du Dr Paul Smith, secrétaire général au Botanic Gardens Conservation International.

b. Préparation des échantillons

Les échantillons nécessaires à la réalisation de ce projet ont donc été prélevés au cours des mois de mai et juin 2023 pour réaliser un échantillon de 50g d'échantillon sec nécessaire au laboratoire d'analyse.

A ce moment de l'année, c'est le début de la saison sèche. Les plaines étaient déjà complètement sèches et seules les bordures des points d'eau persistants permettaient encore de trouver des végétaux verts. Les fourrages ont été cueillis verts

et séchés au campement pour permettre une meilleure conservation en vue de leur envoi vers la France par la suite.

Un séchoir de fabrication artisanale est présent sur le campement. Avec ce séchoir, 7 jours de séchage permettaient d'obtenir un poids stable des échantillons testés. Pour ce projet, il a été décidé de laisser les échantillons 2 à 3 jours seulement. Le but étant d'obtenir un séchage suffisant pour garantir l'absence de moisissure lors du trajet tandis que le séchage complet a été réalisé à l'aide d'étuve au laboratoire.

Tous les échantillons ont été cueillis à des stades de végétation avancés. Etant donné que la teneur en éléments minéraux des fourrages diminue largement avec le stade de végétation, en particulier pour le phosphore (Meschy, Guégen 1996), il était en effet préférable de ne pas cueillir les échantillons jeunes pour se placer dans les conditions de plus grand déficit en minéraux qui devra être comblé par les pierres à minéraux.

c. Choix des minéraux à doser

Parmi les macro-éléments, le calcium, le phosphore et le magnésium ont été analysés car leur apport est très important sur des animaux en production et qu'ils sont reconnus comme déficients en Afrique, en particulier pour le Phosphore. Le sodium est reconnu comme largement déficitaire (Meschy 2017) et sera apporté en grande quantité sous forme de chlorure de sodium par les pierres à sel. Il a donc été choisi de ne pas les doser.

Les oligo-éléments présentent des contraintes analytiques et économiques importantes. Leur analyse est très onéreuse (en particulier pour l'iode) et les limites de détections ne sont souvent pas compatibles avec les concentrations présentes dans les échantillons et avec les valeurs correspondant aux besoins des animaux – c'est le cas pour le sélénium, le cobalt et l'iode.

Ainsi, les minéraux suivants ont pu être dosés dans les fourrages : Calcium, Phosphore, Cuivre et Zinc. Le Cobalt et le Sélénium - dont les seuils de tolérance par les bovins sont les plus basse - ont tout de même été analysés pour vérifier l'absence d'accumulation toxique dans les plantes testées.

d. Méthode d'analyse des échantillons

L'analyse des échantillons a été réalisée par le laboratoire Upscience, Saint-Nolff, France.

Les échantillons ont été incinérés dans un four à 550°C. Les cendres obtenues ont été solubilisées dans l'acide nitrique. Puis les minéraux ont été dosés par ICP-AES : Inductively Coupled Plasma couplée à des Atomic Emission Spectrophotometers ou Spectromètres à Emission Atomique. Il s'agit d'une technique analytique à plasma à couplage inductif permettant de mesurer la teneur d'un élément inorganique présent dans un échantillon par une mesure de longueurs d'ondes émises par les ions minéraux.

2. Calcul du bilan minéral des animaux de la chefferie pour identifier les carences présentes

a. Introduction de la notion de Matière Sèche Volontairement Ingérée (MSVI)

La première étape pour connaître la quantité de chaque minéral ingéré est de déterminer la quantité d'aliment ingéré. En élevage extensif, la quantité d'aliment ingéré n'est pas déterminé par une distribution par l'éleveur puisque les animaux pâturent toutes l'année. Ainsi pour estimer la quantité d'aliment ingéré, la Matière Sèche Volontairement Ingérée (MSVI) a été utilisé. La MSVI représente la quantité d'aliment que l'animal est capable d'ingérer sur une journée.

Cette valeur peut être approchée par la capacité d'ingestion des animaux et la valeur d'encombrement des aliments (INRA 2018). Pour des animaux au pâturage, la capacité d'ingestion varie en fonction du poids de l'animal, de sa production, de son statut social, de l'avancement de son apprentissage, de sa connaissance du milieu et de tous les facteurs liés à la disponibilité de l'aliment (Delagarde et al. 2001). C'est particulièrement le cas dans le contexte zambien où les animaux sont tous mélangés, pâturent sur des prairies très hétérogènes.

Comme les valeurs d'encombrement n'ont pas été déterminé pour les aliments de Zambie, nous avons choisi d'utiliser le modèle de Mertens qui utilise les teneurs en NDF pour déterminer la MSVI. NDF signifie Neutral Detergent Fibers et représente une estimation de la proportion de fibres, c'est-à-dire les constituants des parois cellulaires dont la fermentation ruminale est lente (cellulose, hémicellulose, lignine et composés N-lignine) (Foss 2018). C'est donc un critère qui permet de calculer le volume de fourrage que l'animal peut ingérer : NDF intake capacity. Les valeurs de NDF des fourrages sélectionnés ont déjà été mesurés sur des échantillons antérieurs (Voir Tableau 14).

$$MSVI = \frac{NDF \text{ intake capacity}}{NDF}$$

Cependant, le MSVI calculée par la formule de Mertens telle qu'utilisée en Occident, c'est-à-dire avec NDF intake capacity = 1,2% du poids vif, ne correspond pas avec le MSVI observée sur le terrain en climats tropicaux. En effet, cette donnée dépend de plusieurs facteurs comme le stade de développement de l'animal ou encore le défiet on peut ainsi augmenter la valeur du NDF intake capacity à 1,35 % du Poids Vif (PV)(Bateki et al. 2019).

$$MSVI = \frac{0,0135 \times PV}{NDF}$$

Nous avons utilisé la valeur moyenne des teneurs en NDF (=67,6%) des fourrages analysés pour déterminer la MSVI des animaux.

Tableau 14 : Valeurs de %NDF pour chaque fourrage de la liste

Fourrage	%NDF
Mulombe	63
Musekese	50,6
Muntende	59,79

Nankokwe	70,23
Isaale	70,1
Looyo	74,04
Sangani	62,25
Mampolwe	74,57
Lusanje	74,77
Kalalatimba	76,26

La moyenne des poids à l'âge adulte pour les trois races indigènes zambiennes est de 250 kg (IAEA 2021), ce qui correspond aux valeurs observées sur la chefferie d'après les membres de l'association (mesure de poids par ruban barymétrique étalonné pour les bovins à bosse). C'est cette valeur que nous avons retenue.

Calcul du MSVI :

Le MSVI des bovins de la chefferie est alors de :

$$MSVI = \frac{0,0135 \times 250}{0,676} = 5 \text{ kg MS/j}$$

b. Introduction de la notion de coefficient d'absorption pour les macro-éléments

Depuis les travaux de Meschy en 2002 les besoins en phosphore s'expriment en phosphore absorbable en France. Il en est de même pour le calcium depuis 2005. (Brunschwig et al. 2008)

Les résultats d'analyse de fourrage fournissent la teneur totale en éléments minéraux. Cette valeur pourra ainsi être corrigée par le Coefficient d'Absorption Réelle (CAR), qui inclue les notions de biodisponibilité, d'assimilabilité ou de d'absorbabilité (cf Tableau 15) afin d'obtenir une valeur en élément absorbable d'après la formule suivante :

$P \text{ abs} = P \text{ tot} \times \text{CAR}$

Tableau 15 : Valeur de CAR moyen pour des prairies permanentes d'après INRA 2018.

Macro-élément minéral étudié ici	Valeur de CAR retenue pour les calculs
Phosphore	65%

Calcium	40%
Sodium	90%
Magnésium	25%

c. Détermination des besoins en minéraux des bovins de la chefferie

Etant donné la mixité des profils dans les troupeaux, pour cette étude nous avons choisi de baser nos calculs sur un profil aux besoins importants pour que les besoins de tous les animaux du troupeau soient couverts. Le profil choisi est le suivant : un bovin femelle ayant terminé sa croissance, en lactation avec une production de 3L/j (une MSVI = 5kg). Les valeurs de lactation établies sur la chefferie étaient trop imprécises pour pouvoir être exploitables : non connaissance de la quantité de lait consommée par les veaux, imprécision sur la mesure de la quantité de lait collectée lors de la traite, inconstante de l'intensité de la traite : parfois jusqu'à vidange, parfois non selon les besoins. Il a donc été choisi de se baser sur la production annuelle moyenne des races zambiennes pour définir une production laitière de 3L/j (IAEA 2021).

Les recommandations quant aux besoins en macro-éléments sont très dépendantes du statut physiologique de l'animal et de sa production. Ainsi, pour le calcium et le phosphore, les formules de calcul de besoin de l'INRA tiennent compte de la capacité d'ingestion, du poids vif de l'animal, et de sa quantité exacte de lait produite et donc permettent d'adapter ces recommandations formulées dans le contexte occidental aux troupeaux de la chefferie. Les besoins totaux en macro-éléments correspondent à la somme des besoins d'entretien et des besoins de production laitière. Les résultats de ces calculs sont visibles dans le tableau 16.

Les besoins ainsi calculés en g/j pourront l'être aussi en g/kg de MS pour être plus facilement comparables à la teneur dans les fourrages en utilisant la MSVI en kg MS/j :

$$b \text{ (g/kg MS)} = \frac{B \left(\frac{g}{j}\right)}{MSVI \left(\frac{kg MS}{j}\right)}$$

Tableau 16 : Calcul des besoins en P, Ca, Na et Mg des bovins de la chefferie d'après les formules développées par l'INRA 2018.

Minéral	Besoin d'entretien	Besoin de production laitière	Besoin en élément absorbable	Besoin en élément total (g/j)	Besoin en élément total (mg/kg MS)
P	$(0,83 \times \text{MSVI}) + (0,002 \times \text{PV})$	0,9 g/L	7,3 g/j	11,2 g/j	2 200 mg/kg de MS
	$(0,83 \times 5) + (0,002 \times 250)$	0,9 x 3			
Ca	$(0,663 \times \text{MSVI}) + (0,008 \times \text{PV})$	1,25 g/L	9 g/j	23 g/j	4 600 mg/kg de MS
	$(0,663 \times 5) + (0,008 \times 250)$	1,25 x 3			
Na	0,023 x PV	0,45 g/L	7,1 g/j	7,9 g/j	1 580 mg/kg de MS
	0,023 x 250	0,45 x 3			
Mg	0,007 x PV	0,15 g/L	2,2 g/j	8,8 g/j	1 760 mg/kg de MS
	0,007 x 250	0,15 x 3			

Pour les besoins en oligo-éléments, les recommandations les plus récentes pour les vaches allaitantes sont présentées dans le tableau 17. Le choix des vaches allaitante a été retenu car la production laitière des vaches zambiennes est plus comparable à celle des allaitantes en France qu'à celle des hautes productrices occidentales.

Tableau 17 : Comparaison des besoins en minéraux pour une vache allaitante d'après l'INRA et le NRC.

*l'INRA considère une augmentation des besoins sur les vaches allaitantes en lactation en fonction de la quantité de lait produite

		INRA 2018	NRC 2016
Cobalt	ppm	0,3	0,15
Cuivre	ppm	10	10
Iode	ppm	0,5 – 0,8 *	0,5
Fer	ppm	/	50
Manganèse	ppm	50	40
Sélénium	ppm	0,1 – 0,2 *	0,1
Zinc	ppm	50	30

Les besoins des bovins établis par l'INRA sont supérieurs à ceux fixés par le NRC. Ces différences sont notamment liées à une valeur de digestibilité des oligo-éléments plus faible selon l'INRA. Or, les bovins élevés en milieu tropical doivent s'adapter aux fourrages de plus faible digestibilité - car très riches en fibres totales et lignine - de leur environnement. (Bateki et al. 2019). Ainsi, les bovins élevés sous des climats tropicaux possèdent un pouvoir digestif supérieur à celui des animaux maintenus sous des climats tempérés. (Labouche et al. 1954) Ainsi, nous choisirons de retenir les besoins en oligo-éléments établis par le NRC. (cf tableau 18)

Tableau 18 : Besoins en oligo-éléments exprimés en mg/kg de MS et en mg/j pour des vaches ayant une MSVI de 5kg

Minéral	Besoin en mg/kg MS	Besoin quotidien pour une MSVI de 5 kg (mg/j)

Cobalt	0,15	0,75
Cuivre	10	50
Iode	0,5	2,5
Fer	50	250
Manganèse	40	200
Sélénium	0,1	0,5
Zinc	30	150

d. Calcul de l'apport en calcium et phosphore de la ration à partir des résultats d'analyses

La valeur de l'apport en macro-élément par le pâturage peut être calculée par la formule suivante :

$$M_{ration} \left(\frac{g}{j} \right) = \frac{VDMI (kg) \times \overline{M_{fourrages}} \left(\frac{mg}{kg} \right)}{1\ 000}$$

Dans cette formule, M désigne l'élément minéral Ca ou P.

Il faut distinguer la saison sèche de la saison des pluies. En effet, les feuilles et les fruits ne sont disponibles à la consommation que pendant la saison des pluies. Lors de la saison sèche, le surpâturage des ressources disponibles, l'écobuage et la perte naturelle des feuilles par la majorité des arbres à cette période rendent les feuilles quasiment indisponibles pour les animaux.

Ainsi la moyenne de concentration des fourrages de type herbes uniquement a été utilisée comme valeur de $\overline{M_{fourrages}}$ pour la saison sèche. La valeur de $\overline{M_{fourrages}}$ pour la saison des pluies a été calculée, en modulant l'importance des différents types de fourrages par l'introduction de facteurs respectant au mieux les observations empiriques sur la proportion approximative de chaque type de fourrage dans

l'alimentation quotidienne des vaches lorsque tous sont disponibles. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\overline{M_{fourrages}} = \frac{8}{11} \times \overline{M_{Herbes}} + \frac{2}{11} \times \overline{M_{Arbres}} + \frac{1}{11} \times \overline{M_{Fruits}}$$

3. Transmission des informations du projet lors de formations

a. Formation des éleveurs à la complémentation de leurs troupeaux

Dans les six villages qui composent la chefferie (cf tableau 19), les Assistants en Santé Animale (ASA) ont présenté le sujet et proposé à ceux qui souhaitent d'assister à la présentation.

Tableau 19 : Village où ont été organisées des présentations sur l'intérêt des minéraux et les moyens d'augmenter leur apport pour les bovins de la chefferie

New Ngoma
Kaminza
Basanga
Ibula
Ntubya
Iyanda

Le contenu des formations était : introduction de la notion de minéraux et de leur intérêt chez les bovins, différents moyens d'augmenter l'apport en minéraux dans les troupeaux, et consignes d'utilisation des blocs à lécher. L'exposé oral était traduit en langue locale par les ASA depuis l'anglais, et appuyé d'un poster en anglais et très illustré. Le poster a ensuite été mis à disposition de tous, au Community Livestock

Center (CLC), un local mis en place par Melindika dans la ville de Basanga, qui permet le stockage et la vente de médicaments dans la chefferie. Il est visible en ANNEXE 4.

b. Formation des ASA à la réalisation des blocs de pierre à sel et l'utilisation de compléments minéraux

Les ASA ont assisté à la même formation que les éleveurs en tant que traducteurs. Une formation d'approfondissement leur a ensuite été dispensée en anglais, avec un support de présentation en format power-point (cf ANNEXE 5). Les thèmes abordés étaient :

- Approfondissement des connaissances sur les rôles des minéraux
- Approfondissement des connaissances sur les signes de carences,
- Approfondissement des connaissances sur la composition des compléments pour mieux justifier leur utilisation
- Démarche à adopter pour l'identifier et traiter les problèmes liés à des carences en minéraux
- Conseils pratiques sur la gestion de la surconsommation de compléments
- Conseils pratiques sur la gestion des conflits physiques pour l'accès aux compléments.

La formation s'achevait par des mises en situation pour le conseil des éleveurs en cas de pathologie, de problèmes liés aux compléments ou tout simplement pour la mise en place de ceux-ci. Un document rédigé en anglais et synthétisant les notions abordées a été distribué à chaque ASA (cf ANNEXE 6).

Un atelier sur la réalisation de pierre à sels en vue de leur mise à la vente au CLC a été mis en place. La recette de fabrication a été rédigée en anglais et de façon illustrée.

II. Résultats

1. Détermination de la quantité de minéraux à apporter aux animaux à partir de la lecture des résultats d'analyse des fourrages

a. Comparaison des résultats de la concentration en minéraux des fourrages avec les besoins des bovins

Les résultats d'analyse des fourrages fournis par Upscience sont visibles en ANNEXE 7 et synthétisés dans le tableau 20.

Tableau 20 : Synthèse des résultats de concentration en minéraux (ppm) des différents échantillons. Les cases beiges montrent un apport en dessous des besoins, celles en vert clair, un apport suffisant ; et celles en vert foncé, un apport important.

Nom de la plante	Type de fourrage	Ca	P	Mg	Cu	Zn
Lusanje	Herbe	1 912 ± 191	601 ± 48	828 ± 83	<5	26 ± 3
Muntende	Herbe	1 755 ± 176	497 ± 40	626 ± 63	<5	16 ± 3
Musekese	Arbre (feuilles)	16 480 ± 1 648	833 ± 67	2 239 ± 224	<5	50 ± 5
Isaale	Herbe	1 922 ± 192	1 186 ± 95	1 075 ± 108	<5	23 ± 3
Kalalatimba	Herbe	1 635 ± 164	605 ± 48	449 ± 45	<5	16 ± 3
Mungashia	Fruit	3 888 ± 389	1 096 ± 88	1 183 ± 118	<5	17 ± 3
Sangani	Herbe	1 755 ± 176	1 078 ± 86	854 ± 85	<5	14 ± 3
Mulombe	Arbre (feuilles)	8 842 ± 884	800 ± 64	3 412 ± 341	7 ± 3	20 ± 3
Looyo	Herbe	2 351 ± 235	1 855 ± 148	1 380 ± 138	7 ± 3	66 ± 7
Mampolwe	Herbe	2 417 ± 242	604 ± 48	892 ± 89	<5	43 ± 4
Nankokwe	Herbe	1 935 ± 194	4 392 ± 351	2 031 ± 203	7 ± 3	37 ± 4
Besoins	g/j	23	11	8,8		
Besoins	ppm	4 600	2 200	1 760	10	30

Le dosage du Co était <2 ppm dans tous les échantillons ce qui les place en dessous de la limite de toxicité de 25 ppm.

Le dosage du Se était <0,50 ppm dans tous les échantillons ce qui les place en dessous de la limite de toxicité de 5 ppm.

b. Calcul de l'apport en calcium, phosphore et magnésium de la ration à partir des résultats d'analyses

Pour le Phosphore, la teneur de l'herbe Nankokwe étant très différente des autres, et ne pouvant être absorbée sur une moyenne contenant seulement 11 données, elle a été retirée du calcul.

La farine de maïs parfois distribué aux vaches pendant la saison sèche n'a pas été incluse dans les calculs car la distribution est inconstante dans le temps et entre les éleveurs.

Les résultats de ces calculs (cf formules données dans matériel et méthodes : I.2.c. et I.2.a.) sont présentés dans les tableaux 21.

Tableau 21 : Valeurs approximatives de l'apport en calcium et phosphore obtenu par le pâturage en fonction des saisons

Saison sèche		Saison des pluies	
Apport Ca mg/kg MS	1 960	Apport Ca mg/kg MS	4081
Apport P mg/kg MS	918	Apport P mg/kg MS	916
Apport Mg mg/kg MS	1 017	Apport Mg mg/kg MS	1 361
Apport Ca g/j	10	Apport Ca g/j	20
Apport P g/j	5	Apport P g/j	5
Apport Mg g/j	5	Apport Mg g/j	7

L'apport de Phosphore par le pâturage est constant entre les saisons donc la valeur P = 5 g/j a été retenue. L'apport de calcium par le pâturage est deux fois plus important pendant la saison des pluies. Etant donné le caractère non toxique et non polluant du Ca (Meschy 2017), il a été choisi de se placer dans les conditions de plus faible apport par le pâturage pour calculer l'apport attendu par le complément. La valeur Ca = 10 g/j a été retenue pour la suite des calculs. L'apport de magnésium varie peu entre les saisons : de 5 g/j en saison sèche à 7 g/j en saison des pluies. La moyenne : 6g/j a été retenue pour les calculs.

c. Détermination de la quantité de minéraux à apporter par la complémentation

La quantité d'oligo-élément à apporter aux animaux a été envisagée comme la valeur de leurs besoins.

Pour le calcium, le phosphore et le magnésium, en revanche, l'apport par la complémentation a été calculé comme le besoin journalier auquel on soustrait l'apport du pâturage (cf tableau 22)

Tableau 22 : Apport de la ration et du complément pour répondre aux besoins quotidiens en calcium et phosphore

Minéral	Besoin journalier	Apport de la ration	Apport du complément
Ca	23 g/j	10 g/j	13 g/j
P	11,2 g/j	5 g/j	6,2 g/j
Mg	8,8 g/j	6 g/j	2,8 g/j

A partir de cette quantité de minéraux à apporter aux animaux quotidiennement, la composition minimale en minéraux d'un complément pour couvrir les besoins des bovins par la consommation de 100g par jour peut être déterminée (cf tableau 23).

Tableau 23 : Composition en minéraux d'un bloc à lécher couvrant les besoins des bovins de la chefferie pour 100g ingérés quotidiennement.

Minéral	Apport attendu	Unité	Composition du complément	Unité
P	6	g/j	60	g/kg
Ca	13	g/j	130	g/kg
Mg	2,8	g/j	28	g/kg
Zn	150	mg/j	1500	mg/kg
Cu	50	mg/j	500	mg/kg
Se	0,5	mg/j	5	mg/kg
Mn	200	mg/j	2000	mg/kg
Co	0,75	mg/j	8	mg/kg
I	2,5	mg/j	25	mg/kg

2. Choix d'un bloc à lécher adapté aux besoins des animaux et répondant aux contraintes financières et de disponibilité des produits

a. Choix du complément à mettre en place dans la chefferie à partir de l'inventaire et de la tarification des pierres à sel disponible à l'achat pour Melindika

Des devis ont été établis auprès de Livestock Center et Agrivet - entreprises agrovétérinaires parmi les principaux fournisseurs du pays et fournisseurs exclusifs de Melindika – afin de figurer la complémentation par pierre à sel la plus économique à présenter aux éleveurs de la chefferie.

Le tableau 24 présente le coût des produits disponibles d'après les devis. Il présente également le prix, pour chaque bloc, de l'utilisation pendant 1 mois pour un troupeau de 20 vaches, soit le coût de 60kg de produit si on considère une ingestion quotidienne de 100g par vache comme indiqué sur la notice commerciale. Enfin, il présente le prix de ce mois de complémentation pour l'éleveur en appliquant 25% de plus que le prix initial, ce qui est le pourcentage utilisé par Melindika pour couvrir les frais d'approvisionnement des produits directement à la capitale. Cet approvisionnement implique la mobilisation et le séjour d'un bénévole de l'association à la capitale et la couverture d'un trajet aller-retour de 362 km soit 2 fois 5h36 de route et de piste (Google Maps 2023)

Tableau 24 : Comparaison des prix des compléments minéraux complets disponibles à la vente chez Agrivet et Livestock center en Zambie

Produit	Prix d'achat pour Melindika dans le format de vente	Prix d'achat pour 20 vaches pendant 1 mois (60 kg)	Prix de vente aux éleveurs : +25%
Rainfos 15 sous forme de pierre à lécher	K 1 399 / 160 kg	K 525	K 657
Rainfos 15 distribué sous forme de poudre	K 1 341 / 140kg	K 575	K 719
Hyperfeed	K 520,24 / 20 kg	K 1 561	K 1 952
Hyperfeed winter Contient également une source d'azote pour la saison sèche Apport journalier recommandé de 660g/ vache	K 298,86/ 20 kg	K 5 978 pour 400 kg	K 7 473
Ultramix general	K 69,55 / 2 kg	K 2 087	K 2 609
Ultramix maziwa	K 74,90 / 2 kg	K 2 247	K 2 809

Le complément minéral le moins cher, le Rainfos 15 de Novatek, est une poudre contenant un mélange de minéraux ainsi que de la vitamine A qui doit être reconstitué sous forme de pierre à lécher par mélange avec de l'eau et de la mélasse. Il peut également être distribué sous forme de poudre libre.

Nous avons choisi ici de l'utiliser sous forme de pierres à lécher pour faciliter sa distribution aux animaux et son transport entre le CLC où il pourra être stocké et les élevages des différents villages.

b. Comparaison de la composition du complément choisi par rapport aux besoins des animaux de la chefferie

L'étiquetage du produit préconise l'ingestion quotidienne de 100 à 200g par jour. 100g sont en réalité déjà suffisants pour couvrir les besoins des vaches de la chefferie.

Le tableau 25 montre qu'à partir de l'ingestion de 90g/j de Rainfos 15, tous les besoins en minéraux des vaches sont couverts. C'est en effet la plus petite quantité permettant de couvrir les besoins en calcium, les besoins en tous les autres minéraux

étant également largement couverts avec cette quantité, sauf pour le magnésium qui n'est pas apporté par du Rainfos.

Tableau 25 : Etude de la couverture des besoins journaliers par l'ingestion de 90g de Rainfos 15 d'après l'étude de la composition du produit.

Minéral	Composition du Rainfos	Unité	Apport journalier si ingestion 90g /j	Unité	Apport attendu
P	150	g/kg	13,5	g/j	6
Ca	150	g/kg	13,5	g/j	13
Zn	2643	mg/kg	237,87	mg/j	150
Cu	705	mg/kg	63,45	mg/j	50
Se	9,4	mg/kg	0,846	mg/j	0,5
Mn	2622	mg/kg	235,98	mg/j	200
Co	10	mg/kg	0,9	mg/j	0,75
I	126	mg/kg	11,34	mg/j	2,5

c. Inventaire et tarifications des autres types de compléments minéraux disponibles à l'achat pour Melindika

Le DCP et le Multimin étaient également disponibles à la vente auprès des fournisseurs de Melindika. Le tableau 26 présente le prix d'achat de ces produits pour les éleveurs, en tenant compte des +25% appliqués par Melindika.

Tableau 26 : Grille tarifaire des produits disponibles pour les éleveurs au CLC.

Produit	Tarif pour les éleveurs à l'achat au CLC
Rainfos bloc	K 16 par bloc de 4kg
DCP	K 0,4 par cuillère à soupe
	K 48 par kg
Multimin	K 20 par injection (2,5 mL pour 250 kg)

Le DCP constitue une alternative aux pierres à sel pour la complémentation phosphocalcique. Il se présente sous forme de poudre à distribuer (cf tableau 27)

Tableau 27 : Composition du DCP disponible à la vente pour Melindika

Minéral	Concentration
Phosphore	18%
Calcium	22%

Le Multimin constitue une source de complémentation en oligo-éléments sous format injectable. Il pourrait être envisagé en complément des pierres à sel (cf tableau 28)

Tableau 28 : Composition du Multimin

Minéral	Concentration
Zinc	60 mg/mL
Manganèse	10 mg/mL
Cuivre	15 mg/mL
Sélénium	5 mg/mL

3. Bilan des formations aux ASA et aux éleveurs

a. Retours sur l'organisation des présentations faites aux éleveurs

Le tableau 29 présente les dates, lieux, nombres de participants et éventuelles remarques relatives aux présentations faites aux éleveurs. Le nombre d'éleveurs présents est ici comparé au nombre d'éleveurs de vaches collaborant avec Melindika dans chaque village d'après l'inventaire de mars 2022.

Tableau 29 : Compte rendu des dates, lieux et nombre de participants aux réunions d'information sur les minéraux et les compléments à destination des éleveurs

Village	Date	Lieu	Nombre d'éleveurs présents	Commentaire
New Ngoma	23/09/2023	Ecole	0/12	Célébration d'un « mémorial » en l'honneur d'un défunt ce jour
Kaminza	25/09/2023	Eglise	7/16	
Basanga	26/09/2023	CLC	19/58	
Iyanda	27/09/2023	Eglise	19/31	
Ibula	28/09/2023		0/10	L'ASA en charge n'a pas organisé la réunion
Ntubya	30/09/2023	Ecole	6/38	



Figure 7 : Photographies des élèves ayant participé aux formations et lieux des formations dans les villages de (de gauche à droite et de bas en haut) : New Ngoma - Basanga - Iyanda – Ntubya. Source personnelle

L'ASA en charge du village de New Ngoma est également en charge de Kaminza. Après avoir assisté à la présentation faite à Kaminza, elle a pu rapporter les informations aux élèves de New Ngoma qui ont ainsi pu bénéficier de la formation. Les élèves d'Ibula seront formés ultérieurement, lorsqu'une nouvelle réunion pourra être organisée dans cette zone.

Melindika participe une fois par mois à des émissions de radio, qui est le média le plus suivi dans la chefferie. Ses émissions sont diffusées sur la chaîne de la ville la plus proche : Itezhi Tezhi et permettent ainsi de toucher un plus grand public. L'émission du mois de novembre 2023, sous la forme d'un dialogue entre le présentateur et un ASA d'après un texte préalablement rédigé permettra la diffusion du contenu de la formation.

b. Bilan des retours des éleveurs au sujet de la présentation, et des effectifs de leurs troupeaux

Parmi les éleveurs ayant pu assister à la formation, 100% ont montré et exprimé un grand intérêt envers le sujet. Les présentations ont duré entre 2h et 2h30, ce qui était supérieur au temps prévu, car un grand nombre de questions ont été posées dans chaque village. On peut relever, parmi ces interventions, certaines questions ou requêtes importantes :

- Les éleveurs de Lyanda ont suggéré la réalisation d'une formation sur le respect des mesures d'hygiène pour la manipulation et le conditionnement des os en poudre avant d'envisager leur utilisation.
- Dans plusieurs villages, des questions ont été posées sur l'innocuité de l'ingestion des blocs de minéraux pour les autres espèces d'animaux d'élevages, voire sur des conseils d'utilisation chez d'autres espèces et en particulier chez les chèvres.
- Dans plusieurs villages, il a été suggéré que, suite à la mise en place des coopératives (un projet en cours de l'association), il puisse être possible pour les éleveurs d'acheter auprès du CLC directement les sacs de minéraux et la mélasse afin de réaliser eux-mêmes leurs blocs. Bien que le coût de revient reste le même étant donné l'absence de facturation de la main d'œuvre nécessaire à la réalisation des blocs, les éleveurs étaient toujours motivés par cette idée.

Par ailleurs, les entretiens avec les éleveurs ont permis de mettre en lumière des phénomènes cliniques pouvant être corrélés notamment avec des carences en minéraux :

- Du pica : consommation de sols et en particulier d'argiles, ainsi que la mastication d'os.
- Une durée d'I.V.V. longue. Les villages issus de la tradition Ila, qui sont historiquement des éleveurs nomades, observent dans leurs troupeaux des I.V.V. entre 2 et 3 ans alors que les Tonga, de tradition sédentaires pratiquant plutôt l'agriculture avec une histoire d'éleveur plus récente rapportent des I.V.V.

plutôt entre 3 et 4 ans. L'échantillonnage faible en particulier dans le groupe Tonga ne permet pas d'affirmer cette corrélation.

- Des rétentions placentaires
- Des fasciculations musculaires et tétanie
- Des boiteries associées à des raideurs postérieures

On ne peut évidemment pas écarter d'autres causes possibles pour chacun de ces problèmes : brucellose pour la rétention placentaire (prévalence de 30% dans la chefferie), tétanos pour les trémulations musculaires et la tétanie, fièvre de trois-jours (Ephemerovirus) pour les raideurs musculaires etc...

Il a été demandé aux éleveurs le nombre de bovins dans leur troupeau (cf tableau 30)

Tableau 30 : Répartition du nombre de vaches dans les troupeaux des éleveurs présents en fonction de leur village de provenance

Nombre de vaches dans l'élevage	Kaminza	Basanga	Iyanda	Ntubya
0 - 30	5	0	8	5
31 - 50	2	8	10	1
51 - 70		7	0	
71 - 100		1	1	
101 - 150		1		
> 150		2		

Il leur a également été demandé de désigner, parmi les solutions proposées, lesquelles ils seraient prêts à mettre en place (cf tableau 31), et si le coût de ces mesures leur paraissait abordable. A cette dernière question, les éleveurs ont tous répondu oui, quelle que soit la mesure proposée, et quel que soit leur village d'origine.

Tableau 31 : Intérêt des éleveurs pour les différentes méthodes de complémentation proposées en fonction des villages

	Kaminza	Basanga	Iyanda	Ntubya
Cultiver les plantes d'intérêt	14%	21%	84 %	67 %
Utiliser les blocs en vente au CLC	100 %	100 %	100 %	100 %
Utiliser le DCP	100 %	100 %	100 %	100 %
Utiliser le Multimin en peri-patum	71 %	89 %	100 %	100 %
Utiliser la poudre d'os	0 % paraît impossible de se procurer une quantité d'os suffisante de façon régulière	100 %	100 % si possibilité de récupérer les os d'animaux sauvages, à discuter avec les Game Rangers International	100 %

c. Observations sur la méthode de réalisation des blocs Rainfos 15

La matinée du 29/09/2023 a été dédiée à la réalisation d'essais de blocs de différentes tailles afin de familiariser les ASA avec la recette de fabrication et les procédures de sécurité. L'ASA d'Ibula ne s'est pas présenté à la formation.



Figure 8 : Photographies pendant et après l'atelier de fabrication des pierres à sel Rainfos 15 par les 4 ASA de Melindika. Source personnelle

Le mélange du sel, de la mélasse et du Rainfos 15 a été fait en respectant les proportions données par la recette du fournisseur. Des blocs de 5 kg et 4 kg ont été réalisés.

Des bouteilles plastique de 5L dont la partie supérieure a été découpée ont été utilisés comme moule. Elles ont été recouvertes d'huile alimentaire avant d'y déposer le mélange afin de faciliter le démoulage. Un tube cylindrique long et fin en verre a été utilisé pour faire un trou dans le centre du bloc par un mouvement de rotation après que le bloc ai commencé à durcir, une fois 10 min après la mise en moule et 1 fois 20 min après la mise en moule. Il n'a pas été laissé en place pour le reste du séchage.

Les blocs ont été déposés pour le séchage dans le séchoir du CLC. L'état de séchage était vérifié quotidiennement. Après une première phase de séchage dans le moule jusqu'à obtention d'un bloc dur, le bloc était démoulé, retourné et laissé au séchoir pour achever le séchage et face ainsi découvertes.

Cet atelier s'est tenu au CLC et a permis de déterminer que :

- Les bidons d'eau de 5 L découpés selon les recommandations de la recette (cf ANNEXE 8) ont constitué des moules efficaces et à moindre coût.



*Figure 9 : Mélange de minéraux, sel et mélasse déposé dans un moule pour le séchage.
Source personnelle*

- Le trou formé au début du processus de séchage s'est maintenu pendant toute la procédure et était suffisamment large et résistant pour permettre d'envisager de suspendre le bloc.
- Le temps de séchage complet des blocs de 4 kg ainsi réalisés a été de 7 jours : 4 jours dans le moule – 3 jours démoulés retournés



Figure 10 : Bloc après séchage. Source personnelle

- L'utilisation du séchoir du CLC créé lors d'un précédent projet permettait un séchage efficace, à l'extérieur, tout en protégeant les blocs du vol.
- Les blocs de 5 kg risquent d'être trop lourds pour être supportés par les troncs d'arbres qui servent de poteau de clôture pour les parcs (voir figure 9), les blocs de 4 kg paraissent plus appropriés.



Figure 11 : Enclos en bois et vache en pâturage libre en journée. Source personnelle

a. Bilan des formations faites aux ASA

La formation d'approfondissement des notions sur les minéraux à destination des ASA s'est tenue le 29.09/2023 au CLC. L'ASA d'Ibula n'était pas présent. La formation a duré 2h30. Les ASA se sont montrés très intéressés et concentrés. Ils ont posé de nombreuses questions sur des cas cliniques déjà rencontrés et ont participé activement lors des mises en situation.

III. Discussion

Le présent projet a permis, d'une part, d'évaluer les carences en minéraux des bovins de la chefferie du Musungwa à partir de l'analyse de leurs fourrages principaux. D'autre part, il a permis de mettre en place la complémentation en minéraux des bovins dans la chefferie, grâce à la sensibilisation des éleveurs quant à leur rôle dans l'alimentation des bovins et grâce à la proposition de solutions concrètes et abordables pour améliorer la couverture des besoins de leurs animaux.

1. Etude des carences en minéraux des bovins de la chefferie

a. Carences observées par rapport aux carences mentionnées dans la littérature

Les carences en phosphore sont largement décrites sur le sol africain avec des fourrages autour de 1 g/kg MS (Meschy 2017). Les résultats de la présente étude viennent corroborer cette affirmation avec $\bar{P} = 0,916$ g/kg MS sans tenir compte du Nankokwe et $\bar{P} = 1,232$ g/L avec. La plante Nankokwe (*Setaria incrassata* ou *Setaria phragmitoides*), présente en revanche 2 fois la quantité de phosphore nécessaire pour couvrir les besoins des bovins de la chefferie. Sur 11 fourrages analysés, 10 ne couvrent pas les besoins en phosphore des animaux. Les feuilles et fruits de ligneux ne couvrent pas mieux les besoins en phosphore que les herbacées.

Contrairement aux résultats de l'étude sur les fourrages de la province sud de la Zambie menée par Lundu (2012), cette étude révèle des concentrations en Ca largement déficitaire dans les herbacées \overline{Ca} (herbacées) = 1,960 g/kg MS. Cependant, les échantillons de ligneux concentrent le calcium (feuilles : $16,480 \pm 1,648$ g/kg et $8,842 \pm 0,884$; fruit : $3,888 \pm 0,389$). Ces résultats sont en revanche similaires à ceux de Boyazoglu (1973) en Afrique du sud qui expliquent que dans les zones de brousse, la présence de ligneux en quantité importante permet de compenser la pauvreté en calcium des herbacées pour couvrir les besoins des animaux. Cependant, ce phénomène de compensation pourrait ne pas être efficient en saison sèche en raison de l'absence de fruits et de la rareté des feuilles.

La mesure de la concentration en magnésium dans les fourrages de la chefferie corrobore les résultats d'analyses réalisées dans la province sud de la Zambie (Lundu, 2012). Sur 11 fourrages analysés 4 présentent une concentration suffisante dont 1 concentre deux fois la quantité nécessaire. Toutefois, la moyenne de l'apport par la ration reste en dessous des besoins des animaux : 5 à 7 g/j d'apport pour des besoins de 8,8 g/j. Il est difficile de conclure sur le statut nutritionnel en magnésium des bovins de la chefferie, mais l'apparition de tétanies d'herbage ne peut pas être exclue puisque

le statut en Na et K des fourrages n'est pas connu et que des tétanies sont observées sur la chefferie. De plus amples investigations seraient nécessaires pour en déterminer la cause avec certitude étant donné le diagnostic différentiel large dans cette zone où existe notamment *Clostridium tetani* (Mudenda Hang'ombe et al., 2000).

Les carences en Zn, souvent observées dans les pays africains (Faye et al. 1990; Dermauw 2013; Kabaija 1988, Smith 1988; Mandiki et al. 1986; Didier 1986; Molefe et al. 2019) ne sont pas évidentes dans les dosages réalisés sur les échantillons de la chefferie. 5 sur 11 des fourrages analysés présentaient des concentrations en Zn suffisantes, dont 2 avaient une teneur autour de 2 fois la valeur des besoins.

En revanche pour le cuivre, également présenté comme déficitaire dans les fourrages d'Afrique (Didier 1986; Boyazoglu 1973; Molefe et al. 2019; Lundu 2012; Dermauw 2013; Mtimuni et al. 1992; Kabaija et al. 1988; Mandiki et al. 1986) seulement 3 des 11 échantillons contenaient une quantité suffisante en cuivre, en tenant compte de l'incertitude sur la mesure : 7 ± 3 ppm avec des besoins de 10 ppm. Les carences en zinc chez les bovins du Munsungwa sont peu probables mais les carences en cuivre ne peuvent être écartées. L'étude de Lundu (2012) également menée en Zambie avait montré que la concentration en cuivre était plus importante pendant la saison des pluies et le début de la saison sèche – moment de collecte des échantillons de cette étude – par rapport à la partie chaude de la saison sèche. Les concentrations en cuivre dans les fourrages étant déjà en limite des besoins, on peut imaginer une quantité insuffisante pour la deuxième partie de la saison sèche. Enfin, la possible existence d'interactions antagonisant le cuivre renforce l'hypothèse de carences en cuivre dans la chefferie.

Le dosage du cobalt et du sélénium n'ont pas mis en évidence de concentration toxique de ces minéraux dans les fourrages analysés : Co < 2 ppm pour une limite de toxicité de 25 ppm et Se < 0,50 pour une limite de toxicité de 5 ppm.

b. Limites de cette étude

Le choix d'utiliser une analyse de fourrage pour déterminer le statut en élément minéral des bovins de la chefferie procure des informations utiles pour un coût modéré (Meschy 2017). Cependant, le manque de corrélation entre les concentrations de pâtures et les concentrations sanguines parfois observées montrent que cette

technique n'est pas idéale (Khalili et al.1993). Les échantillons sanguins ou osseux, parfois plus fiables, ne pouvaient être analysés dans le contexte de cette étude.

Le choix des fourrages à analyser ne peut pas représenter fidèlement la ration des animaux, en particulier dans des grandes aires en pâturage libre (Read et al. 1985). De plus, un échantillonnage unique a été réalisé en début de saison sèche et extrapolé à l'année, or, la teneur en minéraux des fourrages est susceptible de varier significativement entre la saison sèche et la saison des pluies (Lundu 2012, Boyazoglu 1973). Il serait intéressant de prolonger l'étude par une collecte de plusieurs échantillons des principales plantes consommées à différentes périodes de l'année. L'analyse en laboratoire de ces échantillons comporte également des biais liés à l'analyse (Meschy 2017).

L'étude des carences a été faite par rapport à un profil type mais il n'y a pas de séparation des animaux dans les élevages du Musungwa. Tous les animaux vont recevoir la même complémentation quels que soient leurs besoins. Pour que tous ces besoins soient couverts, le profil type a été choisi en fonction des besoins les plus importants.

L'analyse de l'apport alimentaire du cuivre est peu fiable si elle n'est pas accompagnée du dosage de ses principaux antagonistes : le soufre et le molybdène (Meschy 2017). Le statut nutritionnel en cuivre des animaux pourrait alors être surestimé si les fourrages présentent une teneur en cuivre correcte parallèlement à des teneurs élevées en S et Mo.

Le coût et le manque de fiabilité analytique du dosage des oligo-éléments autres que le cuivre et le zinc (Meschy 2017) ont été un frein à l'obtention des teneurs en minéraux pour des oligo-éléments pourtant présents dans les compléments mis en place, si une nouvelle étude était réalisée, il faudrait choisir un autre laboratoire d'analyses.

2. Relever les défis de la mise en place d'une complémentation minérale chez les bovins dans la chefferie du Musungwa

La mise en place d'une complémentation dans la chefferie du Musungwa a nécessité de relever plusieurs défis importants qui peuvent être regroupés sous trois grandes thématiques : les défis culturels, les défis techniques et les défis financiers.

a. Relever les défis culturels pour la mise en place d'une complémentation minérale chez les bovins dans la chefferie du Musungwa

Phénomène de groupe et influence des personnalités politiques de la chefferie

L'engouement des éleveurs pour le projet peut avoir été surévalué par l'effet de groupe étant donné que les réponses étaient faites à voix haute. En particulier à Lyanda, la présence de 3 headmen et 1 headwoman très motivés par le projet a pu influencer les éleveurs à répondre positivement au sondage de motivation. Il s'agit des personnages politiques de chaque village, eux-mêmes sous la gouverne du Chief qui dirige toute la chefferie.

Toucher un public large malgré les contraintes culturelles et logistiques

Les aléas culturels (cérémonie pendant les présentations) et personnels (absentéisme) ont été un frein à la mise en place des formations dans certains villages. Cependant, l'importance de la communication entre éleveurs dans les villages, la sollicitation et la confiance de plus en plus importante envers les ASA pour du conseil, et la portée de l'émission radio à venir permettent de rester optimiste sur la bonne diffusion du message de ce projet au sein des communautés.

L'importance d'adapter les supports au niveau des connaissances

Le taux d'alphabétisation en Zambie a augmenté de 61,13% en 2007 à 87,50% en 2020 (Université de Sherbrooke 2023). Le taux de scolarisation en cycle secondaire se situe autour de 60% (UNESCO 2014) mais il concerne principalement les habitants de zones urbaines et péri-urbaines. Les supports proposés, faisant appel à de nombreuses illustrations, et la traduction des présentations en langue locale ont

permis des échanges constructifs avec les éleveurs et l'acquisition des connaissances transmises : les différents apports de minéraux possibles et l'impact de la complémentation sur la reproduction, la production laitière et la santé des bovins.

Focaliser les formations sur l'acquisition des connaissances primordiales

Les questions de mise en pratique par des cas cliniques posées aux ASA au terme de leur formation ont mis en évidence des difficultés d'apprentissage sur les notions d'approfondissement trop théoriques et, ainsi, permis d'identifier les points essentiels sur lesquels se concentrer pour permettre ensuite au ASA d'assurer leur rôle de conseil avec l'autonomie imposée par l'absence d'un vétérinaire sur place toute l'année :

- Importance du respect d'un nombre de blocs et d'une distance optimisée entre eux pour éviter les conflits
- Importance d'un accès quotidien à l'eau
- Importance de la distribution ininterrompue des blocs à lécher ou DCP
- Risque de surconsommation et le comportement à adopter pour la gérer
- Les blocs minéraux contiennent une composition en minéraux optimale donc sont l'option à privilégier
- Le DCP constitue le minimum nécessaire et peut-être complété par des injections ponctuelles de Multimin autour du vêlage, d'épisodes de maladie ou de la pratique d'une vaccination
- Le DCP et les blocs à lécher ne doivent pas être combinés
- Ces compléments ne sont pas dangereux pour les autres espèces. Les blocs peuvent également être distribués aux chèvres et le DCP aux poules.

Les ASA se sont sentis valorisés, dans leur rôle de conseiller en santé animale, par l'acquisition de ces nouvelles connaissances et par la confiance que place l'association en eux pour prendre en main la mise en place de la complémentation minérale dans leurs villages.

a. Relever les défis techniques posés par la mise en place de la complémentation minérale : Recommandations pratiques sur la fabrication des pierres à sel

La durée et la méthode pour le séchage des blocs ont pu être déterminées. L'utilisation du séchoir permet de protéger les blocs du vol. Les blocs de 4kg semblent adaptés à la suspension sur le enclos et on peut envisager la création de bloc plus petits (ex : 2kg) pour répondre à la demande des éleveurs de chèvre.

Les bouteilles plastiques ont constitué des moules efficaces mais il pourra être envisagé de faire appel à un artisan ferronnier pour créer des moules multiples avec système d'ouverture adapté ou de parois amovibles pour permettre une production à plus grande échelle si la demande dans la chefferie le justifie. L'utilisation de l'huile alimentaire sur les parois des moules a permis un démoulage facile.

b. Relever les défis techniques posés par la mise en place de la complémentation minérale : problématiques liées à l'environnement

Nécessité de protéger les minéraux de l'eau en saison des pluies

La mise à l'abri de l'eau pendant la saison des pluies peut s'avérer compliquée puisque les enclos ne contiennent pas d'abris. Il faut concevoir un support de distribution qui soit en hauteur et possède un toit. Pour les blocs, il pourrait s'agir de les suspendre grâce au trou sur les troncs des enclos et de disposer un toit au-dessus. Il faut que la disposition du toit ne ferme pas trop l'angle de vue des vaches qui pourraient se sentir en danger et refuser de se présenter (Bélangier 2016). Pour la distribution de poudre, la conception d'un bac sur pieds avec un toit pourrait être idéale et devra aussi respecter cette contrainte d'ouverture.

Le taux d'hydratation des blocs est un paramètre à moduler pour s'adapter aux conditions environnementales de chaque saison. Des blocs plus secs en saison des pluies, limiteront l'impact de l'humidité ambiante. S'ils sont trop durs en saison sèche, ils pourraient être difficile à consommer pour les vaches (McDowell 1996).

Nécessité de prévenir le risque d'intoxication au sel

L'accès à l'eau est supprimé pendant la nuit puisque très peu d'enclos sont pourvus d'un abreuvoir. Pendant la journée, l'accès à l'eau dépend des déplacements des vaches et en saison sèche, les ressources en eau sont limitées. Les éleveurs confirment cependant que les vaches savent trouver un accès à l'eau quotidiennement au cours de leurs déplacements. La rivière Kafue, notamment, traverse la chefferie. Même si elle est presque asséchée pendant la saison sèche (cf figure 10), elle constitue une source d'eau pour les bovins toute l'année.



Figure 12 : Troupeaux en pâturage libre sur le lit de ce qui serait, hors saison sèche, la rivière kafue. Source personnelle – octobre 2023

La mise en place de compléments minéraux à base de sel est donc possible dans la chefferie. Etant donné la surconsommation possible de ces minéraux au moment de leur mise en place, il est préférable de commencer la complémentation pendant la saison des pluies, lorsque les ressources en eau ne sont pas limitées.

c. Relever les défis techniques posés par la mise en place de la complémentation minérale : coût de la surconsommation liée à la privation de minéraux

Si les animaux manquent de sel, ils surconsomment les pierres à sel et donc les autres minéraux (Bélanger 2016). D'après le Dr Moosa, nutritionnistes à Agrivet Zambia, cette surconsommation s'observe pendant 3 semaines après l'introduction de compléments à base de sel dans les troupeaux zambiens. Le surcoût lié à ces 3 semaines de surconsommation pourrait démotiver les éleveurs. Il est possible de distribuer du sel pur, bien moins cher que le mélange de minéraux, jusqu'à ce que les besoins en sels soient satisfaits et introduire alors les blocs à lécher.

Chaque nouvelle période de privation entraîne un manque en sel donc le même phénomène de surconsommation à la réintroduction des blocs à lécher. De ce fait, il a été expliqué aux éleveurs l'importance d'un apport constant, avec l'apport de nouveaux blocs avant que les précédents soient terminés.

d. Relever les défis techniques posés par la mise en place d'une complémentation minérale : gestion de la quantité ingérée

Cette étude a permis de faire le choix du produit Rainfos 15 pour la complémentation minérale des bovins de la chefferie du Musungwa et d'établir que 90 g/j permettent de couvrir les besoins d'une vache. Pour atteindre cet objectif, il est possible de moduler la composition des blocs à lécher réalisés à partir du mélange Rainfos 15.

Les vaches sont naturellement capables de gérer leur consommation de sel pour ingérer une quantité au moins suffisante à la couverture de leurs besoins. Ce n'est pas le cas pour les autres minéraux. L'appétence pour le sel est alors l'outil à utiliser pour moduler l'ingestion d'autres minéraux (Arthington et al., 2021). Une proportion de sel entre 70 et 80% permet d'atteindre l'auto-régulation dans les conditions occidentales (GDS Creuse, Guérin 2018). A l'inverse, l'ajout de phosphore dans un mélange de minéraux diminue la quantité ingérée (Bélanger 2016) et est non toxique pour les animaux (Meschy 2017).

L'utilisation de blocs de minéraux à base de mélasse augmente la quantité de minéraux ingérée et le nombre de visites sur le lieu de distribution par rapport à la distribution sous forme de poudre d'un mélange de minéraux et de sel (Arthington et al. 2021). La quantité de mélasse dans les blocs ou au contraire la distribution du Rainfos 15 en mélange avec du sel constitue un autre outil pour réguler l'ingestion de minéraux.

Certains paramètres ne peuvent pas être contrôlés.

L'étude de Cockwill et al. (2000) révèle d'importantes variations individuelles sur les quantités ingérées : entre 0 et 974 g/j chez les vaches et entre 0 et 181 g/j chez les veaux.

L'accès aux blocs à lécher ne sera possible que la nuit. Lorsqu'elles ont le choix, les vaches accèdent aux minéraux pendant les heures de jour (Manzano et al. 2012). L'étude de Ranches et al. (2021) montre que les races adaptées aux climats chauds – des Brahman – consomment plus souvent des minéraux pendant les heures les plus chaudes de la journée, ce qui n'était pas le cas chez les Black Angus.

Dans les climats tropicaux et sub-tropicaux, l'avidité des vaches pour le sel augmente lorsque le %MS diminue (Arthington et al. 2021). Ainsi l'ingestion de sel augmente pendant la saison des pluies et diminue pendant la saison sèche. La plupart des vêlages dans la chefferie ont pourtant lieu entre octobre et décembre (Bichat 2021). Le moment de plus grande avidité pour le sel, donc de meilleure efficacité d'ingestion des minéraux, est de ce fait en incohérence avec la réalisation de processus physiologique à haute demande en minéraux tels que la formation du colostrum, l'involution utérine et le retour en chaleur (Arthington et al. 2021).

e. Relever les défis techniques posés par la mise en place d'une complémentation minérale : gestion des conflits physiques générés par l'introduction des compléments en libre accès

Les enclos sont de petites tailles pour permettre aux vaches d'être serrées et donc moins accessibles aux attaques de prédateurs. Pour éviter les conflits pour l'accès aux minéraux et les variations individuelles de quantités ingérées dues à des difficultés d'accès aux blocs, il est important de disposer autant de pierres à lécher

distantes les unes des autres que le permet l'enclos. Il est préférable de proposer à la vente des blocs de petite taille pour que les éleveurs puissent en acheter un plus grand nombre.

a. Relever les défis techniques posés par la mise en place d'une complémentation minérale : la problématique logistique

L'essai de réalisation des blocs à lécher et le stockage du matériel nécessaire au CLC permettent d'envisager la vente à long terme de ce produit au CLC. En revanche, l'acheminement des sacs de minéraux, sel et mélasse depuis la capitale pose un problème logistique majeur. La fréquence des trajets vers la capitale est inconstante et le véhicule utilisé ne permet pas de transporter une grande quantité de sacs.

Un magasin de revente des produits Novatek est présent dans la ville d'Itezhi Tezhi mais ne vend pas de Rainfos 15 pour l'instant. En argumentant l'ouverture d'un marché qui pourrait se développer - étant donné l'engouement des éleveurs et la diffusion à venir de l'émission radio - Melindika pourrait chercher à établir un accord commercial pour l'approvisionnement du Rainfos, du sel et de la mélasse à Itezhi Tezhi. Cela réduirait le trajet imputé à Melindika de 5h36 à 30min, réduisant ainsi le coût d'importation de ce produit dans la chefferie. Ce format d'approvisionnement permettrait également de faciliter l'accès à la demande des éleveurs d'acheter directement les matières premières pour fabriquer eux-mêmes leurs blocs.

L'enjeu de l'approvisionnement suffisant et constant est d'autant plus important qu'une fois la complémentation mise en place, elle ne doit pas être interrompue.

b. Relever les défis financiers de la mise en place d'une complémentation minérale chez les bovins dans la chefferie du Musungwa : aspect financier de l'utilisation des blocs Rainfos 15

La perte de poids des bovins pendant la saison sèche et les conséquences métaboliques du déficit énergétique associé sont une problématique majeure. Les solutions disponibles – utilisation d'OGM, complémentation azotée – sont trop chères et/ou présentent un problème écologique. L'utilisation de compléments minéraux est aussi efficace que l'utilisation des compléments azotés pour limiter la perte de poids

en saison sèche et améliorer le gain de poids en saison des pluies (Calvet et al. 1976). Les éleveurs de la chefferie ont tous estimé que le prix du produit Rainfos 15 sous forme de blocs vendus au CLC était abordable.

Cependant, même si les éleveurs ont bien compris que plusieurs blocs seront nécessaires dans chaque enclos et qu'il faudra les remplacer régulièrement, il est possible que le coût de cet usage n'ait pas été bien estimé et que les éleveurs aient seulement tenu compte du prix d'un bloc : K 16, pour répondre au sondage sur la faisabilité des coûts.

Le projet de création de coopérative d'éleveurs en cours au sein de la chefferie permettra de développer le pouvoir d'achat des éleveurs notamment pour l'achat des compléments minéraux.

a. Relever les défis financiers de la mise en place d'une complémentation minérale chez les bovins dans la chefferie du Musungwa : proposer des alternatives abordables

En se basant sur les seuls produits disponibles à la vente chez les fournisseurs de Melindika et sur les ressources naturelles du milieu, d'autres moyens de compléter les vaches en minéraux ont pu être pensés.

La Biofortification, un moyen à faible coût présentant un double intérêt agronomique

Le biofortification consiste à utiliser des amendements minéraux pour renforcer la teneur des sols et des plantes en minéraux. Cette méthode permet une amélioration des paramètres agricoles et de la qualité nutritionnelle des fourrages.

L'utilisation d'engrais phosphaté sur les fourrages a permis d'améliorer la fécondité des vaches et leur résistance à la paratuberculose dans une étude au Sénégal, qui montrait cependant que les autres types d'engrais n'étaient pas intéressants pour les animaux (Thiongane 1982).

L'utilisation de fumier comme fertilisant est une source de phosphore importante pour les sols (Bélanger 2016).

Simons et al. (2023), en Ethiopie, ont montré qu'il était possible de recycler les os de bovins récupérés en abattoir comme source de fertilisant en phosphore. La carbonisation des os permet d'obtenir une poudre présentant une concentration de

phosphate total de 31,5%. Dans cette étude, la poudre était conditionnée sous forme de granules en utilisant un mélange d'eau et d'amidon comme liant afin de faciliter leur transport et leur commercialisation. Les éleveurs étaient aussi motivés à payer pour ce produit recyclé que pour les produits conventionnels. D'autres études prônent l'utilisation d'os comme fertilisant (Sari et al. 2020; Dela Piccolla et al. 2021).

La pyrolyse doit être utilisée pour conserver la quantité et la solubilité du phosphore (Dela Piccolla et al. 2021) et peut être réalisée dans des fours barils (Simons et al. 2023), facilement réalisables et utilisant la chaleur d'un feu de bois. Ce processus de pyrolyse permettra également de s'affranchir du risque de transmission de maladies transmises via les os comme l'encéphalite spongiforme bovine (Simons et al. 2023) ou comme les spores de clostridies, présentes sur le territoire zambien (Mudenda Hang'ombe, 2000) et sensibles au traitement thermique (Walewski 2019).

La mise en culture de fourrages riches en minéraux

La culture de fourrages riches en minéraux dans les zones déficitaires peut être un moyen économique et durable d'augmenter l'apport en minéraux pour les animaux de cette zone (Lundu 2012).

Les analyses de fourrage ont permis de montrer que la consommation de feuilles d'arbre est à favoriser car elles présentent des concentrations intéressantes en calcium. Le fourrage Looyo est une source importante de zinc et contient aussi une quantité intéressante de cuivre. Le Nankokwe contient ces deux minéraux en quantité suffisante et c'est également la seule plante, parmi les fourrages analysés, à contenir suffisamment de phosphore pour répondre aux besoins quotidiens des vaches. Des fiches conseils pour la culture de ces deux fourrages ont été mises à disposition des éleveurs au CLC (voir ANNEXE 9). Il est également intéressant de noter que les Nankokwe, une fois dépassée la taille de 40cm, ne sont plus consommés par les vaches car trop lignifiées. Il est donc important de procéder à la coupe ou à la pâture de ces cultures avant qu'ils ne soient trop haut, pour ne pas les gâcher, et pour stimuler la repousse de brins plus jeunes donc plus appétents. (Tropical forage, 2020)

Au Sénégal, l'ethnie des peulhs de la Casamance distribuent du «Mondé» : un mélange, presque à parties égales, de sel et de diverses plantes riches en minéraux (Thiongane 1982).

Utilisation de poudre d'os comme complément phosphocalcique à distribuer directement aux animaux

L'utilisation de la poudre d'os comme complément, expérimentée par Theiler en Afrique du sud, n'avait pas participé à la contamination des animaux par le botulisme (Boyazoglu 1973). Elle doit ici aussi être obtenue par pyrolyse pour conserver sa qualité et respecter les mesures sanitaires. Elle peut être donnée sous forme de poudre ou de bloc à lécher (Bisschop 1964; Thiongane 1982).

Plusieurs propositions de recette de fabrication artisanale de pierre à sel à partir de poudre d'os ont été formulée (cf tableau 32).

Tableau 32 : Recettes de pierres à lécher artisanales

Pays	Composition	Source
Togo	150 kg de sel de cuisine 25 kg de farine d'os 25 kg d'argile tamisée 32 cl d'huile 3 bols de ciment 300g de sulfate de cuivre (facultatif) Eau	(Elevage et Solidarité des Familles au Togo, Elevage Sans Frontière 2017)
Sénégal	31kg de poudre d'os 11 kg de sel marin 12 kg de ciment 23 L d'eau 50 mL iodure de potassium (indisponible dans la chefferie) 8g Olivitasol+® (indisponible dans la chefferie)	(Thiongane 1982)

Une étude réalisée au Burkina Fasso a étudié 7 recettes de pierres à sel de fabrication locale afin de les comparer. Certains ingrédients manquent pour rendre ces recettes applicables dans la chefferie (son, urée,...) mais certaines propositions restent intéressantes à étudier :

- Les fientes de volaille sont une source d'azote non protéique et de nombreux minéraux

- Le maïs peut être incorporé dans les pierres à sel
- L'argile sert de liant et de source de nombreux minéraux parmi : Ca, K, Mg, et Fe
- Lorsque le ciment est utilisé comme liant, à moins de 5% le bloc ne se tient pas, et à plus de 15%, il rend la pierre trop dure et les minéraux trop dilués.

Les pierres à lécher artisanales montraient un impact identique à celui des pierres à lécher commercialisées sur les performances des brebis et leur vente était plus demandée que celle des pierres commercialisées (Kessé 1999)

Chez les fournisseurs de Melindika, le sulfate de cuivre est disponible au prix de K 2 543,49 pour 25kg et n'est pas disponible en plus petit format de vente. Or, seuls 300g sont nécessaires à la réalisation de 250kg de bloc à lécher. Cet ajout de cuivre est donc difficile à mettre en place pour des raisons de coûts et de stockage.

L'accès à des os est une ressource inconstante. L'impossibilité du contrôle de la production peut mener à l'abandon de leur utilisation (Thiongane 1982). Aucun abattoir n'est présent dans la chefferie. Pour s'approvisionner en os il a été envisagé de :

- Contacter l'abattoir d'Itezhi Tezhi pour proposer un recyclage des os
- Contacter le GRI pour obtenir un accord pour récupérer les os de carcasse de faune sauvage et domestique consommée par les prédateurs. Cette solution n'est pas pérenne et la raréfaction des os dans la brousse peut également mener à l'abandon de ces projets (Thiongane 1982).

Les pierres à sel à base de poudre d'os constituent un moyen économique de compléter les vaches mais ne peut pas être envisagé sur du long terme sans contrat avec un abattoir. La recette développée au Togo (disponible en ANNEXE 10) est la plus appropriée au contexte de la chefferie mais la connaissance des éléments qui constituent des sources naturelles de minéraux permet d'imaginer l'étude d'une formulation de pierre à sel artisanale à partir des ressources de la chefferie.

Utilisation d'eaux riches en minéraux

Une source chaude avec une eau riche en minéraux est présente à l'approche du village de landa. Les éleveurs de landa ont pour tradition d'amener leurs troupeaux paître et s'abreuver vers le cours d'eau qui dérive de cette source chaude lorsqu'il traverse un épisode de maladie. Des pratiques similaires s'observent dans la tradition des Peulhs du Sénégal dont les transhumances passent par un lieu de cure salée où les troupeaux séjournent 3 à 5 jours dans l'intention de leur donner accès à une ressource minérale (Thiongane 1982).

L'analyse de la composition de cette eau permettrait de l'incorporer à la fabrication de pierres à sel artisanales si les taux d'oligo-éléments toxiques le permettent.

Utilisation de la cendre de bois

L'utilisation de cendre de bois tamisée mise en solution saline et imprégnée sur du foin a permis l'augmentation de la concentration sanguine en Ca, Mg, Cu et Zn chez des moutons en climat tropical océanique. Le bois était collecté sans sélection spécifique de même que le foin (Imbeah 1999). La cendre de bois est également parfois ajoutée au mélange de sel et plantes pour la préparation du Mondé par les peulhs au Sénégal (Thiongane, 1982).

La complémentation à minima en Ca et P avec l'utilisation du DCP

L'apport de calcium et phosphore pourra aussi être fait par l'utilisation du DCP, également disponible à l'achat et jugé peu onéreux par les éleveurs (cf tableau X). Les volumes à distribuer sont faibles donc il faudra le mélanger à du sel et/ou de la farine de maïs pour le rendre plus facile à distribuer.

L'utilisation de complément d'oligo-éléments injectable

Le Multimin injectable, contenant les oligo-éléments importants pour les bovins, est également disponible. Il peut fournir un bon support du système immunitaire dans des moments charnières comme autour du vêlage, un état pathologique ou la réalisation d'une vaccination. Plusieurs études ont montré que le Multimin, lorsqu'il est associé aux protocoles de vaccination, permet l'amélioration de la réponse humorale (Arthington et al., 2012) et innée (Palomares et al. 2016; Roberts et al. 2016; Bittar et al. 2020). L'étude de Richeson et al. (2011) a montré que l'injection de Multimin sur

des veaux de boucherie soumis à un stress intense permettait de réduire significativement le taux de morbidité.

Les études sont moins unanimes sur l'impact de l'utilisation du Multimin sur la reproduction. Mundell et al. (2012) ont essayé un protocole avec une injection avant le vêlage (105 jours) et une après (30 jours avant la prochaine IA). Cette administration a permis une amélioration de la récupération de poids après le vêlage et du taux de conception en première IA, donc une distribution des vêlages plus avantageuse avec des vêlages plus rapprochés. Il n'y avait cependant pas d'impact sur la prise de poids des veaux, sur le retour en cycle des vaches et sur le taux de gestation final. L'étude se conclue par la recommandation de deux injections pré et post-vêlage. Ce protocole était également conseillé par le Dr Moosa, nutritionniste à Agrivet Zambia. Un autre protocole avec 3 injections de Multimin à partir du milieu de gestation et espacées de 6 semaines avait permis d'obtenir un gain de poids dans le groupe traité et l'absence de troubles reproductifs alors que le groupe témoin avait présenté des rétentions placentaires et des dystocies (Molefe et al. 2019). D'autres études montrent que l'injection répétée (Stokes et al. 2018) ou non (Springman et al. 2018) de Multimin n'a pas d'impact sur les performances reproductives des génisses. L'utilisation sur les mâles permet d'améliorer la morphologie et la motilité des spermatozoïdes. Parmi les taurillons ayant échoué à l'examen de santé reproductive à 9 mois, ceux issus du groupe traitement avaient plus de succès à ce même examen à 12 mois (Preedy et al. 2018).

Bien que l'injection de Multimin permette une augmentation de la concentration hépatique en oligo-éléments (Cu et Se mesurés) pendant au moins 30 jours (Genther et al. 2014), elle ne peut pas se suppléer aux compléments minéraux en libre accès. Elle est à envisager pour pallier au problème de l'incertitude sur la quantité ingérée pour assurer un apport de minéraux suffisant dans les moments où les besoins sont importants : reproduction, vêlage et sevrage (Arthington et al. 2021).

CONCLUSION

Les minéraux sont impliqués dans de nombreux processus métaboliques. Ils sont les cofacteurs de nombreuses enzymes et participent à la synthèse des différents éléments indispensables à la vie comme les lipides, les protéines et les acides nucléiques. Chez les bovins en particulier, ils revêtent une importance capitale pour le soutien de la fonction de digestion par le microbiote du rumen. La couverture des besoins en minéraux est donc essentielle, mais les carences en phosphore, cuivre et zinc sont largement présentes en Afrique sub-saharienne même si de grandes variations régionales et saisonnières s'observent pour la teneur en minéraux des sols et des plantes à travers le continent.

Notre étude a permis de dresser le tableau de l'apport en minéraux par les plantes dans la chefferie du Musungwa en Zambie. Nous avons mis en évidence que la plupart des fourrages étaient carencés en phosphore et en cuivre et des fourrages à base d'herbacées étaient insuffisamment pourvus en calcium. Le peu de disponibilité des compléments minéraux dans cette zone rurale reculée, l'absence de connaissance de la population locale au sujet des minéraux ainsi que les faibles moyens financiers des éleveurs pour subvenir à une complémentation ont été les défis à relever pour la mise en place d'une complémentation minérale pour les bovins du Musungwa.

Parmi les différentes possibilités, la solution la plus adaptée a été une complémentation minérale commerciale à partir de mélange de minéraux à reconditionner sous forme de pierres à sel. Cela constituait le complément le plus complet et économique à mettre en place dans la chefferie. La réalisation de formations dans chaque village de la chefferie a permis d'informer et de sensibiliser les éleveurs sur l'importance des minéraux et les bonnes pratiques de complémentation. Enfin, à partir de travaux antérieurs sur les méthodes de complémentations artisanales en Afrique et des observations de terrains, il a été possible d'envisager des alternatives artisanales à cette formule, tout en prenant en compte les ressources disponibles et les contraintes économiques. Ce travail représente un guide pour la mise en place de la complémentation par pierre à sel dans la chefferie du Musungwa, en essayant d'anticiper les problématiques techniques et pratiques de cette mise en place. L'étude de l'impact de l'apport de minéraux sur la

santé et les performances de ces troupeaux zambiens pourrait constituer un sujet d'étude venant combler le manque de travaux bibliographique et permettant d'envisager une extension de ce projet à d'autres zones de Zambie si les bénéfices s'avéraient importants.

BIBLIOGRAPHIE

ADDO, K.K., MENSAH, G.I., NARTEY, N., NIPAH, G.K., MENSAH, D., ANING, K.G., SMITS, H.L., 2011. Knowledge, Attitudes and Practices (KAP) of Herdsmen in Ghana with respect to Milk-Borne Zoonotic Diseases and the Safe Handling of Milk. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. Vol. 1, n°10 pp 1556-1562

ANCHORDOQUY, J.M., ANCHORDOQUY, J.P., GALARZA, E.M., Farnetano, N.A., Giuliadori, M.J., Nikoloff, N., FAZZIO, L.E., FURNUS, C.C., 2019. Parenteral zinc supplementation increases pregnancy rates in beef cows. *Biological Trace Element Research*. Vol. 192, pp. 175-182.

ARTHINGTON, J.D., RANCHES, J., 2021. Trace Mineral Nutrition of Grazing Beef Cattle. *Animals*. Vol. 11, n° 10, pp. 2767

AUSTRALIEN CENTRE FOR INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH. Tropical Forages. *Setaria incrassata* [en ligne]. [Consulté le 3 août 2023]. URL : https://www.tropicalforages.info/text/entities/setaria_incrassata.htm

BATEKI, C.A., DICKHOEFER, U., 2019. Predicting dry matter intake using conceptual models for cattle kept under tropical and subtropical conditions. *Journal of Animal Science*. Vol. 97, n° 9, p. 3727-3740

BÉLANGER F., Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Présentation "Comblent les besoins en minéraux au pâturage", 2016, [en ligne]. [Consulté le 10 août 2023]. URL : https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/ChaudiereAppalaches/Production_bovine/Lesmineraux.pdf

BICHAT, G., 2021. Diagnostic technico-économique de la filière laitière au sein de la chefferie Musungwa. Rapport de projet Melindika et Elevage sans frontière. Source personnelle de Melindika

BISSCHOP, J.H.R., 1964. Feeding phosphates to cattle. *Science Bulletin*. Vol. 365, pp 267

BITTAR, J.H.J., PALOMARES, R.A., HURLEY, D.J., HOYOS-JARAMILLO, A., RODRIGUEZ, A., STOSKUTE, A., HAMRICK, B., NORTON, N., ADKINS, M., SALIKI, J.T., SANCHEZ, S., LAUBER, K., 2020. Immune response and onset of protection from Bovine viral diarrhoea virus 2 infection induced by modified-live virus vaccination concurrent with injectable trace minerals administration in newly received beef calves. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. Vol. 225, pp. 110055.

BOYAZOGLU, P.A., 1973. Mineral imbalances of ruminants in Southern Africa. *South African Journal of Animal Sciences*. Vol. 3, pp. 149-152.

BRUNSCHWIG, P., BERTIN, M., PLOUZIN, D., GUIBERT, R., BULOT, N., BERNARD, E., MESCHY, F., 2008. *Alimentation minérale des génisses laitières : optimiser l'apport de minéraux*, [en ligne]. [Consulté le 21 juin 2023]. URL : https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2009_et_ant/brochure_08_complementation_genisse.pdf

CALVET, H., FRIOT, D., GUEYE, I.S., 1976. Supplémentations minérales et alimentaires et pertes de poids des zébus sahéliens en saison sèche. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. Vol. 29, n° 1, pp. 59

CHAPOTO, A., BANDA, D., HAGGBLADE, S., HAMUKWALA, P., 2011. Factors Affecting Poverty Dynamics in Rural Zambia. *Food Security Research Project*. Vol 55, pp. 36

COCKWILL, C. L., MCALLISTER, T. A., OLSON, M. E., MILLIGAN, D. N., RALSTON, B. J., HUISMA, C., HAND, R. K., 2000. Individual intake of mineral and molasses supplements by cows, heifers and calves. *Canadian Journal of Animal Science*. Vol. 80, n° 4, pp. 681-690

COHEN R.D.H., 1975. Phosphorus and the grazing ruminant. *World Review of Animal Production*, Vol. 11, pp. 27-43

COULON, J. B., ROCK, E., NOËL, Y., 2003. Caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers et variations selon leur origine. *INRAE Productions Animales*. Vol. 16, n° 4, pp. 275-278.

DAGORRET-BONETTO, É., 2022. Diagnosis on feeding practices among cattle herds in Musungwa chiefdom. pp.93. Source personnelle de Melindika.

DELA PICCOLLA, C., HESTERBERG, D., MURAOKA, T., NOVOTNY, E. H., 2021. Optimizing pyrolysis conditions for recycling pig bones into phosphate fertilizer. *Waste Management*. Vol. 131, pp. 249-257

DELAGARDE, R., PRACHE, S., D'HOOR, P., PETIT, M., 2001. Ingestion de l'herbe par les ruminants au pâturage. *Fourrages (Versailles)*. Vol 166, pp 189-212

DENEKE, T.T., BEKELE, A., MOORE, H.L., MAMO, T., ALMAW, G., MEKONNEN, G.A., MIHRET, A., TSCHOPP, R., YEHEYIS, L., HODGE, C., WOOD, J.L.N., BERG, S., THE ETHICOBOTS CONSORTIUM, ASEFFA, A., MIHRET, A., TESSEMA, B., BELACHEW, B., FEKADU, E., MELESE, F., GEMECHU, G., TAYE, H., HAILE, S., AYALEW, S., HAILU, T., YIRGA, C., AMBAW, M., SOLOMON, T., TEKLEWOLD, T., GEBRE, S., GARI, G., SAHLE, M., ALIY, A., OLANI, A., SIRAK, A., ALMAW, G., MEKONNEN, G., TAMIRU, M., GUTA, S., WOOD, J., CONLAN, A., CLARKE, SMITH, C., HEWINSON, R.G., VORDERMEIER, M., NUNEZ-GARCIA, J., AMENI, G., BAYISSA, B., ZEWUDE, A., WORKU, A., TERFASSA, L., CHANYALEW, M., MOHAMMED, T., ZELEKE, M., 2022. Milk and meat consumption patterns and the potential risk of zoonotic disease transmission among urban and peri-urban dairy farmers in Ethiopia. *BMC Public Health*. Vol. 22, n° 1, pp. 222

DERMAUW, V., 2013. Trace elements in zebu cattle: status and impact: the case of the Gilgel Gibe catchment, Ethiopia. *Thèse de doctorat. Ghent University*.

DIDIER, R., 1986. Composition chimique des fourrages naturels. *Elevage et potentialités pastorales sahéliennes*. pp 16-17

ELEVAGE ET SOLIDARITÉ DES FAMILLES AU TOGO, ELEVAGE SANS FRONTIÈRE, 2017. *Recueil de bonnes pratiques & d'expériences pour l'appui aux petites exploitations agricoles au Togo*, [en ligne]. [Consulté le 21 décembre 2022]. URL : <https://elevagessansfrontieres.org/wp-content/uploads/2021/01/Recueil-Togo-bonnes-pratiques-experiences-appui-petites-exploitations-agricole.pdf>

FAO, 2010. Food and Agricultural Organisation. Final project report submitted by Golden Valley Agricultural Research Trust (GART) in partnership with the Department of Soil Science, University of Zambia.

FAYE, B., KAMIL, M., LABONNE, M., 1990. Teneur en oligo-éléments dans les fourrages et le plasma des ruminants domestiques en République de Djibouti. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. Vol. 43, n° 3, pp. 365-373

FOSS, 2018. Analyse des fibres en nutrition animale Insoluble cellulosique, fibre au détergent neutre et fibre au détergent acide – Méthodes officielles et possibilités d'automatisation, [en ligne]. [Consulté le 25 juillet 2023]. URL : <file:///C:/Users/arnia/OneDrive/Bureau/Biblio/eBook-Fibre-analysis-of-animal-feed-FR.pdf>

GADBERRY, S., 2018. Beef Cattle Nutrition Series, Part 3: Nutrient Requirement Tables (2018 Revised) [en ligne]. [Consulté le 25 mai 2023]. URL : <https://www.uaex.uada.edu/publications/pdf/MP391.pdf>

GDS AVEYRIN, 2016. Le sel : En permanence et pour tous les animaux ! [en ligne]. [Consulté le 25 octobre 2023]. URL : https://www.gdsbfc.org/assets/files/SEL_conseilstechniques-GDSAVEYRON.pdf

GDS CREUSE, GUÉRIN, D., 2018. Le sel chez les ruminants... A tous les animaux, toute l'année ! [en ligne]. [Consulté le 25 octobre 2023]. URL : <https://www.pleinchamp.com/actualite/elevage~le-sel-chez-les-ruminants-a-tous-les-animaux-toute-l-annee>

GENTHER, O. N., HANSEN, S. L., 2014. Effect of dietary trace mineral supplementation and a multi-element trace mineral injection on shipping response and growth performance of beef cattle. *Journal of Animal Science*. Vol. 92, n° 6, pp. 2522-2530

GRESSLEY, T.F., 2009. Zinc, copper, manganese, and selenium in dairy cattle rations. *Proceedings of the 7th annual mid-Atlantic nutrition conference. University of Maryland, College Park*, p. 56-71.

HJELM, L., HANDA, S., DE HOOP, J., PALERMO, T., 2017. Poverty and perceived stress: Evidence from two unconditional cash transfer programs in Zambia. *Social Science & Medicine*. Vol. 177, p. 110-117

IAEA, 2021. Genetic Characterization of Indigenous Cattle Breeds in Zambia - Which Way Forward? [en ligne]. [Consulté le 20 mars 2023]. URL : <https://www.iaea.org/resources/news-article/genetic-characterization-of-indigenous-cattle-breeds-in-zambia-which-way-forward>

IMBEAH, M., 1999. Wood ash as mineral supplement for growing lambs under village conditions in the tropics. *Small Ruminant Research*. Vol. 32, n° 2, pp. 191-194.

NOZIERE P., SAUVANT D., DELABY L., INRA, 2018. Alimentation des ruminants : Apports nutritionnels - Besoins et réponses des animaux - Rationnement - Tables des valeurs des aliments. Editions Quae, 4ème ed., 728 p.

JONES JR, L. J. B., 1998. Plant nutrition manual CRC Press. *New York*, p. 149

JOY, E.J.M., ANDER, E.L., YOUNG, S.D., BLACK, C.R., WATTS, M.J., CHILIMBA, A.D.C., CHILIMA, B., SIYAME, E.W.P., KALIMBIRA, A.A., HURST, R., FAIRWEATHER-TAIT, S.J., STEIN, A.J., GIBSON, R.S., WHITE, P.J., BROADLEY, M.R., 2014. Dietary mineral supplies in Africa. *Physiologia Plantarum*. Vol. 151, n° 3, pp. 208-229

KABAIJA, E., SMITH, O.B., 1988. The effect of age of regrowth on content and release of manganese, iron, zinc and copper from four tropical forages incubated in sacco in rumen of sheep. *Animal Feed Science and Technology*. Vol. 20, n° 2, pp. 171-176

KESSÉ, G.P.H., 1999. Mise au point d'une pierre à lécher pour les ruminants. *Mémoire de fin d'étude d'ingénieur en développement rural. Université Polytechnique de Bobodioulasso*. 100 p.

KHALILI, M., LINDGREN, E., VARVIKKO, T. 1993. A survey of mineral status of soils, feeds and cattle in the Selale Ethiopian highlands. I. Macro elements. *Tropical Animal Health and Production*, Vol. 25, no 3, p. 162-172

KUMAR, N., VERMA, R.P., SINGH, L.P., VARSHNEY, V.P., DASS, R.S., 2006. Effect of different levels and sources of zinc supplementation on quantitative and qualitative semen attributes and serum testosterone level in crossbred cattle (*Bos indicus* × *Bos taurus*) bulls. *Reproduction Nutrition Development*. Vol. 46, n° 6, pp. 663-675

LABOUCHE, C. et MAINGUY, P., 1954. Aspects physiologiques et nutritionnels de l'alimentation du bétail en Afrique tropicale. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. Vol. 7, n° 4, pp. 221

LEMAY, K., 2019. Effets des minéraux sur la fertilité et la reproduction des bovins de boucherie. *Séminaire en sciences animales. Université de Laval*. [en ligne]. [Consulté le 3 octobre 2023]. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=bhZVjUZmedM>

LORETO PALACIO, P., GODOY, J.R., AKTAS, O., HANSCHMANN, E.M., 2022. Changing Perspectives from Oxidative Stress to Redox Signaling—Extracellular Redox Control in Translational Medicine. *Antioxidants*. Vol. 11, n° 6, pp. 1181

LUNDU, T., 2012. The effect of soil and plant seasonal mineral variations on goat plasma mineral status in Siavonga district of southern province of Zambia. *Thèse de master en sciences de l'anatomie et de la physiologie. University of Zambia - School of Veterinary Medicine - Biomedical Sciences Department, of Lusaka*. 87 p.

MANDIKI, S.N.M., KIATOKO, M., OLENGA, L., 1986. Composition minérale des fourrages de la sous-région de l'Ituri (Zaïre) et proposition de complémentation pour bovins. *Revue de l'Elevage et de la Médecine vétérinaire dans les Pays tropicaux*. Vol 39, pp. 425-434

MANZANO, R.P., PATERSON, J., HARBAC, M.M., LIMA FILHO, R.O., 2012. The effect of season on supplemental mineral intake and behavior by grazing steers. *The Professional Animal Scientist*. Vol 28, pp. 73-81

MCDOWELL, L.R., 1996. Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science and Technology*. Vol. 60, n° 3-4, pp. 247-271

MCDOWELL, L.R., CONRAD, J.H., ELLIS, G.L., LOOSLI, J.K., 1983. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. Bulletin pour l'Université de Floride, Gainesville et The U.S. Agency for international Development. [en ligne]. [Consulté le 23 septembre 2023]. URL : <https://original-ufdc.uflib.ufl.edu/UF00054813/00001/1j>.

MESCHY, F., GUÉGEN, L., 1996. Mineral requirements of ruminants: A comparison of different systems. *Proceeding of 47th meeting EAAP, Août, Lillehammer, Norway*

MESCHY, F., RAMIREZ-PEREZ, A.H., 2005. Évolutions récentes des recommandations d'apport en phosphore pour les ruminants. *INRAE Productions Animales*. Vol. 18, n° 3, pp. 175-182

MESCHY, F., 2017. Nutrition minérale des ruminants : Nouvelle édition. *Nutrition minérale des ruminants*. Editions Quae. 2^{ème} édition. 242 p.

MOLEFE, K., MWANZA, M., 2019. Effects of mineral supplementation on reproductive performance of pregnant cross-breed Bonsmara cows: An experimental study. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 55, n° 3, pp. 301-308

MTIMUNI, J.P., MFITILODZE, M.W., MCDOWELL, L.R., 1992. Mineral supplementation and reproductive rate of beef cows grazing tropical natural pastures in Malawi (part I). [en ligne]. [Consulté le 21 octobre 2023]. URL : <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd4/3/florida1.htm>

MUDENDA HANG'OMBE B., ISOGAI E., LUNGU J., MUBITA C., NAMBOTA A., KIRISAWA R., KIMURA K., ISOGAI H., 2000. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. Vol. 23, pp.277-284

MUNDELL, L.R., JAEGER, J.R., WAGGONER, J.W., STEVENSON, J.S., GRIEGER, D.M., PACHECO, L.A., BOLTE, J.W., AUBEL, N.A., ECKERLE, G.J., MACEK, M.J., ENSLEY, S.M., HAVENGA, L.J., OLSON, K.C., 2012. Effects of prepartum and postpartum bolus injections of trace minerals on performance of beef cows and calves grazing native range. *The Professional Animal Scientist*. Vol.28, pp. 82-88.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL.. 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition: Update 2016. Washington, DC: The National Academies Press. 494 p.

NDIAYE, V., 1985. Utilisation des phosphates naturels dans l'alimentation des bovins tropicaux : cas du Sénégal. *Thèse de doctorat vétérinaire*. Dakar : Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar, 83 p.

PALOMARES, R.A., HURLEY, D.J., BITTAR, J.H.J., SALIKI, J.T., WOOLUMS, A.R., MOLIÈRE, F., HAVENGA, L.J., NORTON, N.A., CLIFTON, S.J., SIGMUND, A.B., BARBER, C.E., BERGER, M.L., CLARK, M.J., FRATTO, M.A., 2016. Effects of injectable trace minerals on humoral and cell-mediated immune responses to Bovine viral diarrhoea virus , Bovine herpes virus 1 and Bovine respiratory syncytial virus following administration of a modified-live virus vaccine in dairy calves. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. Vol. 178, pp. 88-98

PATTERSON, T., JOHNSON, P., 2003. Effects of Water Quality on Beef Cattle. *Proceedings, The Range Beef Cow Symposium XVIII*. December 9, 10, and 11, 2003, Mitchell, Nebraska, 8 p.

PHILLIPO, M., HUMPHRIES, W.R., ATKINSON, T., HENDERSON, G.D., GARTHWAITE, P.H. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status, puberty, fertility and oestrus cycles in cattle. *Journal of Agricultural Science*. Vol. 109, pp. 321–336.

PREEDY, G. W., HILL, S. L., STEVENSON, J. S., WEABER, R. L., OLSON, K. C., 2018. Injectable trace-mineral supplementation improves sperm motility and morphology of young beef bulls¹. *The Professional Animal Scientist*. Vol. 34, n° 1, pp. 1-9

RANCHES, J, DE OLIVEIRA, R.A., VEDOVATTO, M, PALMER, E.A., MORIEL, P, ARTHINGTON, J.D., 2021. Use of radio-frequency identification technology to assess the frequency of cattle visits to mineral feeders. *Tropical Animal Health and Production*. Vol. 5, pp. 341.

READ, M.V.P., ENGELS, E.A.N., 1985. Phosphorus and the grazing ruminant. 3. Rib bone samples as an indicator of the P status of cattle. *South-African Tydskrift Veek*. Vol. 16, pp. 5

REBER, G., BOEHLEN, F., 2008. Le temps de prothrombine revisité 70 ans après. *Revue Médicale Suisse*. Vol. 143, n° 5, pp. 350-353.

REES, W.A. 1978. The ecology of the Kafue lechwe: Its nutritional status and herbage intake. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 15, p. 193-203.

- REIS, L.S.L.S., RAMOS, A.A., CAMARGOS, A.S., OBA, E., 2014. Effect of manganese supplementation on the membrane integrity and the mitochondrial potential of the sperm of grazing Nelore bulls. *Animal Reproduction Science*. Vol. 150, n° 1-2, pp. 1-6
- RICHESON, J.T., KEGLEY, E.B., 2011. Effect of supplemental trace minerals from injection on health and performance of highly stressed, newly received beef heifers. *The Professional Animal Scientist*. Vol. 27, pp. 461-466.
- RUVOEN, N. et GANIERE, J.P., 2023. Ecole Nationale Vétérinaire Alfort. Polycopiés de maladies contagieuses - *Maladies Réglementées des Ruminants*. [en ligne]. [Consulté le 23 septembre 2023] URL : <http://eve.vet-alfort.fr/course/view.php?id=280>
- SARI, N.W., PUTRI, F.A., PERWITASARI, D.S., 2020. Manufacture of Phosphate Fertilizer from Cow Bones Waste. *International Journal of Eco-Innovation in Science and Engineering*. Vol. 01, pp. 26-29
- SHEETAL, S. K., CHOUDHARY, S. K., SENGUPTA, D., 2014. Mineral deficiency predisposes occurrence of retention of placenta in crossbred. *Veterinary World*. Vol. 7, n° 12, pp. 1140-1143
- SIMONS, A.M., AHMED, M., BLALOCK, G., NESIN, B., 2023. Indigenous bone fertilizer for growth and food security: A local solution to a global challenge. *Food Policy*. Vol. 114, pp. 102396
- SPRINGMAN, S.A., MADDUX, J.G., DREWNOSKI, M.E., FUNSTON, R.N., 2018. Effects of injectable trace minerals on reproductive performance of beef heifers in adequate trace mineral status. *The Professional Animal Scientist*. Vol. 34, n° 6, pp. 649-652
- STOKES, R.S., VOLK, M.J., IRELAND, F.A., GUNN, P.J., SHIKE, D.W., 2018. Effect of repeated trace mineral injections on beef heifer development and reproductive performance. *Journal of Animal Science*. Vol. 96, n° 9, pp. 3943-3954
- THEILER, A., GREEN, H.H., DU TOIT, P.J., 1928. Studies in mineral metabolism. III: Breeding of cattle on phosphorus deficient pasture. *The Journal of Agricultural Science*. Vol. 18, pp. 369-371.
- THIONGANE, Y., 1982. Contribution à l'étude de l'alimentation minérale des bovins au Sénégal : les macro-éléments. *Thèse de doctorat vétérinaire*. Dakar : Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar, 140 p.
- UNESCO, 2014. Zambia EFA Country Profile [en ligne].[Consulté le 3 octobre 2023]. URL : <https://rogerfedererfoundation.org/assets/publication/pdf/general/FicheEPTZambia.pdf>
- UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, 2023. Zambie - Degré d'alphabétisation - adultes (% des adultes âgés de plus de 15 ans) | Statistiques. [en ligne]. [Consulté le 25 octobre 2023]. URL : <https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays/?codeStat=SE.ADT.LITR.ZS&codePays=ZMB&codeTheme=4>
- VERDAN-ROULET, M., 2020. Affections neurologiques des bovins [en ligne]. [Consulté le 4 septembre 2023]. URL : <http://neurobovin.theses.vetagro-sup.fr/2019/06/15/intoxication-par-le-sel/>, <http://neurobovin.theses.vetagro-sup.fr/2019/06/15/intoxication-par-le-sel/>
- WALEWSKI, V., 2019. Société française de microbiologie - BACTERIE *Clostridium Botulinum*. [en ligne]. [Consulté le 4 août 2023]. URL : https://www.sfm-microbiologie.org/wp-content/uploads/2019/07/BACTERIE_Clostridiumbotulinum.pdf

WARD, M., LARDY, G., 2005. Beef cattle mineral nutrition [en ligne]. [Consulté le 4 mai 2023]. URL : <https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/5354/as1287.pdf>

WARD, H.K., 1968. Supplementation of beef cows grazing on veld. *Rhodesian Journal of Agricultural Research*. Vol.6, pp. 93-101

ANNEXES

ANNEXE 1 : CHOIX DES FOURRAGES D'APRES LES INTERVIEWS

Arbres citées	Nombre de citations	Nombre de villages l'ayant cité sur les 5 villages interrogés
Figue tree	2	1
Isakalala	1	1
Muunga mato	4	2
Mukuzu	3	3
Mango tree	5	2
Musekese	9	4
Mankomona	2	2
Mungashia	1	1
Mufumo	1	1
Mawi (Mowi)	2	1
Mukololo	5	3
Mulombe	7	3
Muyu (fruit)	6	3
Mobezuba	3	2
Sausage tree (fleurs tombées)	1	1
Mukamba	1	1
Muongashia	2	1
Muunga mato	2	1
Shikalutangatanga (arbuste)	1	1
Munchiga	1	1
Mushibi	2	1
Mweeye	3	1
Namuzungula	1	1
Munsoombwe	1	1
Mukunku	2	1
Mupetakwale	1	1
Mubula	3	1
Mukamba	2	1
Muyongolo	1	1
Mubanga	1	1
Mutobolo	1	1
Mulama	2	1
Mulubbeni	1	1
Chitende	1	1
Moonze	1	1

Herbes citées	Nombre de citations	Nombre de villages l'ayant cité sur les 5 villages interrogés
Isaale	13	3
Nankokwe	10	4
Lusanje	9	2
Isangazoka	1	1
Kalalatimba	3	2
Mampolwe	4	3
Kasanje	1	1
Muntende	6	3
Kahumbe	1	1
Mukata	1	1
Masale	3	1
Looyo	4	2
Sangani	3	2
Impolwe	2	1
Nyumbu	1	1
Kalebabapami	1	1
Mabu	1	1
Ikashi	1	1
Inseekwa	1	1

ANNEXE 2 : AVIS DES ELEVEURS SUR LA LISTE DE FOURRAGES
SELECTIONES

Village	Liste jugée pertinentes par les éleveurs du village	Plantes non pertinentes dans la zone d'après les éleveurs	Suggestion de plantes à ajouter
Ntubya (18 personnes)	Globalement oui mais certaines ne les concernent pas et d'autres leur paraissent importantes	Nankokwe absent Looyo peu présent	Lowndu Logota Nyumbuo (suggérées par 1 éleveur)
Basanga (3 personnes)	Fourrages choisis pertinents mais d'autres fourrages intéressants sont laissés de côté		Mabu
New Ngoma (20 personnes)	Approuvée		Fruit de Mungashia
Kaminza (5 personnes)	Très bien représentative		Fruits de : Mungashia – Mungatube – Monze - Mooyo
Iyanda (28 personnes)	Pertinente		Arbres + fruits : Mungamoto – Mukutu - Mukonyongwe Herbes : Mabu - Kahumbe

ANNEXE 3 : ATTENTES ET QUESTIONS DES ELEVEURS VIS-A-VIS DU PROJET

- Comment définir le nombre de blocs en fonction de la taille du troupeau ?
- A quelle fréquence la vache devrait-elle aller boire de l'eau après avoir léché le bloc ? Faut-il augmenter la disponibilité/ la fréquence d'abreuvement en eau après le léchage des pierres ?
- Quid de la transmission de maladies par la salive sur le bloc ?
- Comment se procurer les ingrédients ?
- Quel est le matériel nécessaire pour fabriquer les pierres à sel ?

ANNEXE 4 : POSTER DE FORMATION DES ELEVEURS

MINERALS

RESISTANCE TO DISEASES

RESISTANT SKIN + WOUND HEALING

HOOF HEALTH

Minerals = cow's friends

BONE'S STRENGTH ↑

CALVE'S RESISTANCE AND GROWTH

MILK QUANTITY ↑

MILK QUALITY

→ CALVES ✓
→ HUMANS ✓

HELP GOING ON HEAT

BETTER SPERM EFFICIENCY

CONTRACTION WOMB GOING OUT

FETAL DEVELOPMENT

MANURE → **FERTILIZER + MINERALS** → **PLANTS**

BONE POWDER → **FERTILIZER + MINERALS** → **PLANTS**

GROWING ADVICES AT CLC

PLANTS

5 min Burying

MIX (SALT 100 kg, 25 kg)

MIX (CLAY 15 kg)

MIX (CEMENT BOWL X3)

MIX UNTIL PASTE (WATER)

PRESS (cooking oil)

4 DAYS

WHERE ARE MINERALS?

PLANTS

OVERCONSULTATION FOR 3 WEEKS: give pure soft before starting
Start: beginning of rainy season → easier water access

IF WATER ACCESS: KEEP A MAXIMUM DISTANCE

FINISH DRYING 3 DAYS

AVAILABLE AT CLC

MULTIVIT

2.5 ml

ASK AT THE CLC

1 TIME

3-4 weeks age

5 cans = 1 block = 20k

& DISTANCE ⇒ No FIGHT!

AVAILABLE AT CLC

20 cows

600-750 K

MINERAL SUPPLY

Role of mineral and deficiency consequences

Supply composition to answer these problems

Advising on supply use

Technical point about daily supply

Training time !

Definition

- 2 groups of minerals all are important !
- = some needed in big quantity for body function VS some in small quantity
- In each group = deficiencies
- Most important to bring to cows = P – Ca Zn, Mn, I,....
- Minerals cause sickness when deficient but also are toxic when given too much !

IMPORTANCE OF MINERALS FOR BOVINE'S HEALTH

Role of Minerals

Deficiencies consequences

Roles of minerals



Ca - P :
bones /
growth



Ca - P : Milk
production
and quality



Se : fertility
Ca : parturient
contraction
Zn = Sperm efficiency
Ca - P = reproduction
rate

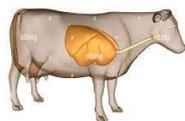


Zn - Cu :
immune
response

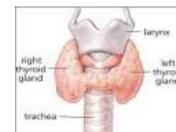


Na - K - Cl - Mg : nerve
fonction/ muscle
contraction

Fe : O₂
transportation



Zn : wound
healing

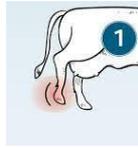


I : growth
control
(hormone)

Deficiencies impacts



Poor ADG
Weak bones



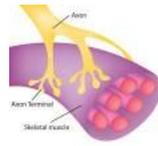
Zn – Cu :
Lameness
Hoof problems



Reduced production
Milk fever



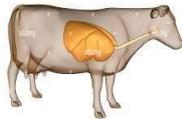
Infections
Diseases



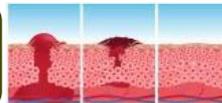
Grass tetany
Dehydration
Weakness
Acidosis /Alcalosis
White muscle disease

Weak/stillborn
Retained placentas
Delayed cycle
Reduced conception rate
Womb going out

Anaemia



Sensitivity to skin
infection
Slow healing
Dermatosis



Metabolic problems
Reduced growth

SUPPLY COMPOSITION

Which supply for which problem ?

Name	Rainfos	DCP	Bone powder	Multimin	Calf powder
Composition	All	Ca - P	Ca - P	Small minerals	All + energy

Minimum requirement : Ca – P

- ✓ Increase reproduction rate
- ✓ Increase milk production
- ✓ Increase calve's growth

And plants are very deficient !!!
 Ca found in leaves
 P found nowhere except Nankokwe

ADVISING ON SUPPLY USE

When do we think about mineral deficiency?

We shouldn't forget about other diseases !

What supply for what problem ?

1 – Identify the problem



Loss of hair

Especially front legs and hind from the back, starting first

2 – Think about the reasons why (all options !)



Loss of hair

Especially front legs and hind from the back, starting first

Some dermatosis

Small mineral deficiency

2 – Think about what you can do against it



Some dermatosis

Can be one or many cows

Treatment if available

Same supply if you want to improve immunity + skin resistance

Rainfos

Small mineral deficiency

Only if many cows

Multimin one injection for worst individuals

Name	Rainfos	DCP	Bone powder	Multimin	Calf powder
Composition	All	Ca - P	Ca - P	Small minerals	All + energy

PROBLEM	CAUSES	SOLUTIONS
---------	--------	-----------



Loss of appetit in many cows from one herd + weight loss +/- anemia No fever

Worms

Tick-born disease

Small mineral deficiency

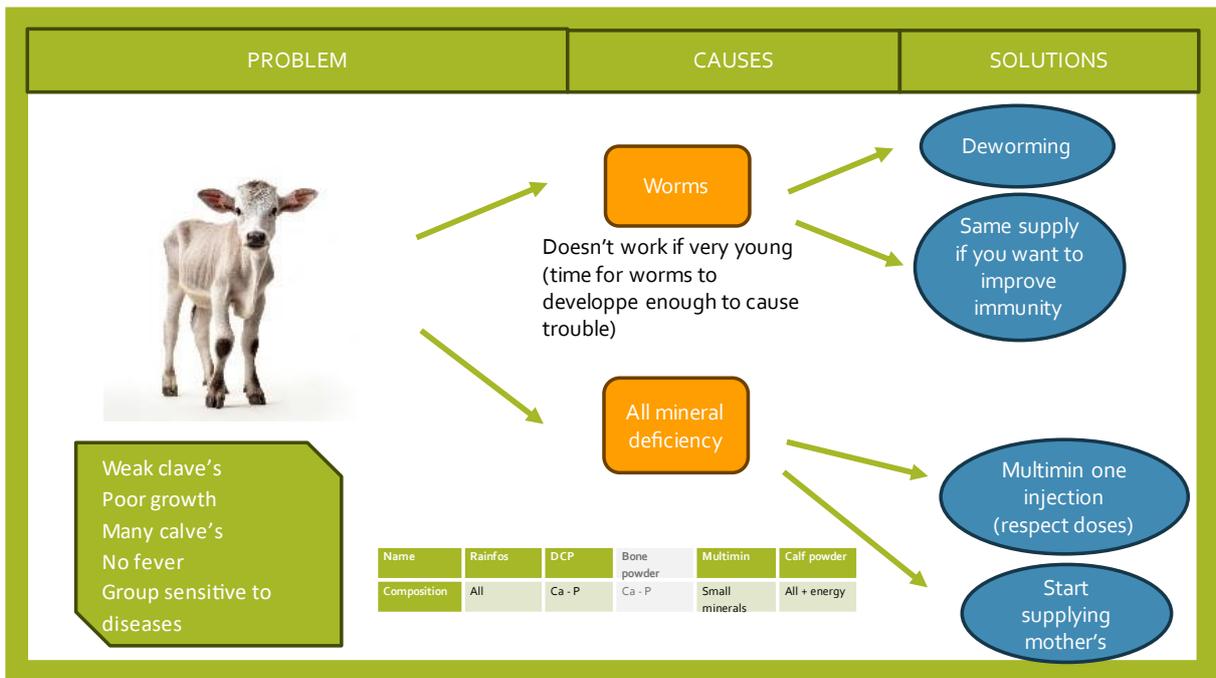
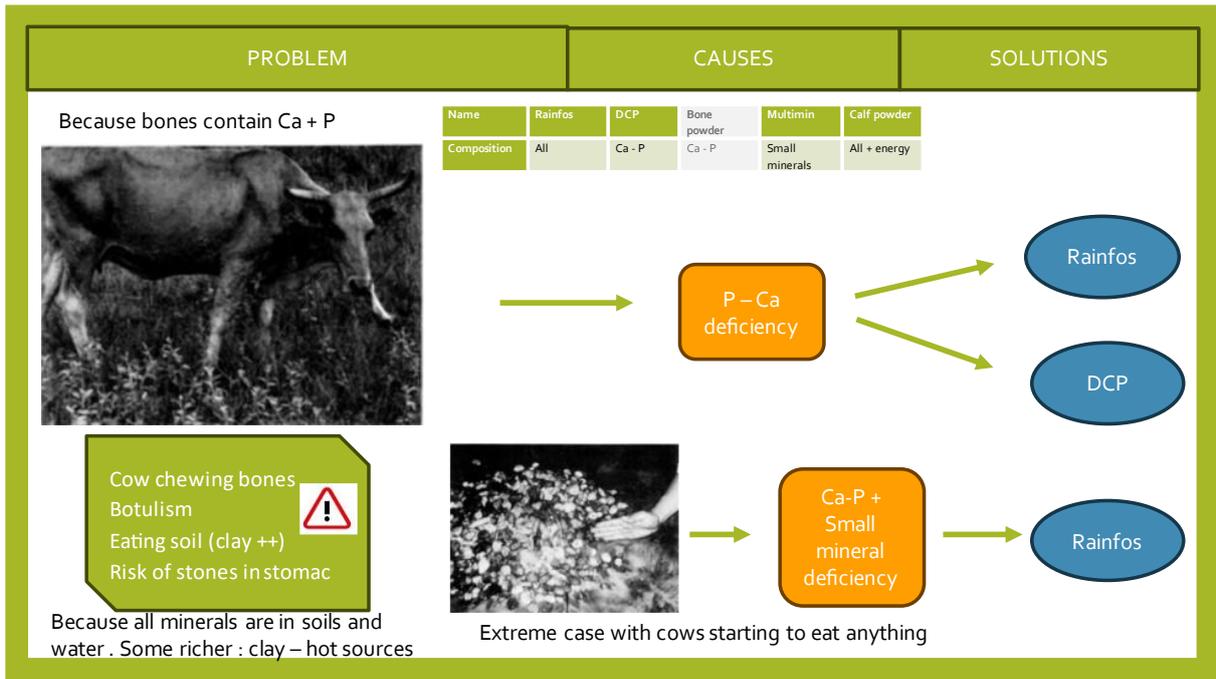
Deworming

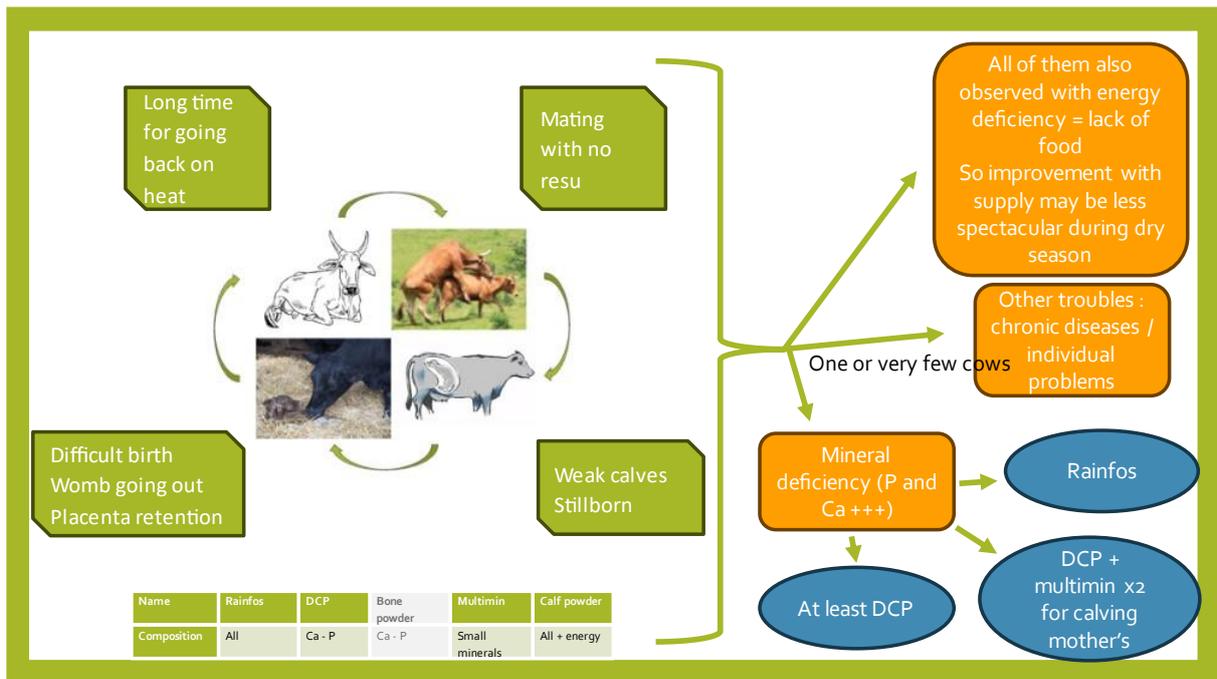
Same supply if you want to improve immunity

Rainfos

Multimin one injection for worst individuals

Name	Rainfos	DCP	Bone powder	Multimin	Calf powder
Composition	All	Ca - P	Ca - P	Small minerals	All + energy





Even when no problem = Improving : Animals health – Resistance to diseases - Performances

DCP

- Ca and P only (but main)
- Cheaper
- To be given every day
- Increase reproduction + milk production + clave's growth
- Both CONSTANT supply

RAINFOS

- All minerals
- Bit more expensive
- Put in the park and just replace when almost finished
- Same + resistance to disease + skin resistance + better health in general

MOST CRITICAL MOMENT (high need) : 1 month before and after calving.
If needs covered at this time : mother's consequences + good immunity for the calve + conditions calve's skills in the future

ADVISING ON SUPPLY USE

Instructions
Overconsumption management
Thirst
Fight management
Other species



SC only !!



- Calve before 1 year : 0,5mL at birth
- 1 mL when more than 50kg
- Between 1 and 2 years old : 1mL
- More than 2 years old 2,5 mL

If Rainfos : no need – Kept maybe for struggling animals or as an immunity booster in any disease or vaccination



2,5 mL



2,5 mL

When get big belly

1 month after birth



Hang or leave on a stand
Bild up a protection (ex : wooden roof) to rain
Must be constantly available : replace before finished



Mix with food or spread on stands
Also need to be protected from rain
Must be given every day
1 table spoon / day / 5 cows (maintenance)

OVERCONSUMPTION MANAGEMENT

3 weeks : Needs =
Deficiency covering : reach normal amount
+ Maintenance : cover daily use every day
After : Needs =
Maintenance only
→ NEED TO REACH NORMAL AMOUNT IF WE WANT TO REACH SELF-REGULATION

Causes of overconsumptions :
- Deficiencies = to be cover
- Palatability of salt = to avoid

DCP = no salt : only covering of the deficiencies
→ Give a lot more in the beginning

Lick blocks = contain salt : deficiencies + salt

→ Start with pure coarse salt (K320/50 kg) for one to 2 weeks, depending when cows starts being more calm when giving
→ Still consuming too much in the beginning of lickblock after that = deficiency coverage
→ Can limit the time of access to lickblocks when introducing and increase

INCREASED THIRST MANAGEMENT

SALT = Increases thirst

If water access in parks :
keep minerals far
otherwise :
overconsumption of both

Overconsumption in the beginning : best start with rainy season : more water available

→ Never give mineral supplement with salt if not an access to water everyday
= TOXIC



FIGHT MANAGEMENT

Be aware that cow may have violent reactions and even injure each other !!!



Recommended :
→ 1 for 5 cows
→ Distance = 3m
Your task = to adapt number of blocks and position of blocks according to
→ number of cows
→ size of the park
→ Feedback from farmers

This is a temporary situation : things get better when deficiency is covered

OTHER SPECIES

All animals need minerals

No risk for any animals who may be interested in it

Rainfos also recommended for goat = prepare smaller blocks if farmers with goats are motivated
No specification for ratio blocks/goat : start with 1 for 7-8 and adapt depending on feedback

DCP also recommended for chicken : strong egg shell and better production
Follow advices on the package (don't follow the advices about cows)

TECHNICAL POINT ABOUT DAILY SUPPLY

Play with Palatability

PLAY WITH PALATABILITY

Salt = Palatability
DCP = reduces palatability

If overconsumption of rainfos after even 1 month :

- Make tries of reducing molasse to make it less tasty but still a block
- Reduce salt and replace with DCP (not too much: 1kg for the whole mix) to make it less tasty
- Start giving it as powder instead of blocks : mix powder (still one 40kg bag) and salt (still two 50kg bags) and give it on stands (100g per cow per day to adapt) → lose the palatability of molasse.

DCP : first they love = covering deficiencies

Then for maintenance : not enough tasty

Add salt : 2 spoons of coarse salt for 1 spoon of DCP

TRAINING TIME

Your turn :

Role play !

MINERAL SUPPLY

ROLES OF MINERALS

Roles of minerals

- Ca – P :** bones / growth
- Ca – P :** Milk production and quality
- Se :** fertility
- Ca :** parturient contraction
- Zn =** Sperm efficiency
- Ca -P =** reproduction rate
- Zn – Cu :** immune response
- Na – K – Cl - Mg :** nerve fonction/ muscle contraction
- Fe : O₂** transportation
- Zn :** wound healing
- I :** growth control (hormone)

TROUBLES WHEN DEFICIENCIES

Deficiencies impacts

- Poor ADG**
- Weak bones**
- Reduced production**
- Milk fever**
- Zn – Cu :** Lameness
- Hoof problems**
- Infections**
- Diseases**
- Grass tetany**
- Dehydration**
- Weakness**
- Acidosis /Alcalosis**
- White muscle disease**
- Weak/stillborn**
- Retained placentas**
- Delayed cycle**
- Reduced conception rate**
- Womb going out**
- Anaemia**
- Sensitivity to skin infection**
- Slow healing**
- Dermatosis**
- Metabolic problems**
- Reduced growth**

SUPPLY COMPOSITION

Name	Rainfos	DCP	Bone powder	Multimin	Calf powder

Composition	All	Ca - P	Ca - P	Others	All + energy
-------------	-----	--------	--------	--------	--------------

Minimum requirement/ Most important (REPRODUCTION + MILK PRODUCTION + CALVE'S GROWTH)

= P and Ca

WHEN SHOULD WE THINK ABOUT MINERAL SUPPLY?

SIGNS OF DEFICIENCIES TO BE AWARE OF AND ADAPTED SUPPLY/ TREATMENT TO IT



Loss of hair (front legs and back +++) = disease or mineral deficiency → **RAINFOS + eventually Multimin once for the worst individuals**



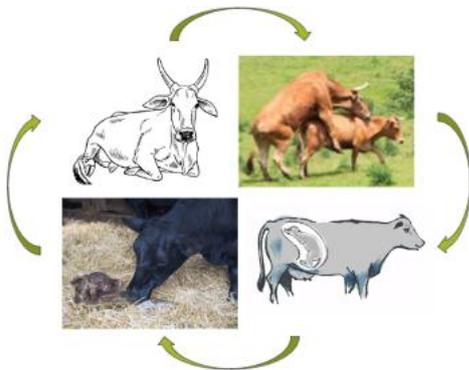
Loss of appetit in many cows from one herd + weight loss +/- anemia (no fever) = worms or tick-born diseases or mineral deficiency → **RAINFOS + eventually Multimin once for the worst**



Eating soil (dangerous for stomach if stones) or chewing bones (risk of botulism) → **RAINFOS**



Weak calves with poor growth (no fever/no disease on the mother) = mineral or energy deficiency → **RAINFOS or**



Reproduction problem : long time for going back on heat / mating with no results / womb going out after giving birth / placentum stuck in the womb after birth

→ **RAINFOS or DCP + multimin 2 times on mothers**

Mother's supply = mother's health plus immunity transmission to calves if mineral status OK during pregnancy and first month of lactation

Problems linked to minerals tend to be observed **in many cows** from one herd as they are fed the same way.

One animal sick only = unlikely to be because of minerals but mineral supply will help this animal having stronger immunity. Can be helped with one time injection Multimin SC

- Calve before 1 year : 0,5mL at birth – 1 mL when more than 50kg
- Between 1 and 2 years old : 1mL
- More than 2 years old 2,5 mL

TECHNICAL ADVICES ON SUPPLEMENT USE

MULTIMIN

SC only !!!

2,5mL, approximately 1 month before + 1 month after

These minerals are in Rainfos but keep in mind that all animals will not have the same access to the blocks because of living in groups : dominant cows will eat more and the other might not have enough.

LICK BLOCKS

Overconsumption: Because of deficiency covering + palatability. Last approximately 3 weeks.

- ➔ Use pure coarse salt for the first 1 or 2 weeks (possible to get with Livestock center or Agrivet) to limit the cost and reach normal salt level + get them used to palatable salt.
- ➔ Limite the time of access to lick block (leave it only for 2h for 1 week – then longer time for a week again – then leave in the park all the time)
- ➔ DCP: let them overconsume as much as they need: only because of deficiency, not palatability.

Increases thirst:

- ➔ Start giving at the beginning of rainy season when water access is easy.
- ➔ Don't put blocks close to water access: melting + overconsumption of minerals + (also true for DCP when mixed with salt)
- ➔ Never give salt if not a daily access to water!!!!

Daily supply management: play with palatability!

Salt / Molasses = palatability / DCP = less palatable:

- ➔ cows overconsuming the lickblocks after 3 weeks: put some DCP and less salt in composition of rainfos or less molasses... to the point of serving Rainfos as a powder is needed!
- ➔ DCP: beginning very palatable because of need. When rich coverage of need: don't eat enough of it/ don't want to eat it anymore: mix with salt when giving to the animal so they like it or with food when possible. (2 spoon salt for 1 spoon DCP)

Fighting: Be aware that reactions of cattle to the supply of minerals may cause very **violent reactions** and even cows injuring each other. This is a **temporary** situation due to te deficiency but this can make farmer **loose motivation**. Help farmers to solve conflicts by adapting **advices** on the **number and position** of blocks according to the **size of the herd** + the **size of the park** + observations and **feedbacks** from the farmers.

WHAT ABOUT OTHER ANIMALS

DCP : chicken : egg shell quality and egg production (instructions on package – but don't follow instructions for cows, go with one table spoon per 5 cows / day

Lick blocks : good for goats : if demands from the farmers for goats : make smaller blocks : 2 kg is cool (K 8). 1 block for 7 to 10 goats.

Not dangerous for any animal if accidental/exceptional consumption but don't serve it to other species.

ANNEXE 7 : RESULTATS INDIVIDUELS D'ANALYSES DE FOURRAGES

Lusanje (Herbacée) – *Hyparrhenia rufa*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	3,6 ± 0,2	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	1 912 ± 191	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	828 ± 83	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	601 ± 48	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	< 5	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	26 ± 3	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

Muntende (Herbacée) – *Hyperthelia dissoluta*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	5,6 ± 0,2	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	1 755 ± 176	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	626 ± 63	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	497 ± 40	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	< 5	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	16 ± 3	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

Musekese (Ligneux – Feuilles) – *Piliostigma thonningii*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	9,2 ± 0,4	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	16 480 ± 1 648	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	2 239 ± 224	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	833 ± 67	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	< 5	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	50 ± 5	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

Isaale (Herbacée) – *Vossia cuspidata*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	8,5 ± 0,3	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	1 922 ± 192	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	1 075 ± 108	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	1 186 ± 95	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	< 5	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	23 ± 3	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

Kalalitimba (Herbacée) – *Schizachyrium sp. ou bothiochloa*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	4,6 ± 0,2	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	1 635 ± 164	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	449 ± 45	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	605 ± 48	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	< 5	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	16 ± 3	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

Mungashia (Ligneux – Fruit) – *Acacia erioloba*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	3,8 ± 0,2	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	3 888 ± 389	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	1 183 ± 118	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	1 096 ± 88	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	< 5	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	17 ± 3	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

Sangani (Herbacée) – *Digitaria, milanjiana* ; *D. scalarum* ; *D. setivalva*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	9,1 ± 0,4	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	1 755 ± 176	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	854 ± 85	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	1 078 ± 86	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	< 5	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	14 ± 3	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

Mulombe (Ligneux – Feuilles) – *Pterocarpus angolensis*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	5,1 ± 0,2	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	8 842 ± 884	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	3 412 ± 341	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	800 ± 64	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	7 ± 3	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	20 ± 3	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

Looyo (Herbacée) – *Cynodon dactylon*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	6,8 ± 0,3	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	2 351 ± 235	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	1 380 ± 138	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	1 855 ± 148	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	7 ± 3	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	66 ± 7	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

Mampolwe (Herbacée) – *Trystachia superba* ou *T. rehmannii*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	5,8 ± 0,2	g/100g	-	-
CENDRES BRUTES /SEC	ND	g/100g MS	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	2 417 ± 242	mg/kg	-	-
CALCIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
MAGNESIUM	892 ± 89	mg/kg	-	-
MAGNESIUM /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
PHOSPHORE	604 ± 48	mg/kg	-	-
PHOSPHORE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
CUIVRE	< 5	mg/kg	-	-
CUIVRE /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
ZINC	43 ± 4	mg/kg	-	-
ZINC /SEC	ND	mg/kg MS	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

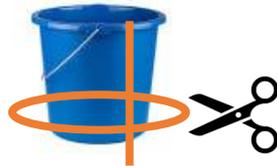
Nankokwe (Herbacée) – *Setaria incrassata* ou *S. phragmitoides*

ANALYSE	RESULTATS ± INCERTITUDE	UNITES	CIBLE/SPECIFICATIONS	CONFORMITE
CENDRES (pour dosage minéraux)				
<i>Méthode interne - CEND-H 13</i>				
CENDRES BRUTES ©	11,2 ± 0,4	g/100g	-	-
<i>CENDRES BRUTES /SEC</i>	<i>ND</i>	<i>g/100g MS</i>	-	-
MINERAUX ICP-AES (SN)				
<i>Méthode interne - MINEROL 15</i>				
CALCIUM	1 935 ± 194	mg/kg	-	-
<i>CALCIUM /SEC</i>	<i>ND</i>	<i>mg/kg MS</i>	-	-
MAGNESIUM	2 031 ± 203	mg/kg	-	-
<i>MAGNESIUM /SEC</i>	<i>ND</i>	<i>mg/kg MS</i>	-	-
PHOSPHORE	4 392 ± 351	mg/kg	-	-
<i>PHOSPHORE /SEC</i>	<i>ND</i>	<i>mg/kg MS</i>	-	-
CUIVRE	7 ± 3	mg/kg	-	-
<i>CUIVRE /SEC</i>	<i>ND</i>	<i>mg/kg MS</i>	-	-
ZINC	37 ± 4	mg/kg	-	-
<i>ZINC /SEC</i>	<i>ND</i>	<i>mg/kg MS</i>	-	-
COBALT	< 2	mg/kg	-	-
SELENIUM (FEED)				
<i>Analyse sous-traitée</i>				
SELENIUM	< 0,50	mg/kg	-	-

ANNEXE 8 : RECETTE DE FABRICATION DES BLOCS RAINFOS 15

RAINFOS LICKBLOCKS RECIPE

CUT THE BOTTOM PART OF THE BUCKET + ONE LINE FROM TOP TO BOTTOM TO ALLOW LATER OPENING OF THE BUCKET FOR DRYING



SPREAD SALT + 5L OF WATER + RAINFOS AND MIX IT WELL



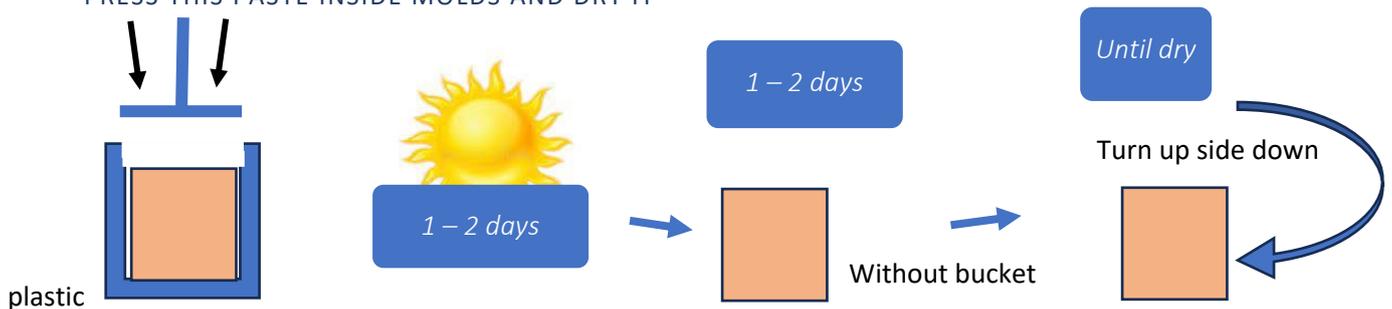
MIX MOLASSE WITH 5L OF WATER TO MAKE IT LIQUID



MIX THE LIQUID MOLASSE WITH THE MIX OF POWDER UNTIL IT'S HOMOGENEOUS AND BROWN



PRESS THIS PASTE INSIDE MOLDS AND DRY IT

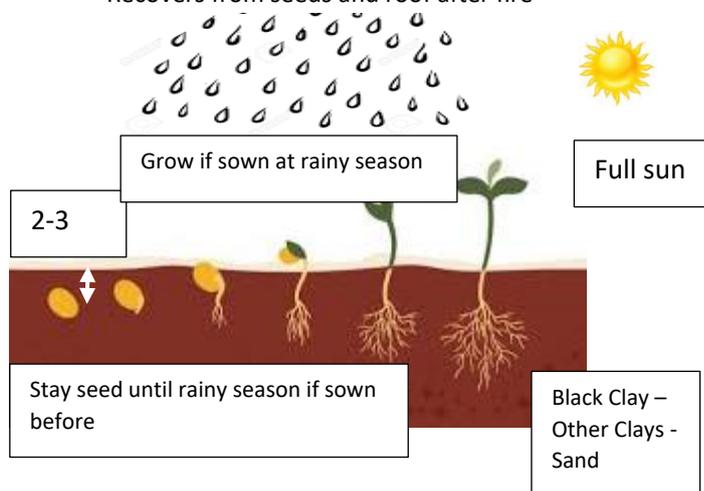
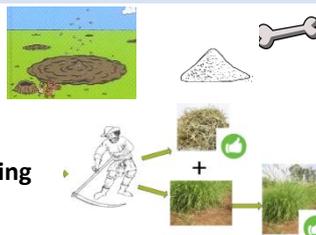


ANNEXE 9 : FICHE DE RECOMMANDATION POUR LA CULTURE DES HERBACEES RICHES EN MINERAUX

GROWING ADVICES FOR INTERESTING PLANTS

NANKOKWE

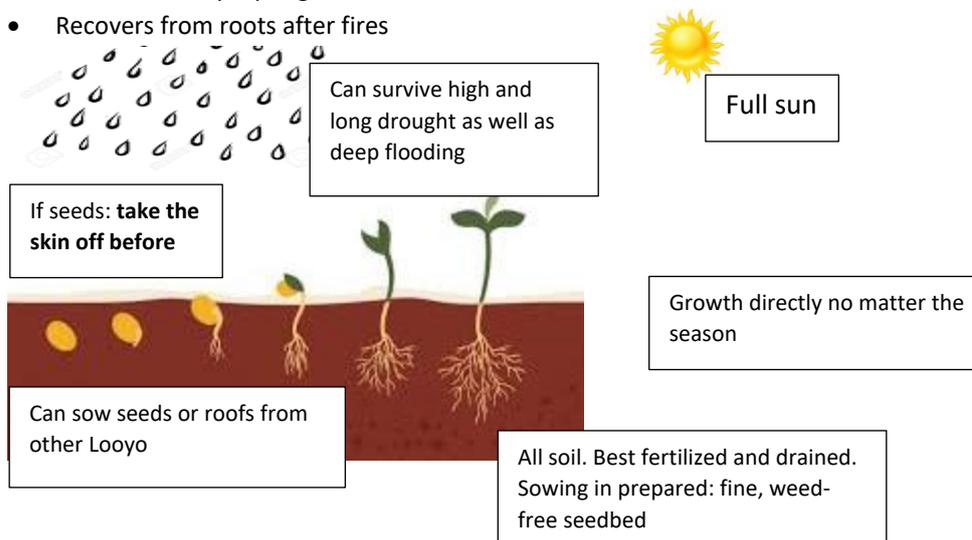
- Needs high **soil fertility** (use manure, bone powder)
- Should be **grazed frequently** or cut and fed has **hay** to stay palatable. Caution ! : **doesn't survive continuous heavy grazing**
- Recovers from seeds and roof after fire



Needs water to grow and then can live without irrigation and survive drought. Better resistance to water stress than other plants

LOOYO

- Fresh or hay
- **Extremely tolerant to heavy grazing**: regrowth up to 4 times. Best wait 5-10 cm before feeding to the cattle to allow proper growth
- Recovers from roots after fires



ANNEXE 10 : RECETTE DE FABRICATION DE PIERRE A SEL ARTISANALE DEVELOPPEE AU TOGO

Fiche | FICHE TECHNIQUE 2 | FABRICATION D'UNE PIERRE À LÉCHER.



Une pierre à lécher est un bloc de sels minéraux utilisée pour pallier aux carences alimentaires des herbivores. L'utilisation de pierre à lécher est une pratique très courante en élevage, notamment lorsque les animaux pâturent. En effet en pâture, les aliments des ruminants ne contiennent pas suffisamment de sodium pour satisfaire les besoins. Faut de complémentation, des carences peuvent s'installer induisant des maladies comme le pica, une perte de l'appétit et une diminution de la production. Ce phénomène est de plus en plus rencontré.

Avec une pierre à lécher à disposition, les animaux sont en capacité de se fournir en sels minéraux selon leur besoin et ainsi de réduire leur carence. Cette pierre peut également est un outil de distribution de remèdes appartenant à la pharmacopée locale. Une pierre peut être suspendue dans la bergerie, dans l'étable ou dans tout autre endroit d'accès facile aux animaux. La fabrication d'une telle pierre est facile et peut être réalisée à partir de matériaux locaux.

COMMENT LA FABRIQUER ?

Matériel et matériaux nécessaires (volume final de 250 kg).

- 150 kg de sel de cuisine
- 25 kg de farine d'os
- 25 kg d'argile tamisée
- 32 cl d'huile
- 3 bols de ciment
- Vitamines ou antibiotiques selon les besoins du troupeau
- Un grand tamis pour farine de maïs
- Différentes formes de récipients (Petits seaux, assiettes, bols,alebasses, boites ...)
- Des baguettes de bois

Etape 1 : Préparation des ingrédients

Argile : Piler l'argile dans un mortier puis tamiser pour obtenir une poudre fine. Peser 25 kg d'argile (tamiser permet d'éliminer tout grain de sable). En effet, les grains de sable peuvent être dangereux pour les animaux.

Farine d'os : Calciner (sans noircir) dans un premier temps les os de mammifères en les disposant sur du grillage au-dessus

d'un feu de bois. On peut également les calciner dans une grande marmite. Concassez- les puis les passer au moulin afin d'avoir une poudre fine. Peser 25 kg de cette poudre. Ici aussi, il faut éliminer tout grain de sable en tamisant.

Sel : Réduire le sel de cuisine en poudre et en prendre 150 kg. Il faut également faire attention à la présence de grain de sable dans le sel.

Il est nécessaire de prévoir un liant. Ici, le liant utilisé est le ciment.



Préparation des os



Calcination des os de mammifères



Installation du lieu où va être fait le mélange

Étape 2 : Préparation du mélange

Choisir un lieu cimenté propre et faire attention à éliminer tout grain de sable. A défaut utiliser une bâche propre.

- Verser toute la quantité de sel.
- Répandre la poudre de calcaire et mélanger
- Verser la poudre d'argile et mélanger
- Verser le liant et mélanger
- Ajouter de l'eau pour obtenir une pâte
- Ajouter au besoin du sulfate de cuivre, des vitamines ou autre additifs selon les besoins des troupeaux



Préparation du mélange

Étape 3 : Moulage

- Huiler les compartiments de la caisse ou des récipients
- Répartir la pâte dans les compartiments de la caisse ou dans des récipients et bien tasser.
- Percer le milieu des blocs avec des baguettes recouvertes d'une fine couche d'huile pour faire un trou qui servira à suspendre la pierre.



Moulage

Étape 4 : Séchage et démoulage

- Tourner les baguettes toutes les heures afin qu'elles n'accrochent pas à la pierre et puisse être enlevée lorsque cette dernière est sèche.
- Après 8h de séchage sous un abri, enlever les baguettes et attendre 72h pour le démoulage. Laisser encore sécher 72h.

La pierre est ainsi prête à être utilisée.



Séchage des pierres à lécher

EVALUATION DE LA COUVERTURE DES BESOINS EN MINÉRAUX ET RÉALISATION D'UNE COMPLÉMENTATION PAR PIERRES À SELS DE FABRICATION LOCALE CHEZ LES TROUPEAUX DE BOVINS DE LA CHEFFERIE DE MUSUNGWA, DISTRICT D'ITEZHI TEZHI EN ZAMBIE

Auteur

ARNIAUD Mathilde

Résumé

La sédentarisation des populations pastorales africaines et la faible teneur en minéraux des sols et fourrages de ce territoire ont mené à l'apparition de polycarences minérales chez les bovins. Les minéraux sont pourtant des éléments essentiels, impliqués dans la majeure partie des processus métaboliques et entrant dans la composition des os par exemple. De plus, les conditions extrêmes en saison sèche induisent d'importantes pertes de poids et limitent les performances chez ces animaux.

La mise en place d'une complémentation minérale permet d'améliorer la santé des animaux et de limiter les répercussions de la saison sèche. Le présent projet, commandité par l'association Melindika, a consisté à la mise en place d'une complémentation minérale dans la chefferie du Musungwa. Dans cette région, les bovins occupent une place centrale en offrant une source de nourriture, une force de travail et une marque de prestige social. Ainsi, l'importance de cette complémentation ne tient pas que dans le bien-être animal mais s'inscrit dans un objectif plus large, ancré dans le concept One Health.

Le bilan minéral des bovins a été établi à partir d'analyses de fourrages et de calculs de leurs besoins. Le mélange de minéraux Rainfos15, à reconstituer sous forme de pierre à lécher, s'est avéré être une solution abordable et accessible pour améliorer le statut minéral des animaux. Les aspects pratiques de son utilisation ont pu être enseignés à des Assistants en Santé Animale et présentés aux éleveurs. Enfin, des alternatives artisanales, faisant appel aux ressources du milieu et permettant de réduire encore le coût de l'apport de minéraux ont pu être envisagées.

Mots-clés

Minéraux, Bovins, Statut nutritionnel, Carences, Alimentation

Jury

Président du jury : Pr **COLLARDEAU-FRACHON Sophie**
Directeur de thèse : Dr **ALVES -DE-OLIVEIRA Laurent**
2ème assesseur : Pr **LE GRAND Dominique**