



HAL
open science

Conception d'un Jeu Sérieux en alimentation des vaches laitières : exemple de la gestion de la fièvre de lait à l'échelle d'un troupeau

Charlotte Decroocq

► To cite this version:

Charlotte Decroocq. Conception d'un Jeu Sérieux en alimentation des vaches laitières : exemple de la gestion de la fièvre de lait à l'échelle d'un troupeau. Médecine vétérinaire et santé animale. 2023. dumas-04334902

HAL Id: dumas-04334902

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04334902v1>

Submitted on 11 Dec 2023

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.

CONCEPTION D'UN JEU SERIEUX EN ALIMENTATION DES VACHES LAITIERES : EXEMPLE DE LA GESTION DE LA FIEVRE DE LAIT A L'ECHELLE D'UN TROUPEAU

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

DECROOCQ Charlotte, Pauline, Sylvie

Directrice de thèse : Mme Annabelle MEYNADIER

JURY

PRESIDENT :

M. Laurent-Xavier NOUVEL

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :

Mme Annabelle MEYNADIER

Mme Lydie BRET

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootéchnie*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

M. MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
M. **COMBARROS Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
M. **FUSADE-BOYER Maxime**, *Microbiologie et infectiologie*
M. **GAIDE Nicolas**, *Anatomie pathologique*
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales réglementées*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*
Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*
Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*
Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
M. **RAMON PORTUGAL Felipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*
Mme **SAADA Chloé**, *Gestion intégrée de la santé des ruminants*

Remerciements

Au président du jury : **Monsieur Laurent-Xavier NOUVEL,**

Maitre de conférences en pathologie de la reproduction à l'ENVT

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury,

Hommages respectueux.

A l'assesseure du jury : **Madame Lydie BRET,**

Maitre de conférences en physique et chimie biologiques et médicales à l'ENVT

Pour avoir accepté cette invitation à juger mon travail,

Veillez trouver ici l'expression de mon profond respect et toute ma reconnaissance.

A ma directrice de thèse : **Madame Annabelle MEYNADIER,**

Professeure d'alimentation animale à l'ENVT

Pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse,

Pour votre disponibilité et votre bienveillance tout au long de l'élaboration de cette thèse.

Sincères remerciements.

TABLE DES MATIERES

Table des illustrations :	15
Introduction :	18
I. Hypocalcémie	20
A. Définition de l'hypocalcémie	20
a. Hypocalcémie clinique ou « fièvre de lait »	20
b. Hypocalcémie subclinique	20
B. Physiopathologie de l'hypocalcémie	20
a. Homéostasie calcique	21
i. Rôles du calcium	21
ii. Répartition du calcium dans l'organisme	21
iii. Flux de calcium et leur régulation	21
1. Sources de calcium pour l'organisme	22
a. Absorption digestive	22
b. Résorption osseuse	22
2. Voies d'excrétion calcique	22
a. Excrétion urinaire et fécale	22
b. Excrétion via le lait	23
3. Régulation hormonale des flux calciques	23
a. La parathormone	24
b. Le calcitriol	24
c. La calcitonine	25
b. Pathogénie de l'hypocalcémie	25
i. Hypocalcémie et péri-partum	25
1. Besoins en calcium accrus	25
2. Diminution de l'ingestion autour du part	26

ii.	Anomalies de l'homéostasie calcique	26
iii.	Facteurs de risque	27
1.	Facteurs de risque liés à l'animal	27
a.	Âge de la vache	27
b.	Race.....	28
c.	Niveau de production laitière	28
2.	Facteurs de risques liés à l'alimentation.....	29
a.	Excès de calcium dans la ration au tarissement	29
b.	Excès de phosphore au tarissement.....	30
c.	Déficit en magnésium au tarissement (Neves et al. 2017).....	30
d.	BACA élevé au tarissement	31
C.	Impact des hypocalcémies à l'échelle du troupeau	33
a.	Incidence des hypocalcémies	33
i.	Incidence de la fièvre de lait	33
ii.	Incidence de l'hypocalcémie subclinique en France	34
b.	Hypocalcémies et santé	35
i.	Hypocalcémie et immunité.....	35
ii.	Hypocalcémie et maladies infectieuses du post-partum	36
1.	Métrites	36
2.	Mammites	36
iii.	Hypocalcémie et complications autour du part	37
1.	Hypocalcémie et complications au vêlage.....	37
2.	Prolapsus utérins.....	38
3.	Rétention placentaire	39
iv.	Hypocalcémies et performances des vaches laitières.....	39
1.	Production laitière.....	39

2.	Reproduction	40
v.	Coût de l'hypocalcémie.....	41
D.	Approche pratique de la prévention des hypocalcémies	42
a.	Gestion des apports en minéraux au tarissement	43
i.	Contrôle de l'ingestion calcique.....	43
1.	Ration très riche en calcium	43
2.	Ration pauvre en calcium	44
ii.	Apports en phosphore.....	46
iii.	Apports en magnésium.....	46
b.	Maitrise de la Balance Alimentaire Cations-Anions.....	46
i.	Existe-t-il une valeur optimale de BACA pour la prévention des hypocalcémies ?	47
ii.	Quels leviers pour diminuer le BACA d'une ration ?.....	48
1.	Choix des constituants de la ration de tarissement	48
2.	Supplémentation de la ration en sels anioniques	50
iii.	Mise en place d'une ration à BACA faible	51
iv.	Evaluation de l'efficacité de la supplémentation en anions par mesure du pH urinaire	52
c.	Administration de calcium après le vêlage	52
E.	Traitement des hypocalcémies	55
a.	Hypocalcémies subcliniques	55
b.	Hypocalcémies cliniques.....	55
II.	Fonctionnement de l'apprentissage en lien avec les « jeux sérieux ».....	57
A.	Jeux sérieux : définition et origine	57
a.	Définition	57
b.	Origine des Jeux Sérieux.....	57
B.	Théories du fonctionnement de l'apprentissage en lien avec les jeux sérieux.....	57

a.	Les théories de l'apprentissage	57
b.	Les particularités de l'apprentissage chez l'apprenant adulte	58
C.	L' <i>Escape game</i> et ses avantages en tant que jeu sérieux	59
a.	Définition de l' <i>Escape game</i>	59
b.	Intérêt des <i>Escape games</i> pour accompagner les apprentissages	59
i.	La mise en situation et l'apprentissage par l'expérience.....	59
ii.	Travail en groupe	59
iii.	Influence sur l'apprentissage.....	60
D.	Principes de conception d'un <i>Escape-game</i> pédagogique	61
a.	Le flow, un objectif à atteindre lors de la réalisation d'un jeu pédagogique	61
b.	Phases de conception d'un escape game	62
i.	Cibler le public auquel on s'adresse.....	62
ii.	Cibler les objectifs du jeu.....	62
iii.	Elaborer le scénario	62
iv.	Fixer la durée de l'activité.....	63
v.	Travail sur les énigmes et leur agencement	63
1.	Création des énigmes.....	63
2.	Différents types d'énigmes possibles	64
3.	Différents enchaînements d'énigmes possibles.....	65
vi.	Objets et indices cachés.....	66
vii.	Création de l'ambiance du jeu.....	66
c.	Tester l' <i>Escape game</i>	67
III.	Elaboration d'un jeu sérieux sur la gestion de la fièvre de lait à l'échelle d'un élevage .	68
A.	Organisation de l'enseignement d'alimentation des herbivores à l'ENVV.....	68
a.	Enseignement magistral de l'alimentation des herbivores	68
b.	Enseignement actif de l'alimentation des herbivores.....	69

c.	Quelle place pour la mise en situation des étudiants et le travail sur des maladies d'origine nutritionnelles ?	70
B.	Choix de la thématique du jeu	71
a.	Choix d'un exercice basé sur un cas clinique de maladie d'origine nutritionnelle à l'échelle d'un troupeau	71
b.	Choix de l'hypocalcémie puerpérale chez la vache laitière comme sujet d'exercice	71
C.	Objectifs du jeu et choix du public cible	72
D.	Choix du format du jeu et justification	72
E.	Contraintes et paramètres du jeu	73
a.	Nombre de participants et durée du jeu	73
b.	Modalités d'accès au jeu et supports utilisables	73
IV.	Présentation du jeu : conception et déroulement	74
A.	Matériel	74
a.	Supports physiques : les cartes	74
b.	Supports numériques	75
i.	L'application de <i>Serious escape cards</i> ®	76
ii.	L'outil <i>Genial.ly</i>	77
iii.	L'outil <i>Lockee.fr</i>	77
	78
B.	Déroulement du jeu	79
a.	Schéma global du jeu sérieux	79
b.	Introduction du jeu	80
i.	Règles du jeu	80
1.	Comment piocher de nouvelles cartes ?	80
2.	Comment rentrer un code ?	81
3.	Comment défausser une carte ?	82

4.	Les malus	82
5.	Les indices	83
ii.	Accroche du scénario	83
c.	Enigme n°1 : diagnostic différentiel de la vache couchée après le vêlage.....	83
i.	Objectifs de l'énigme	83
ii.	Réalisation de l'énigme	84
d.	Phase de quizz n°1 : suspicion d'un problème de conduite d'élevage.....	85
e.	Enigme n°2 : révision de la notion de BACA	86
i.	Objectif de l'énigme.....	86
ii.	Première partie de l'énigme	86
iii.	Image interactive sur le BACA	87
iv.	Deuxième partie de l'énigme	87
f.	Diaporama interactif n°2 : réflexion sur l'analyse d'une ration dans le cadre d'un problème de fièvre de lait.....	88
g.	Enigme n°3 : étude des constituants de la ration.....	89
i.	Objectifs de l'énigme	89
ii.	Réalisation de l'énigme	89
h.	Diaporama interactif n°3 : diminution du BACA de la ration	90
V.	Test du jeu : avantages, inconvénients et perspectives d'amélioration.....	92
A.	Phases de test du jeu	92
B.	Enquête sur le ressenti des joueurs.....	92
a.	Conception de l'enquête.....	92
b.	Résultats	93
C.	Evaluation des connaissances pré et post-jeu.....	96
a.	But de l'enquête et conception	96
b.	Résultats du test pré-jeu	97

c.	Comparaison des résultats des tests pré et post-jeu.....	99
D.	Réussites et limites du jeu : quelles sont les évolutions possibles ?	100
a.	Objectifs atteints lors de la création du jeu	100
b.	Difficultés rencontrées lors de la conception du jeu	101
c.	Limites du jeu.....	102
d.	Perspectives d'amélioration	102
i.	Simplifier les interfaces numériques du jeu	102
ii.	Réfléchir à intégrer le jeu à des séances de travaux dirigés	103
iii.	Généralisation du format à d'autres cas d'alimentation des ruminants	103
	Conclusion :.....	104
	Bibliographie :.....	106
	Annexes.....	113

Table des illustrations :

FIGURE 1 : SCHEMA SIMPLIFIE DE L'HOMEOSTASIE CALCIQUE (D'APRES MESCHY, 2023)	23
FIGURE 2 : EVOLUTION DU RISQUE DE SURVENUE DE FIEVRE DE LAIT EN FONCTION DE LA TENEUR EN CALCIUM DE LA RATION DE TARISSEMENT (ISSU DE OETZEL ET AL. 1991)	30
FIGURE 3 : FIGURE 3 : COMPARAISON DES DIFFERENTES RECOMMANDATIONS DE TENEURS EN CALCIUM DANS LA RATION DE FIN DE TARISSEMENT ET DES TENEURS MINIMALES ATTEIGNABLES EN PRATIQUE (COURBE ISSUE DE OETZEL ET AL. 1991)	45
FIGURE 4 : EFFET DU BACA SUR LA FIEVRE DE LAIT (ISSU DE CHARBONNEAU ET AL. 2006)	47
FIGURE 5 : VALEURS DU BILAN ELECTROLYTIQUE DES PRINCIPAUX FOURRAGES ($BE = ([Na +] + [K +] - [Cl -])$) (D'APRES MESCHY ET AL. 2004)	49
FIGURE 6 : EVOLUTION DE LA TENEUR EN SODIUM ET EN POTASSIUM DU RAY-GRASS ANGLAIS AU COURS DU PREMIER CYCLE DE VEGETATION (D'APRES MESCHY, 2023)	49
FIGURE 7 : LES DIFFERENTS TYPES D'ENIGMES SELON PATRICE NADAM (ISSU DE LA PAGE « S'CAPE : VERS UNE TYPOLOGIE DES ENIGMES »)	64
FIGURE 8 : SCHEMA DES DIFFERENTS PARCOURS POSSIBLES POUR UN <i>ESCAPE GAME</i> (ISSU DE LA PAGE « S'CAPE : OSER FRANCHIR LA LIGNE»)	65
FIGURE 9 : ORGANISATION DU RECTO ET DU VERSO D'UNE CARTE TYPE DU JEU	75
FIGURE 10 : INTERFACE DE L'APPLICATION DE <i>SERIOUS ESCAPE CARDS</i> ®	76
FIGURE 11 : EXEMPLE D'UNE IMAGE INTERACTIVE CREEE VIA LE SITE <i>GENIAL.LY</i>	77
FIGURE 12 : SCHEMA DU PROCESSUS PERMETTANT AU JOUEUR D'ACCEDER A UNE NOUVELLE PHASE DU JEU VIA UN CODE <i>LOCKEE.FR</i>	78
FIGURE 13 : SCHEMA GLOBAL DE L'ENCHAINEMENT DES ENIGMES ET DES PHASES DE QUIZZ DU JEU SERIEUX	79
FIGURE 14 : SCHEMA EXEMPLE D'UN NUMERO CACHE DANS LE DECOR D'UNE CARTE	80
FIGURE 15 : SCHEMA EXEMPLE D'ASSOCIATION DE DEUX CARTES	81
FIGURE 16 : EXEMPLE D'UNE CARTE CADENAS	81
FIGURE 17 : SCHEMA MONTRANT COMMENT DEFAUSSER UNE CARTE DU JEU	82
FIGURE 18 : EXEMPLE D'UNE CARTE MALUS	82
FIGURE 19 : PAGE D'ACCUEIL DE L'APPLICATION PRESENTANT LE SCENARIO DU JEU	83
FIGURE 20 : CARTES PERMETTANT DE RESOUDRE L'ENIGME N°1	85
FIGURE 21 : CARTES PERMETTANT DE RESOUDRE LA PREMIERE ETAPE DE L'ENIGME 2	87
FIGURE 22 : CARTE 18 DU JEU	88
FIGURE 23 : SCHEMA DE L'ASSEMBLAGE A REALISER POUR TROUVER LA CARTE K	89
FIGURE 24 : EVALUATION DE LA QUALITE DES SUPPORTS DE JEU PAR LES ETUDIANTS TESTEURS	94
FIGURE 25 : EVALUATION DE LA DIFFICULTE DES ENIGMES PAR LES ETUDIANTS TESTEURS	94
FIGURE 26 : EVALUATION DE LA DIFFICULTE DES QUESTIONS DE COURS PAR LES ETUDIANTS TESTEURS	95
FIGURE 27 : EVALUATION DE LA PERTINENCE DU JEU POUR REpondRE AUX OBJECTIFS VISES	95
FIGURE 28 : REponses DANS LE CADRE DU QUESTIONNAIRE PRE-JEU A LA QUESTION DEMANDANT QUELLE RATION ETUDIER EN CAS DE SUSPICION DE PROBLEME DE FIEVRE DE LAIT	97

FIGURE 29 : REPONSES DANS LE CADRE DU QUESTIONNAIRE PRE-JEU A LA QUESTION DEMANDANT DE CITER LES FACTEURS PROTECTEURS CONTRE L'HYPOCALCEMIE DANS UNE RATION DE TARISSEMENT	98
FIGURE 30 : REPONSES DANS LE CADRE DU QUESTIONNAIRE POST-JEU A LA QUESTION DEMANDANT DE CITER LES FACTEURS PROTECTEURS CONTRE L'HYPOCALCEMIE DANS UNE RATION DE TARISSEMENT	100

Introduction :

L'apprentissage de la nutrition animale, notamment de la nutrition des ruminants, est un exercice nécessitant la mise en pratique de connaissances acquises en cours magistraux. En A2 et A3, en parallèle des cours, des séances de travaux dirigés sont prévues au programme, elles permettent aux étudiants de s'initier notamment au calcul de ration. Cependant, en alimentation des vaches laitières le travail sur des cas pratiques traitant de troubles à composantes nutritionnelles est peu réalisé au cours des séances de travaux dirigés. De plus, en A4, A5 et A6 les occasions pour les étudiants de se confronter à des exercices pratiques d'alimentation peuvent être aléatoires en fonction des groupes. Dans l'objectif de permettre aux étudiants qui le souhaitent de compléter leurs acquis et de s'entraîner sur des cas pratiques d'alimentation, les enseignants de nutrition des ruminants cherchent à élaborer des exercices issus de cas cliniques récoltés sur le terrain en alimentation des vaches laitières.

Par ailleurs, il émane des étudiants la demande de développer des moyens de mise en situation dans leurs apprentissages. Plus ils progressent dans les études plus ils deviennent autonomes dans leurs apprentissages et cherchent à se confronter à des cas pratiques. Les Jeux Sérieux sont des méthodes d'apprentissage actif qui se démocratisent dans l'enseignement supérieur et qui tendent à bien répondre à ces besoins. Les *Escape games* en particulier sont des jeux intéressants à développer dans un contexte ludo-pédagogique de par leur côté immersif et leur originalité, qui stimulent la motivation des étudiants.

L'objectif de cette thèse est de tester un format de Jeu Sérieux inspiré du principe de l'*Escape game* permettant aux étudiants de travailler sur des cas cliniques en alimentation des vaches laitières. Le cas clinique qui a été sélectionné pour ce test est celui d'un problème de fièvres de lait dans un élevage de vaches laitières en zone de montagne. Le jeu qui en découle a pour but d'être rendu accessible aux étudiants dans la salle de simulation de l'ENVT et donc d'être réalisé en autonomie.

Ce travail s'articule en quatre axes principaux. La première partie dresse un état des lieux succinct des connaissances sur l'hypocalcémie puerpérale et sa gestion à l'échelle d'un troupeau. La seconde partie permet de définir ce qu'est un Jeu Sérieux en s'attardant particulièrement sur le concept d'*Escape game*, en allant de son utilisation en tant que Jeu Sérieux jusqu'aux étapes clés de sa conception. La troisième partie détaille le jeu créé et la quatrième partie traite des résultats de son évaluation par les étudiants et de la discussion qui en découle.

I. Hypocalcémie

A. Définition de l'hypocalcémie

L'hypocalcémie est un déficit en calcium observé chez les vaches laitières en début de lactation, il survient généralement dans les 24h suivant le vêlage. Pour être considérée normale, la calcémie d'une vache doit être supérieure à 2 mmol/L soit 80 mg/L. Une vache en hypocalcémie possède des concentrations sanguines en calcium total inférieures à ce seuil. Selon l'individu et l'intégrité de ses mécanismes homéostatiques, l'hypocalcémie peut être plus ou moins sévère et durable. Dans les cas les plus sévères des symptômes peuvent apparaître, on parle alors d'hypocalcémie clinique ou « fièvre de lait ».

a. Hypocalcémie clinique ou « fièvre de lait »

On parle d'hypocalcémie clinique, ou « fièvre de lait », lorsque l'hypocalcémie se traduit par des signes cliniques observables. Selon certains auteurs il existerait 3 phases dans l'évolution des signes cliniques de la maladie. Dans un premier temps les signes sont légers, les animaux expriment une certaine nervosité ou faiblesse et se balancent d'un pied sur l'autre. Lors de la seconde phase les vaches sont en décubitus sternal, souvent en position d'auto-auscultation, leur état de conscience témoigne d'une dépression légère à modérée. Enfin lors du stade le plus sévère de la maladie les vaches sont en décubitus latéral, complètement paralysées et avec un état de conscience sévèrement déprimé proche du coma (Oetzel et al. 2013). L'hypocalcémie clinique est une urgence médicale et peut entraîner la mort de l'animal si elle n'est pas traitée rapidement. Généralement les cas d'hypocalcémie clinique apparaissent pour des concentrations sanguines en calcium total inférieures à 1,4mmol/L (DeGaris, Lean 2008).

b. Hypocalcémie subclinique

L'hypocalcémie subclinique se caractérise par des concentrations sanguines en calcium total comprises entre 1,4 et 2 mmol/L (DeGaris et al. 2008) et n'est associée à aucun signe clinique visible mais peut avoir des effets sur la santé et la productivité des animaux.

B. Physiopathologie de l'hypocalcémie

Pour comprendre l'origine des hypocalcémies puerpérales il est important de comprendre comment s'organisent les flux de calcium dans l'organisme des bovins et de se pencher sur les mécanismes qui régulent la calcémie. On parle d'homéostasie calcique pour décrire les processus complexes de régulation nécessaires au maintien d'une calcémie adéquate.

a. Homéostasie calcique

i. Rôles du calcium

Le calcium joue de nombreux rôles dans l'organisme. Il est notamment impliqué dans la contraction de toutes les fibres musculaires striées ou lisses ce qui explique la baisse de motilité intestinale et la parésie observée en cas de fièvre de lait. Il est également nécessaire à la formation des os du squelette et un déficit chronique peut engendrer une porosité accrue des os due à un défaut d'ostéogénèse, celle-ci s'observe notamment chez les animaux âgés. Il joue aussi un rôle dans l'activation des cellules immunitaires et dans la transmission de signaux nerveux (Horst et al. 1994). Enfin le calcium est impliqué dans les processus de coagulation, sa présence étant nécessaire à la transformation de prothrombine en thrombine.

ii. Répartition du calcium dans l'organisme

La majeure partie (99%) du calcium présent dans l'organisme est localisée dans le tissu osseux (Meschy, 2017). Pour une vache de 600kg cela représente 7,8 à 8,5 kg de calcium stocké dans les os (Goff 2014). Le calcium extra-osseux est essentiellement présent dans le sang dans lequel il est réparti en trois fractions : une fraction liée aux protéines plasmatiques (45%), une fraction liée à des anions solubles (5%) et une fraction libre sous forme ionisée (50%). La forme ionisée du calcium est la seule forme biologiquement active et la calcémie ionisée normale d'une vache varie entre 90 mg/L et 120 mg/L (Meschy 2017). Les proportions de calcium réparties dans chaque fraction dépendent de plusieurs facteurs, le plus important étant le pH sanguin : plus il est bas plus la proportion de calcium sous forme ionisée est grande. Cela s'explique par le fait que le calcium soit en compétition avec les ions hydrogène pour sa liaison aux protéines plasmatiques ; plus le pH sanguin est faible plus il y a d'ions H⁺ dans le sang et moins il y a de sites disponibles pour la fixation du calcium sur les protéines plasmatiques ce qui provoque la hausse de la calcémie ionisée (Goff 2014).

iii. Flux de calcium et leur régulation

Il existe plusieurs voies qui permettent de fournir du calcium à l'organisme ainsi que plusieurs voies qui permettent son excrétion. Leur régulation permet le maintien d'une homéostasie calcique et alors qu'un déséquilibre non régulé de ces flux entraîne l'hypocalcémie.

1. Sources de calcium pour l'organisme

a. Absorption digestive

Cette voie est la voie d'entrée principale du calcium dans l'organisme. L'absorption digestive se fait principalement au niveau de l'intestin grêle selon deux modes de transports distincts : une absorption active transcellulaire et une diffusion passive paracellulaire.

La voie transcellulaire fait intervenir un transport actif dépendant de l'ATP et peut se faire même si le gradient de calcium entre la lumière du tube digestif et les cellules est défavorable. Le magnésium semble jouer un rôle de cofacteur dans la synthèse des protéines impliquées dans ce transport (Goff et al. 1991).

La voie paracellulaire fait intervenir une diffusion passive à travers les jonctions serrées des épithéliums du tube digestif. Pour que la diffusion ait lieu il faut que la concentration en ions calcium dans la lumière du tube digestif soit significativement supérieure à celle du liquide extracellulaire de la muqueuse (Horst et al. 1994).

Ces deux modes de transport du calcium sont régulés par divers mécanismes dans lesquels le calcitriol, une hormone hypercalcémiant, joue un rôle essentiel en stimulant la synthèse des protéines impliquées dans ces deux processus.

b. Résorption osseuse

Le principal réservoir en calcium de l'organisme se trouve dans les os. Le calcium y est présent dans le milieu interstitiel des cellules osseuses mais aussi et surtout dans les cristaux d'hydroxyapatite qui composent la matrice osseuse. Face à un stress calcique la mobilisation des réserves osseuses entre en jeu grâce à l'action de la parathormone (Goff 2014).

2. Voies d'excrétion calcique

a. Excrétion urinaire et fécale

La voie principale d'excrétion du calcium est la voie fécale. L'élimination urinaire est très faible et soumise à des mécanismes de réabsorption au niveau des tubules rénaux suivant un mécanisme très similaire à celui de l'absorption intestinale du calcium (Goff et al. 1991; Wilkens et al. 2020). Cette réabsorption urinaire est un des leviers de régulation de l'homéostasie calcique.

b. Excrétion via le lait

Chez les femelles, une voie d'excrétion calcique se rajoute aux voies urinaires et fécales : la perte de calcium par la production de lait. En effet, chez les vaches laitières la quantité de calcium excrété par la mamelle est d'environ 1,1 g/kg de lait produit (Goff 2014). Chez des vaches à fort taux de production cela peut représenter une perte quotidienne de plus de 30g de calcium.

3. Régulation hormonale des flux calciques

La régulation de la calcémie est le résultat d'un équilibre fragile entre l'apport de calcium et les pertes qui varient en fonction des besoins de l'animal à chaque instant. Ces flux sont régulés par des hormones hyper et hypocalcémiantes agissant sur les différents organes cibles que nous venons d'aborder (Figure 1).

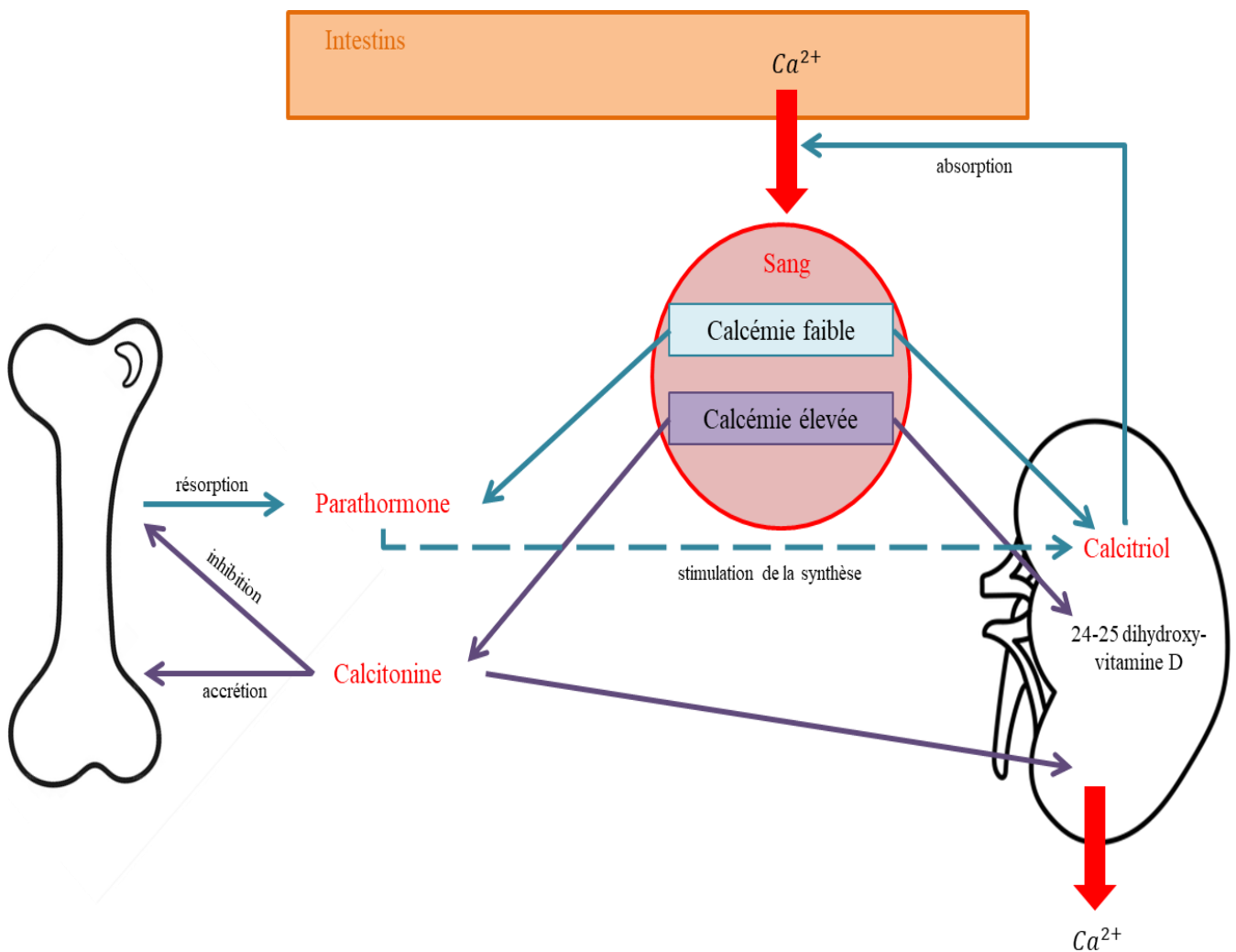


FIGURE 1 : SCHEMA SIMPLIFIE DE L'HOMEOSTASIE CALCIQUE (D'APRES MESCHY, 2023)

a. La parathormone

Synthétisée par la parathyroïde, la parathormone (PTH) est une hormone hypercalcémiant agissant sur les os et les reins. Au niveau rénal elle agit en augmentant la réabsorption tubulaire du calcium. Au niveau osseux, lorsqu'elle est produite de façon continue (hypocalcémie prolongée), elle agit sur les ostéoblastes en activant la sécrétion de molécules stimulant l'activité des ostéoclastes, à l'origine de la dissolution des cristaux d'hydroxyapatite osseux et donc de la libération de calcium et de phosphore dans le sang (Goff et al. 1991).

Sa synthèse est principalement régulée par la calcémie ; une hypocalcémie stimule les glandes parathyroïdes et permet sa sécrétion. A l'inverse la calcitonine, une hormone hypocalcémiant impliquée dans l'homéostasie calcique, inhibe sa synthèse. Enfin, le magnésium est le cofacteur de plusieurs réactions intervenant dans la synthèse de la parathormone. Il est également impliqué dans les réactions issues de la liaison entre la parathormone et ses récepteurs. Une hypomagnésémie peut donc être à l'origine d'une baisse la sécrétion de parathormone et d'une baisse de ses effets systémiques (Goff 2014).

b. Le calcitriol

Le calcitriol, aussi appelé 1,25-dihydroxyvitamine D (noté $1,25-(OH)_2-D$) est la forme active de la vitamine D issue de la double hydroxylation sur les carbones 1 et 25 de cette dernière par le foie et les reins. Cette molécule est une hormone stéroïde hypercalcémiant qui a une action sur la régulation de l'absorption intestinale du calcium, la réabsorption du calcium au niveau des tubules rénaux et une action positive mineure sur la résorption osseuse ostéoclastique. La vitamine D nécessaire à l'organisme est d'origine alimentaire ou synthétisée par la peau via les rayons UV du soleil.

La synthèse du calcitriol est fortement dépendante de l'action de la PTH qui stimule la deuxième hydroxylation de la vitamine D par les cellules rénales. Elle est également régulée par la calcémie et la phosphorémie, des valeurs basses stimulant la production de l'hormone (Goff et al. 1991). Une autre double hydroxylation de la vitamine D est possible, sur les carbones 24 et 25. La molécule qui en résulte, la 24,25-dihydroxyvitamine D, n'a pas d'action sur le métabolisme calcique et constitue une forme d'élimination de la vitamine D. Un état d'hypercalcémie oriente vers l'hydroxylation en 24 de la vitamine D alors que l'hydroxylation en 1, et donc la formation du calcitriol, est favorisée par un état d'hypocalcémie et par l'action de la PTH.

c. La calcitonine

La calcitonine est une hormone hypocalcémisante synthétisée par les glandes thyroïdes. Son action se concentre sur les ostéoclastes et consiste à inhiber leur activité, diminuant ainsi la résorption osseuse. La régulation de sa synthèse se fait par l'intermédiaire de récepteurs sensibles au calcium présents sur les cellules C thyroïdiennes, une hypercalcémie stimule sa synthèse. L'action de cette hormone au niveau rénal ou intestinal est moins clairement établie et semble plus anecdotique (Goff 2014).

b. Pathogénie de l'hypocalcémie

La calcémie est finement régulée par des mécanismes faisant intervenir plusieurs hormones. En cas de besoins accrus en calcium, les hormones hypercalcémisantes (PTH et calcitriol) entrent en jeu pour tenter de compenser les déséquilibres. Cependant certaines vaches autour du part ne parviennent pas à maintenir une calcémie normale, et les causes de cet échec de l'homéostasie calcique peuvent être de différente nature.

i. Hypocalcémie et péri-partum

Au cours de la période péri-partum, la fin du développement foetal et l'initiation de la lactation induisent d'importants changements physiques et métaboliques chez la vache laitière. On observe un accroissement des besoins en calcium mais également une diminution de l'ingestion et par conséquent des apports en calcium ce qui place les vaches en état de déséquilibre calcique.

1. Besoins en calcium accrus

Les hypocalcémies puerpérales sont principalement causées par une augmentation brutale des besoins en calcium en début de lactation. Ainsi, avant le vêlage, les besoins en calcium sont d'environ 30g par jour alors qu'au tout début de la lactation, ces besoins peuvent dépasser les 50g par jour (DeGaris et al. 2008). La production de colostrum est responsable de ces besoins accrus en calcium. On considère qu'un litre de lait coûte 1,1g de calcium à la vache, et en début de lactation le colostrum produit nécessite entre 1,7 et 2,3g de calcium par litre (Goff 2014). Plus la production en lait/colostrum des vaches est importante, plus les besoins en calcium sont grands, rendant les vaches à haut niveau de production plus à risque d'hypocalcémie que leurs congénères moins productives.

2. Diminution de l'ingestion autour du part

Autour du part, les besoins de la vache en protéines, en énergie et en calcium sont décuplés alors qu'en parallèle leur niveau d'ingestion est au plus bas. Selon les travaux de Hayirli et al. (2002), l'ingestion d'une vache laitière diminue de 30 % en moyenne de manière graduelle sur les 3 dernières semaines avant la mise bas et il semblerait que 90% de cette diminution intervienne au cours de la dernière semaine de gestation. Les raisons de cette baisse de l'ingestion sont multiples. En fin de gestation, le volume de l'utérus est maximal et occupe une place importante dans la cavité abdominale. Par manque de place le volume ruminal est alors plus faible et la capacité d'ingestion diminuée. De plus, le déficit énergétique qui en résulte entraîne un phénomène de lipomobilisation qui se met en place et induit des signaux de satiété. Ainsi, en début de lactation, alors que les besoins en calcium sont élevés, les vaches ont une capacité d'ingestion diminuée et absorbent moins de calcium via l'alimentation ce qui participe à la diminution de la calcémie observée dans les jours qui précèdent et suivent la mise-bas.

L'état de déséquilibre calcique observé en péri-partum est physiologique. Chez toutes vaches, la calcémie baisse autour du part en raison d'une baisse des apports en calcium et d'une augmentation des besoins. Chez les vaches dont les mécanismes de l'homéostasie calcique sont performants, la calcémie totale ne chute pas longtemps sous le seuil des 80mg/L (seuil de calcémie normale) mais pour d'autres cette baisse pourtant physiologique se transforme en hypocalcémie clinique ou subclinique qui se prolonge dans le temps. Quelles sont les causes de ce défaut d'homéostasie ? Quels facteurs sont susceptibles d'augmenter le risque d'hypocalcémie et par quels mécanismes ?

ii. Anomalies de l'homéostasie calcique

La première hypothèse qui pourrait être avancée pour expliquer un défaut d'homéostasie calcique chez la vache est celle d'un défaut de synthèse d'hormones hypercalcémiantes (PTH ou calcitriol). Des études ont tenté de mettre en évidence un défaut de synthèse de parathormone chez les vaches en hypocalcémie mais sans succès. En fait c'est le constat inverse qui a été fait puisqu'il semblerait que la majorité des vaches en hypocalcémie présentent des taux de PTH élevés dans le sang (Mayer et al. 1969). Pour ce qui est du calcitriol, il apparaît que seulement 10% des vaches en hypocalcémie présentent des taux anormalement faibles de l'hormone (Goff et al. 1989). La piste d'un défaut de synthèse

des hormones hypercalcémiantes ne semble donc pas être l'élément à mettre en cause pour expliquer la survenue des hypocalcémies.

Une autre hypothèse avancée par les chercheurs est celle d'un manque de récepteurs aux hormones hypercalcémiantes au niveau des intestins, des os et des reins. L'étude de Horst et al. (1990) semble étayer cette hypothèse et met en évidence une diminution avec l'âge de la quantité des récepteurs au calcitriol présents au niveau de l'intestin des bovins.

Une dernière hypothèse serait celle d'une défaillance des récepteurs aux hormones hypercalcémiantes. L'étude de Goff et al. réalisée en 2008 semble confirmer cette hypothèse en montrant qu'un état d'alcalose métabolique est responsable d'une modification de la conformation des récepteurs à la PTH, réduisant ainsi considérablement la réceptivité des tissus à son action et augmentant le risque d'hypocalcémies.

iii. Facteurs de risque

Plusieurs facteurs ont été identifiés comme générant un risque accru d'hypocalcémie chez les vaches laitières. Pour certains de ces facteurs, une altération des mécanismes de régulation du calcium est mise en cause alors que pour d'autres, ce sont les besoins calciques de la vache qui sont augmentés, accroissant le risque d'hypocalcémie.

1. Facteurs de risque liés à l'animal

a. Âge de la vache

De nombreuses études ont mis en évidence une augmentation de la prévalence des hypocalcémies cliniques et subcliniques avec la parité des vaches (Reinhardt et al. 2011; Venjakob et al. 2017). Selon l'étude de DeGaris et al. (2008), l'incidence des fièvres de lait chez les génisses est très basse mais le risque d'hypocalcémie augmente de 9% à chaque rang de lactation. L'hypothèse avancée par Horst et al. (1990) pour expliquer cette augmentation est celle d'une diminution liée à l'âge du nombre de récepteurs au calcitriol présents au niveau des intestins causant une diminution de la capacité d'absorption du calcium alimentaire. De plus, selon l'étude de Goff et al. (1991), les vaches âgées auraient moins d'ostéoblastes et d'ostéoclastes et donc une capacité de résorption osseuse diminuée.

Ainsi, plus la parité d'une vache est élevée, plus elle est à risque de fièvre de lait ou d'hypocalcémie subclinique. Les génisses quant à elles ne sont que très peu concernées par ces affections.

b. Race

Selon certaines études il semblerait que certaines races présentent une susceptibilité accrue aux hypocalcémies. L'étude de Harris et al. (1981) s'est intéressé à caractériser l'incidence des fièvres de lait au sein de troupeaux du sud du Royaume-Uni et a observé une plus forte incidence de la maladie chez les animaux de race Jersiaise par rapport aux Prim-Holstein. Ces résultats sont soutenus par ceux de la méta-analyse de Lean et al. (2006) qui a montré que les vaches Jersiaises avaient 2,55 fois plus de risque de développer une fièvre de lait que les Prim'Holstein. La plus forte susceptibilité de la race Jersiaise à la fièvre de lait a été relevée assez régulièrement dans la littérature scientifique sans pour autant trouver d'explication claire. Une des hypothèses avancées est que la vache Jersiaise aurait un lait plus riche que les autres races avec un taux butyreux et protéique élevé mais aussi une plus forte concentration en calcium (Goff 2014). Il semblerait que d'autres races moins connues telles que la Pie rouge suédoise et Pie rouge de Norvège soient également plus à risque de développer des fièvres de lait (Goff 2014).

c. Niveau de production laitière

Comme évoqué précédemment la production d'un litre de colostrum nécessite environ 1,7 à 2,3g de calcium (cf. i.1.Besoins en calcium accrus). Une vache à haut niveau de production produit par définition plus de lait que ses congénères ce qui, en début de lactation contribue à aggraver le déséquilibre calcique subi par son organisme. Ces vaches sont donc plus à risque de fièvre de lait car elles exportent plus de calcium vers la mamelle.

Bilan :

Les vaches les plus à risque de fièvre de lait sont les vaches âgées et à haut niveau de production. Certaines races comme la race Jersiaise sont aussi particulièrement concernées par les hypocalcémies. Ces facteurs de risques individuels sont intéressants à connaître. Ceci permet d'identifier les animaux les plus à risques et ainsi d'orienter son diagnostic en cas de suspicion de fièvre de lait. Cependant cette maladie est considérée avant tout comme une maladie à composante nutritionnelle, elle présente donc d'autres facteurs de risque liés à l'alimentation qu'il est nécessaire de savoir identifier dans le cadre d'une approche du problème à l'échelle collective.

2. Facteurs de risques liés à l'alimentation

Certaines caractéristiques de la ration de tarissement peuvent induire des risques d'hypocalcémie car ils altèrent ou retardent la mise en place des mécanismes de l'homéostasie calcique.

a. Excès de calcium dans la ration au tarissement

Un excès de calcium dans l'alimentation lors du tarissement a un rôle négatif sur la mise en place des mécanismes de réponse à une hypocalcémie (Wolter, Ponter 2019). Lorsque la ration de tarissement est trop riche en calcium, les mécanismes de l'homéostasie favorisent son stockage dans les os via l'action de la calcitonine. De plus, l'hydroxylation de la vitamine D par les reins n'est pas orientée vers la synthèse de calcitriol, il n'y a donc pas de stimulation de l'absorption intestinale de calcium ni de sa réabsorption au niveau des tubules rénaux.

Lors de la mise-bas et au tout début de la lactation, les besoins en calcium sont énormes, or si les mécanismes de l'homéostasie calcique tardent à se réorienter vers la mobilisation du calcium, cela favorise la survenue d'hypocalcémies cliniques et subcliniques. Cet excès d'apport de calcium peut être dû à l'utilisation dans la ration de tarissement d'aliments minéraux riches en calcium ou de légumineuses, betteraves, choux ou pulpes dont la teneur en calcium est élevée.

Il est tout de même important de souligner que le risque de fièvre de lait n'est pas strictement associé à la teneur en calcium de la ration. Selon la méta-analyse réalisée par Oetzel et al. (1991) et dont la figure 2 est issue, il semblerait que le risque d'hypocalcémie clinique soit maximal pour des teneurs en calcium de 1,16% dans la ration de fin de tarissement. Selon ces mêmes résultats, une ration à 2,3 % de calcium, donc largement excédentaire, serait associée à un très faible risque de la maladie. Les mêmes conclusions sont obtenues pour des rations pauvres en calcium (moins de 0,5%) (Oetzel et al. 1991). L'hypothèse avancée pour expliquer cela serait que l'apport massif de calcium dans la lumière intestinale favorise sa diffusion passive à travers la paroi du tube digestif, shuntant ainsi les mécanismes actifs hormono-dépendants de l'absorption calcique (Wilkens et al. 2020). Cependant en pratique, l'efficacité de telles rations n'a pas pu être prouvée.

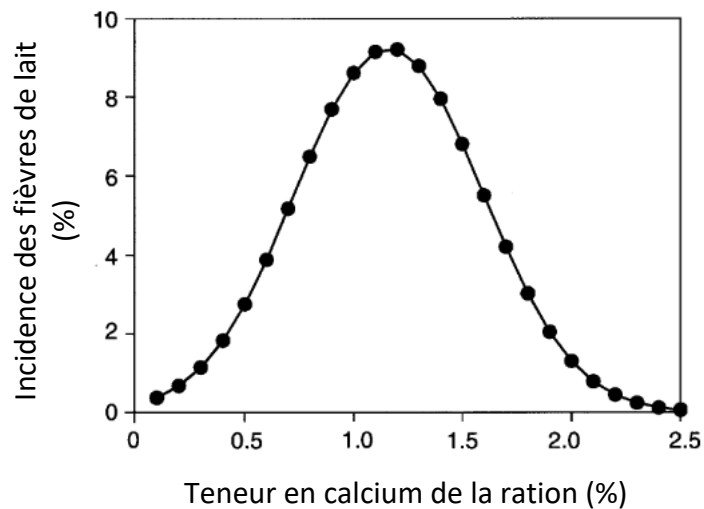


FIGURE 2 : EVOLUTION DU RISQUE DE SURVENUE DE FIEVRE DE LAIT EN FONCTION DE LA TENEUR EN CALCIUM DE LA RATION DE TARISSEMENT (ISSU DE OETZEL ET AL. 1991)

b. Excès de phosphore au tarissement

Quelques études ont montré l'effet protecteur sur la fièvre de lait de rations pauvres en phosphore (P) au moment du tarissement (Kichura et al. 1982; Barton et al. 1987; Lean et al. 2006). L'hypothèse avancée pour expliquer le phénomène est que le phosphore est un élément dont la concentration sanguine est régulée par le même système hormonal que le calcium et qu'une faible concentration sanguine en phosphore stimulerait l'hydroxylation de la vitamine D en calcitriol au niveau du rein (Lean et al. 2006). Un déficit de synthèse de calcitriol engendrerait une moindre absorption du calcium provenant du bol alimentaire, limitant ainsi les apports en calcium de la vache et augmentant le risque d'hypocalcémie. Cependant des études plus récentes sur le sujet semblent montrer que l'action préventive des rations à faible teneur en phosphore serait surtout liée à une meilleure mobilisation du réservoir osseux (Wächter et al. 2022). Une faible teneur en phosphore stimulerait la résorption osseuse et donc la libération de calcium dans le sang mais les mécanismes impliqués sont mal élucidés. Ils ne semblent pas dépendre de la PTH dont la synthèse est diminuée en cas de faible teneur en phosphore de la ration.

c. Déficit en magnésium au tarissement (Neves et al. 2017)

Le magnésium (Mg) est un élément jouant un rôle dans la synthèse de la parathormone et dans les réactions issues de la liaison de cette hormone avec ses récepteurs (cf. II.B.

Physiopathologie de l'hypocalcémie). Chez l'homme, l'étude de Fatemi et al. (1991) a permis de mettre en évidence la nature de la relation entre la magnésémie et la concentration de parathormone (PTH) sanguine. En nourrissant des hommes avec un régime pauvre en Mg les auteurs ont observé une baisse de la calcémie ainsi qu'une synthèse de parathormone diminuée. Dans la même étude, une injection intraveineuse de Mg suite au régime carencé provoquait une hausse significative de la PTH sanguine sans pour autant provoquer d'augmentation du calcitriol sanguin alors que sa synthèse est normalement favorisée par l'action de la PTH sur les reins (cf. II.2.a.). Ainsi il semblerait que chez les humains, une carence en magnésium provoque une baisse de la parathormonémie et une diminution de la sensibilité du tissu rénal à son action. La résorption osseuse serait donc altérée en cas de carence en Mg et ce constat, extrapolé à la vache laitière consommant une ration pauvre en Mg au moment du tarissement, pourrait expliquer la plus forte sensibilité aux fièvres de lait observée. Du côté de la médecine vétérinaire, l'étude de Van de Braak et al. (1987) a montré expérimentalement que des vaches nourries avec des rations pauvres en magnésium (0,2 % de Mg dans la ration) mobilisaient moins rapidement leur calcium que les vaches nourries avec des rations riches en magnésium (1,5% de Mg dans la ration). Dans une étude parue en 2006, Lean et al. ont étudié l'impact de rations contenant des quantités variables de Mg sur le risque d'hypocalcémie clinique. Ils ont ainsi montré qu'une quantité importante de Mg dans la ration de tarissement était bel et bien un facteur protecteur contre la survenue de fièvres de lait.

d. BACA élevé au tarissement

Le Bilan Alimentaire Cation Anion (BACA) est une variable donnant le potentiel d'une ration à faire varier le pH sanguin. C'est une variable calculée et elle est exprimée en milliéquivalents par kilo de matière sèche (mEq/kg de MS). Plusieurs équations ont été proposées au cours des différentes études sur le sujet mais l'équation la plus souvent utilisée est la suivante :

$$\text{BACA (mEq/kg)} = ([Na^+] + [K^+]) - ([Cl^-] + [S^{2-}])$$

Le principe du calcul du BACA se base sur la théorie des ions forts selon laquelle le pH sanguin dépend en partie de sa teneur en quelques électrolytes importants : le sodium, le soufre, le chlorure et le potassium. Ces ions sont importants car ils disposent d'une grande biodisponibilité dans le tube digestif et sont peu métabolisés, ils se concentrent alors dans le sang et jouent un rôle sur l'équilibre acido-basique sanguin.

Le potassium et le sodium ont un effet alcalinisant car ils sont absorbés en échange de protons alors que le chlore et le soufre ont un effet acidifiant car ils sont absorbés contre du bicarbonate. Ainsi le BACA d'une ration et le pH sanguin de l'animal qui ingère la ration varient dans le même sens ; un BACA élevé entraîne une alcalémie (augmentation du pH sanguin) et inversement un BACA bas entraîne une acidémie (baisse du pH sanguin). Les modifications de pH induites par la variation du BACA de la ration sont minimales et restent toujours dans les limites physiologiques car les systèmes tampons du sang (bicarbonates, etc.) et les organes de régulation (reins et poumons) régulent finement le pH sanguin et compensent de trop gros écarts aux valeurs usuelles (entre 7,38 et 7,42). Cependant ces variations dues au BACA de la ration, même infimes, peuvent avoir une influence sur les mécanismes de régulation de la calcémie :

- Une acidose métabolique compensée augmente la réceptivité des tissus à la PTH et favorise donc par la même occasion la synthèse de calcitriol (hormone favorisant l'absorption intestinale du calcium) et la résorption du calcium osseux qui sont tous deux sous contrôle de la PTH
- Une acidose métabolique compensée permet l'augmentation de la fraction de calcium ionisé dans le sang, la forme biologiquement active du calcium, et donc son utilisation par l'organisme

Ainsi, une ration à BACA bas permet un meilleur maintien du niveau de calcémie des vaches autour du vêlage en induisant une acidémie compensée qui favorise la mobilisation du calcium et son utilisation par l'organisme. Une ration à BACA haut est au contraire un facteur de risque de survenue de fièvres de lait (Lean et al. 2006).

Les vaches laitières consomment généralement des rations riches en potassium (herbe, foin et ensilage d'herbe) donc à BACA élevé (Oetzel et al. 2000a). Pour minimiser le risque de fièvre de lait, il est conseillé d'adapter ces rations pour diminuer leur valeur de BACA et ainsi diminuer le risque d'hypocalcémie. Cela passe par une adaptation des aliments utilisés (aliments pauvres en potassium notamment) et parfois par l'utilisation de suppléments alimentaires riches en anions. Selon l'étude de Oetzel et al. (2000), pour réduire le risque de fièvre de lait il serait plus important de jouer sur le BACA de la ration de tarissement que sur sa teneur en calcium. On peut nuancer ces propos en ajoutant que les apports en calcium doivent tout de même être couverts sans excès surtout dans le cadre de rations à BACA bas

car un apport trop faible en calcium couplé à une augmentation de la mobilisation du calcium de l'organisme via l'action du BACA pourrait entraîner des carences.

Bilan :

Chez la vache laitière, la période qui entoure la mise-bas est caractérisé par un déséquilibre calcique dû à un export important de calcium vers la mamelle pour la production de colostrum et une baisse de l'ingestion entraînant une baisse des apports en calcium. Les mécanismes de l'homéostasie calcique sont censés réguler la calcémie face à un tel stress et prévenir l'hypocalcémie.

Cependant chez certaines vaches à haut niveau de production, ces mécanismes ne parviennent pas à compenser des besoins en calcium trop élevés, conduisant ainsi à l'hypocalcémie et dans certains cas, à la fièvre de lait. De même, plus une vache est âgée plus les risques d'hypocalcémie sont élevés en raison d'une baisse du nombre de récepteurs hormonaux impliqués dans l'homéostasie calcique.

Les hypocalcémies sont des maladies métaboliques et une ration au tarissement mal adaptée peut s'avérer être un facteur de risque. Des rations riches en phosphore, pauvres en magnésium ou avec une teneur en calcium proche des 1,2% engendrent un risque accru de fièvre de lait. Cela s'explique par l'action qu'ont ces différents minéraux sur les mécanismes de régulation de la calcémie. La composition en ions forts de la ration, illustrée par le BACA, est aussi un facteur favorisant l'apparition de fièvre de lait dans le troupeau.

C. Impact des hypocalcémies à l'échelle du troupeau

a. Incidence des hypocalcémies

i. Incidence de la fièvre de lait

L'incidence de la fièvre de lait varie beaucoup en fonction des études considérées. En France, les travaux de Le Coustumier (1994) font état d'une incidence annuelle de 8% en moyenne dans les troupeaux mais depuis cette étude, les chiffres n'ont pas été actualisés. Notons tout de même qu'il existe une forte variabilité de l'incidence de la maladie entre les troupeaux. Elle a notamment été mise en évidence par la méta-analyse de DeGaris et al. (2008) qui fait état d'incidences pouvant aller de moins de 1% à 25% d'un troupeau. Selon cette étude l'incidence moyenne calculée à partir des résultats des différentes études européennes incluses dans la méta analyse est de 6,7%.

ii. Incidence de l'hypocalcémie subclinique en France

Seules trois études se sont intéressées à l'incidence de l'hypocalcémie subclinique dans les élevages français (Alves de Oliveira et al. 2018; Gillet 2015; Bodin 2020). Dans chacune de ces études, les auteurs ont caractérisé l'incidence de la maladie au sein d'une clientèle vétérinaire spécifique dans une région donnée, avec tous les biais de recrutement que cela engendre. De plus, les effectifs d'animaux recrutés étaient faibles (moins de 150 animaux). Le tableau 1 regroupe les résultats obtenus par ces études. On remarque que l'incidence augmente avec la parité des vaches pour les deux études qui s'y sont intéressées (Gillet, 2015 ; Bodin, 2020) et l'incidence moyenne est élevée pour les trois études citées avec des valeurs entre 28% et 45%. Bien qu'il faille considérer les résultats obtenus avec précaution ils donnent une idée de l'incidence de l'hypocalcémie subclinique dans les troupeaux français et montrent que celle-ci n'est pas rare.

TABEAU 1 : COMPARATIF DE QUELQUES ETUDES DE L'INCIDENCE DE L'HYPOCALCEMIE SUBCLINIQUE DANS LES TROUPEAUX LAITIERS FRANÇAIS

Auteurs	Pays / Région		Seuil de calcémie totale	Moment du prélèvement	Incidence						Race (n)
					Moyenne	L1	L2	L3	L4	L5	
Alves de Oliveira, Astruc (2018)	France	Monts du Lyonnais	< 80 mg/L	12 à 48h PP	28,7 %	/					Prim-Holstein et montbéliarde (115)
Gillet (2015)		Vosges	< 80 mg/L (sur au moins une des trois PS)	7 jours antepartum + 12 à 24h PP + 4 jours PP	45,3 %	16 %	52 %	48 %	72%	67 %	Prim-Holstein (106)
Bodin (2020)		Ardennes	<80 mg/L (sur une des deux PS)	Au cours de la semaine pré-partum et 12h PP	36,5 %	12,9 %	31 %	55,6 %	69,2 %	80 %	Prim-Holstein, Montbéliard de Brune (96)

Légende : **PP** = Post-partum ; **PS** = prise de sang ; **Ln** = Rang de lactation n ; **L4 et >** = Rang de lactation 4 et plus ; **Moyenne** = incidence de l'hypocalcémie sur la cohorte entière ; **n** = effectif

Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus par Reinhardt et al. (2011) et Venjakob et al. (2017) qui font état d'une incidence moyenne de 46,7% et 37,0 % respectivement. Les valeurs obtenues par les études françaises sont donc en cohérence avec la

littérature scientifique internationale et montrent que l'hypocalcémie subclinique n'est pas négligeable et touche entre un quart et la moitié des bovins laitiers.

Bilan :

Il est difficile de donner une valeur unique de l'incidence de l'hypocalcémie (clinique ou subclinique) qui soit représentative de la majorité des élevages bovins laitiers. L'incidence de ces maladies varie énormément entre les élevages notamment à cause du nombre important de facteurs de risques liés à la survenue de ces maladies. Cependant on peut remarquer que si la fièvre de lait ne touche que peu de bovins, l'hypocalcémie subclinique, elle, touche plus d'un quart des animaux du cheptel. Face à cette incidence élevée, il est important de s'intéresser aux potentiels effets de la maladie sur la santé et la productivité des animaux pour se rendre compte de son impact à l'échelle d'une exploitation.

b. Hypocalcémies et santé

i. Hypocalcémie et immunité

L'importance du calcium dans le fonctionnement des cellules immunitaires interroge sur le rôle de l'hypocalcémie dans la baisse de l'immunité péri-partum. En effet, l'étude de Kimura et al. (2006) a montré qu'une hypocalcémie était associée à une diminution des réserves en calcium dans les cellules immunitaires de l'organisme. Or l'activation de la fonction des cellules immunitaires, comme la phagocytose ou la dégranulation, est liée à un flux de calcium intracellulaire (Wilkens et al. 2020). Une diminution des réserves en calcium dans ces cellules pourrait alors conduire à la limitation de leurs fonctions et contribuer ainsi à la baisse d'immunité.

L'étude de Martinez et al. (2014) a mis en évidence le même effet négatif de l'hypocalcémie sur la réponse des cellules immunitaires à une infection. Dans cette étude, les auteurs ont induit une hypocalcémie subclinique (calcémie ionisée < 40mg/L) chez des vaches Holstein taries et non gestantes via l'administration intraveineuse de chélateurs du calcium. Ils ont ensuite mesuré le taux de phagocytose et la réponse oxydative des polynucléaires neutrophiles (PNN) à l'infection *in vitro* d'une souche d'*E. coli* pathogène. Le taux de phagocytose et la réponse oxydative des PNN était significativement diminuée chez les vaches en hypocalcémie subclinique par rapport aux vaches avec une calcémie normale.

Ces résultats tendent à montrer que l'hypocalcémie est un facteur contributif de la baisse d'immunité chez les vaches laitières autour du part. Les hypocalcémies cliniques et subcliniques pourraient ainsi augmenter la sensibilité des vaches aux infections.

ii. Hypocalcémie et maladies infectieuses du post-partum

Du fait du rôle non-négligeable de la disponibilité du calcium sur l'immunité, l'hypocalcémie favoriserait le développement de certaines maladies infectieuses en post-partum. Selon certains auteurs, la durée de l'hypocalcémie jouerait un rôle prépondérant dans le risque de maladies ou de complications du post-partum : plus la phase d'hypocalcémie est longue, plus le risque de maladie serait accru (Caixeta et al. 2017; Neves et al. 2018).

1. Métrites

Au cours de la dernière décennie, plusieurs études se sont intéressées à l'impact de l'hypocalcémie sur les infections utérines. Au cours de leur étude réalisée en 2017, Rodríguez et ses collaborateurs ont mesuré la concentration sanguine en calcium chez des vaches 24 à 48h après le vêlage et ont tenté de mettre en évidence une relation entre hypocalcémie subclinique et risque accru de maladies post-partum, dont la métrite. Les résultats ont montré que le risque de déclarer une métrite était 4,3 fois plus élevé chez une vache en hypocalcémie subclinique avec un risque accru chez une vache multipare par rapport à une primipare. Toujours concernant l'hypocalcémie subclinique, l'étude de Martinez et ses collaborateurs (2012) a permis de montrer que parmi des vaches considérées comme à fort risque de métrite en raison des conditions du vêlage (vêlage difficile ou dystocie, rétention placentaire...), celles ayant subi une phase d'hypocalcémie subclinique au cours des trois premiers jours post-partum présentaient une plus forte incidence de métrites que les autres. Chez les vaches ayant eu un vêlage facile mais ayant subi une phase d'hypocalcémie les auteurs ont également observé une incidence accrue des métrites. Pour expliquer de telles corrélations les auteurs mettent en cause une altération du fonctionnement des cellules de l'immunité et une diminution de la contraction des muscles lisses qui favoriserait les rétentions placentaires et donc le risque d'infections utérines (Murray et al. 2008).

2. Mammites

De même, l'hypothèse d'association entre hypocalcémie et augmentation du risque de mammites a été testée dans plusieurs études, avec des résultats parfois contradictoires. Dans l'une d'entre elles, Curtis et al. (1985) ont étudié l'incidence de maladies post-partum chez des vaches ayant déclaré ou non une hypocalcémie clinique. Le diagnostic de mammites dans

cette étude était réalisé soit par le vétérinaire soit par l'éleveur lui-même, les mammites rapportées étaient en majorité des mammites cliniques. Les résultats de l'étude ont montré un risque de mammite clinique multiplié par 5,4 pour les vaches ayant subi une fièvre de lait en début de lactation.

Cependant, en étudiant cette fois-ci l'influence de l'hypocalcémie subclinique sur l'incidence de mammites cliniques, l'étude de Neves et al. (2018) a montré une absence d'association entre une calcémie basse après le vêlage et un risque accru de mammites cliniques au cours des 60 premiers jours de lactation. De même, l'étude de Rodríguez et al. (2017) cette fois traitant de mammites subcliniques a montré une absence de différence significative au niveau des comptages cellulaires du lait au cours des 60 premiers jours de lactation entre des vaches ayant subi une hypocalcémie subclinique et des vaches normocalcémiques. Cela suggère que l'hypocalcémie subclinique ne provoque pas une baisse de calcémie suffisante pour compromettre la réponse immunitaire au niveau de la mamelle.

Ainsi l'hypocalcémie clinique augmente le risque de mammites cliniques mais l'hypocalcémie subclinique ne semble pas avoir d'influence significative sur la santé de la mamelle.

iii. Hypocalcémie et complications autour du part

1. Hypocalcémie et complications au vêlage

Peu d'études se sont intéressées à l'influence de l'hypocalcémie sur le risque de dystocies au vêlage alors que l'on sait depuis longtemps que l'utérus comporte une majorité de muscles lisses qui permettent la progression du veau dans la filière pelvienne lors de la mise bas et que le calcium est l'ion principal permettant la contraction de ces fibres. En cas d'hypocalcémie, il est donc logique de penser que les contractions utérines puissent être altérées, générant des complications au vêlage (part languissant...).

Au cours d'une étude préliminaire sur le sujet réalisée en 1989, Al-Eknah et ses collègues se sont intéressés à l'effet d'une hypocalcémie induite sur la contraction du myomètre utérin au moment du part. L'hypocalcémie était obtenue grâce à la perfusion intraveineuse de chélateurs de calcium (nifedipine), induisant des valeurs basses de calcémie équivalente à 0,45 mmol/L de calcium environ une heure après le début de la perfusion. La mesure des contractions utérines se faisait à l'aide d'un dispositif implanté directement dans les cornes utérines. Les résultats obtenus au cours de cette étude ont montré que la diminution

de la calcémie était suivie de près par une diminution de la fréquence et de l'amplitude des contractions utérines. Cependant, il a aussi été remarqué que pendant la phase d'expulsion du veau, la calcémie n'avait que peu d'influence sur les contractions utérines. En revanche, après l'expulsion du veau, l'utérus semblait plus sensible à une baisse de la calcémie qui provoquait alors des contractions très faibles, voire inexistantes. Aucun problème de dilatation du col utérin n'a été rapporté dans cette étude mais les petits effectifs pris en compte (étude réalisée sur 2 vaches seulement) ne permettent pas de conclure quant à l'absence d'influence d'une calcémie diminuée sur la dilatation du col.

La nature de l'influence d'une hypocalcémie sur la contraction des muscles au moment du vêlage est encore floue, des études supplémentaires sur le sujet seraient nécessaires avant de tirer des conclusions mais il est logique de penser qu'une hypocalcémie à la mise-bas n'est pas recommandé.

2. Prolapsus utérins

Le prolapsus utérin consiste en une éversion de l'utérus lorsque celui-ci est poussé hors de la cavité abdominale et fait protrusion par la vulve. C'est une affection qui intervient le plus souvent dans les 24h post-partum et si son occurrence reste plutôt rare, elle représente tout de même une urgence obstétricale. De plus, la réforme des animaux atteints est souvent conseillée (Carluccio et al. 2020).

L'étude de Risco et al. (1984) s'est penché sur la relation entre hypocalcémie et prolapsus utérin. Les résultats ont montré que la calcémie des vaches présentant un prolapsus était significativement plus basse que celle des vaches du groupe témoin (pas de prolapsus). De plus, les auteurs ont montré que la proportion de vaches souffrant d'une hypocalcémie sévère (calcémie $<60\text{g/L}$) était beaucoup plus importante chez les vaches ayant présenté un prolapsus utérin que dans le groupe témoin. Cet écart entre les groupes n'est pas retrouvé pour les hypocalcémies légères ou modérées ce qui suggère que ce serait surtout l'hypocalcémie sévère qui serait un facteur de risque de prolapsus utérin. L'hypothèse avancée pour expliquer la corrélation serait celle d'une atonie utérine ainsi que d'un retard de fermeture du col utérin causé par l'hypocalcémie. Cependant il faut considérer les résultats de cette étude avec prudence en raison du faible effectif des cohortes et l'absence d'information sur le délai entre prise de sang et survenue du prolapsus utérin. Des études supplémentaires seraient nécessaires pour préciser la corrélation entre hypocalcémie et survenue des prolapsus utérins.

3. Rétention placentaire

On qualifie de rétention placentaire tout retard de l'expulsion du placenta qui se prolonge au-delà de 24h après le vêlage. C'est une maladie fréquente dans les élevages qui peut prédisposer aux infections utérines.

De nombreux auteurs se sont intéressés au lien entre rétention placentaire et hypocalcémie et les différentes études montrent des résultats similaires : le risque de rétention placentaire est plus élevé chez les vaches ayant subi une hypocalcémie subclinique (Rodríguez et al. 2017) ou une fièvre de lait (Curtis et al. 1983). Le décrochement du placenta passe par l'action de collagénases issues de différentes cellules de l'immunité et son expulsion se fait par une alternance de contractions au niveau du myomètre utérin. Or il a été démontré que l'hypocalcémie engendre un retard d'activation des cellules de l'immunité ainsi qu'un défaut de contraction des muscles lisses. Ces éléments contribuent à expliquer la corrélation entre hypocalcémie et rétention placentaire observée par ces études.

Bilan :

Il existe une association entre hypocalcémies cliniques et subcliniques et la survenue d'infections utérines. Une association entre mammite clinique et hypocalcémie clinique est également démontrée. Enfin il semblerait que les hypocalcémies prédisposent aux rétentions placentaires et leur implication est suspectée dans le cadre de certaines complications au moment du vêlage (part languissant, prolapsus utérins...). Face à cet impact des hypocalcémies sur la santé il est intéressant de se pencher sur la relation entre hypocalcémie et performances des vaches laitières pour comprendre la réelle portée d'une telle maladie.

iv. Hypocalcémies et performances des vaches laitières

1. Production laitière

Une forte production laitière est un facteur de risque d'hypocalcémie en raison de la forte demande en calcium générée par la mamelle. Sachant que le calcium est un élément essentiel à la production de lait, certains auteurs se sont demandé si l'inverse ne serait pas également vrai, si une hypocalcémie pouvait influencer sur la productivité de la vache au cours de sa lactation.

En ce qui concerne l'hypocalcémie subclinique, si certaines études ne montrent aucune corrélation entre hypocalcémie et production laitière au cours de la lactation (Martinez et al. 2012) d'autres comme Jawor et al. (2012) mettent en évidence une production de lait plus

élevée au cours des 3 à 4 premières semaines post-partum chez les vaches atteintes. L'étude de McArt et al. (2020) semble quant à elle montrer qu'une hypocalcémie subclinique « transitoire » c'est-à-dire observée seulement au cours du premier jour post-partum, et une hypocalcémie subclinique « persistante » (observée pendant 2 à 4 jours post-partum) étaient toutes deux associées à une plus forte production laitière au cours des 10 premières semaines de lactation chez les vaches multipares. Les études portant sur l'hypocalcémie clinique et la production laitière sont moins nombreuses et montrent une production laitière diminuée au cours des 4 à 6 premières semaines de lactation pour les vaches ayant subi une fièvre de lait. Cependant la production globale ramenée à la lactation entière serait légèrement plus élevée que pour les vaches saines (Rajala-Schultz et al. 1999). Devant ces constats il faut tout de même garder en tête que les vaches à haut niveau de production sont beaucoup plus sujettes aux hypocalcémies, il est donc probable que la plus forte production laitière rapportée chez les vaches ayant subi une hypocalcémie ne soit pas une conséquence de la maladie mais en réalité une cause.

Ainsi, si l'implication de l'hypocalcémie dans la production laitière est encore floue, il semblerait que l'hypocalcémie subclinique n'entraîne pas de réduction majeure de la production alors qu'une fièvre de lait serait à l'origine d'une production plus faible pendant les premières semaines de lactation sans qu'aucune répercussion ne puisse être mise en évidence à l'échelle de la lactation entière.

2. Reproduction

Les hypocalcémies cliniques ou subcliniques ont un impact sur la santé utérine en provoquant un risque accru de rétention placentaire et d'infections utérines. Or il est connu que ces affections sont délétères pour la reproduction. Il est donc logique de penser que les performances de reproduction pourraient être altérées en cas d'hypocalcémie. En parlant de performances de reproduction, on considère à la fois la fécondité des animaux, c'est à dire leur capacité à revenir en chaleur rapidement après la mise-bas, et leur fertilité, soit la réussite à l'insémination ou à la saillie.

La fécondité s'évalue chez les vaches laitières par l'étude de facteurs comme l'intervalle entre la mise-bas et les premières chaleurs ou l'intervalle vêlage-première insémination ou le délai de remise en place d'une cyclicité ovarienne après vêlage. Or selon une étude de Rodríguez et al. (2017) les vaches subissant une hypocalcémie subclinique au vêlage ont moins de chances de revenir en chaleur avant 60 jours que les vaches

normocalcémiques. Dans une autre étude réalisée en 2017, Caixeta et son équipe ont montré que le retour de la cyclicité ovarienne tendait à être plus long chez les vaches atteintes d'hypocalcémie chronique, c'est-à-dire avec une calcémie inférieure à 86mg/L pendant 3 jours. Cependant, toutes les études n'obtiennent pas les mêmes conclusions : l'étude de Venjakob et al. (2018) n'a pas pu mettre en évidence une quelconque différence significative en ce qui concerne la durée de l'intervalle vêlage - première insémination entre vaches normocalcémiques et vaches en hypocalcémie au vêlage.

Pour évaluer la fertilité on peut se fier à des indicateurs tels que le taux de réussite à la première insémination (IA) ou le nombre d'inséminations nécessaires avant insémination fécondante. Selon Rodriguez et al. (2016) il n'y aurait pas de différence significative entre vaches normocalcémiques et vaches hypocalcémiques en ce qui concerne le nombre d'IA nécessaires pour obtenir une IA fécondante. L'étude menée en 2013 par Chamberlin et al. trouve des résultats similaires. En revanche, selon Venjakob et al. (2018) les vaches en hypocalcémie subclinique ont un taux de réussite à la première insémination plus faible que les vaches normocalcémiques. L'étude de Caixeta et al. (2013) a obtenu les mêmes résultats mais cette fois-ci pour des vaches ayant subi une hypocalcémie subclinique pendant 3 jours.

Ainsi l'impact de l'hypocalcémie sur les performances de reproduction demeure encore flou et les études sur le sujet se contredisent souvent. Cependant l'impact de l'hypocalcémie sur l'environnement utérin (risque accru d'infection de l'appareil reproducteur, baisse d'immunité engendrée par l'hypocalcémie) est une des causes qui expliquerait un impact négatif de l'hypocalcémie sur la reproduction. Il serait intéressant de poursuivre les recherches dans ce domaine afin d'éclaircir les zones d'ombres encore présentes à ce jour.

v. Coût de l'hypocalcémie

Comme évoqué précédemment les hypocalcémies ont un impact sur la santé des vaches laitières et favorisent certaines maladies du post-partum. Cela doit être pris en compte lors de l'évaluation du coût de ces affections.

Les études sur le sujet ont estimé le coût d'un cas de fièvre de lait entre 256 et 334 € par animal ce qui comprend à la fois les traitements mais aussi d'autres sources de pertes comme le risque augmenté de maladies et leurs conséquences sur la productivité des vaches (Guard 1996; Kossaibati et al. 1997). D'après ces études, les pertes liées aux maladies favorisées par la fièvre de lait représenteraient près de 70% du coût global de la maladie.

Une estimation du coût de l'hypocalcémie subclinique serait de 125 euros par vache touchée et par lactation en prenant en compte les coûts liés aux maladies favorisées par l'hypocalcémie (Oetzel 2013). Dans cette même étude, les auteurs ont voulu comparer le coût global à l'année des fièvres de lait et des hypocalcémies subcliniques dans un élevage laitier standard de 2000 vaches aux Etats-Unis. Ils ont ainsi montré que l'impact financier de l'hypocalcémie subclinique à l'échelle d'un tel élevage était 4 fois plus élevé que celui des fièvres de lait en expliquant cette différence par le fait que, malgré un coût plus faible, l'incidence des hypocalcémies subcliniques était beaucoup plus élevée que celle des fièvres de lait.

Bilan :

Les hypocalcémies ont un impact sur l'immunité et semblent favoriser certaines affections du post-partum. Le lien entre hypocalcémie subclinique et incidence accrue de rétention placentaire et d'infections utérines met en exergue l'impact qu'a cette maladie même sous sa forme subclinique.

L'influence des hypocalcémies sur la production laitière et les performances de reproduction a été largement étudiée mais les résultats restent flous, ne permettant pas à ce jour d'établir de conclusions claires bien qu'un effet négatif soit suspecté.

Le coût des hypocalcémies à l'échelle d'un élevage est quatre fois plus élevé pour les formes subcliniques que pour les formes cliniques et ce, en raison d'un taux d'incidence élevé des hypocalcémies subcliniques.

Tout cela nous amène à penser que l'hypocalcémie est une maladie avec un impact non négligeable sur les élevages tant sous sa forme clinique que subclinique et qu'il y a un intérêt à bien connaître ses facteurs de risques afin d'envisager la mise en place de plans de prévention.

D. Approche pratique de la prévention des hypocalcémies

L'étude de la physiopathologie de l'hypocalcémie et des facteurs de risque qui y sont associés nous montre que c'est une affection dont le mécanisme comporte une dimension nutritionnelle importante. Sa prévention passe donc par une maîtrise de la ration apportée aux animaux pendant la phase la plus critique qui correspond à la fin du tarissement. Nous allons

ici aborder les différents leviers nutritionnels sur lesquels il est possible d'agir pour prévenir la maladie.

a. Gestion des apports en minéraux au tarissement

i. Contrôle de l'ingestion calcique

Selon la méta-analyse de Oetzel et al. (1991), des quantités très élevées de calcium dans la ration de tarissement tout comme des apports en calcium très bas seraient protecteurs contre l'hypocalcémie. Depuis cette étude, ces deux stratégies très différentes ont été étudiées afin d'évaluer leur efficacité.

1. Ration très riche en calcium

Les plus hautes incidences d'hypocalcémie sont observées pour des rations contenant une quantité modérée de calcium (1,16 à 1,35% de la MS) entraînant une inhibition des systèmes endocriniens favorisant la mobilisation calcique (cf. I.B. Excès de calcium dans la ration de tarissement). En revanche, selon Wilkens et al. (2020), des apports massifs de calcium dans la lumière intestinale favoriseraient la diffusion passive de calcium à travers la paroi du tube digestif, cette voie d'absorption devenant majoritaire par rapport aux mécanismes endocriniens. Ainsi selon cette hypothèse, une ration largement excédentaire en calcium aurait un effet bénéfique sur la calcémie car les voies d'absorption actives du calcium intestinal, inhibées par de fortes quantités de calcium, seraient de toute façon shuntées au profit d'une diffusion passive. Cependant cette théorie a été remise en question, notamment par l'étude de Goff et al. (2014) qui semble montrer que les rations contenant beaucoup de calcium (1,9 % dans cette étude) seraient moins bien ingérées, diminuant ainsi la quantité de calcium réellement apportée à la vache. Une baisse de l'ingestion est également un facteur de risque d'autres maladies comme la cétose car elle aggrave le déficit énergétique des vaches en péri-partum. De telles rations seraient donc inefficaces pour la prévention des hypocalcémies et même délétères pour la santé des animaux car elle favoriseraient la survenue d'autres troubles tels que la cétose.

Les rations de tarissement très riches en calcium sont donc théoriquement bénéfiques pour le maintien de la calcémie en péripartum mais non utilisables en pratique pour des raisons de baisse de l'ingestion de la ration.

2. Ration pauvre en calcium

Le but de ces rations est de créer un léger déficit en calcium avant la période critique du peri-partum afin de permettre la mise en place, à l'avance, des mécanismes permettant de faire face aux hypocalcémies et ainsi de diminuer le temps de réaction de l'organisme lors du déficit calcique qui aura lieu après la mise-bas. Selon plusieurs études, les apports en calcium quotidiens par animal devraient être limités à 20g soit environ 0,2% de la ration pour stimuler l'homéostasie calcique et prévenir les hypocalcémies (Goff 2014). Or la plupart des rations de tarissement peinent à descendre sous le seuil des 50g de calcium par jour soit environ et par animal (soit environ 0,4% de la ration) en raison de la richesse en calcium des fourrages habituellement utilisés (Goff 2014). Cette méthode est donc difficile à mettre en place en pratique et implique d'utiliser des fourrages très pauvres en calcium ou des éléments chélateurs de calcium.

Bilan :

En théorie, distribuer des rations très riches ou très pauvres en calcium au moment du tarissement permettrait de diminuer le risque d'hypocalcémie au vêlage. Cependant, en pratique, on se rend compte qu'une trop grande richesse en calcium impacte l'ingestion de la ration et qu'il n'est souvent pas possible d'atteindre un niveau d'apport en calcium assez faible pour maîtriser efficacement le risque d'hypocalcémie (Figure 3).

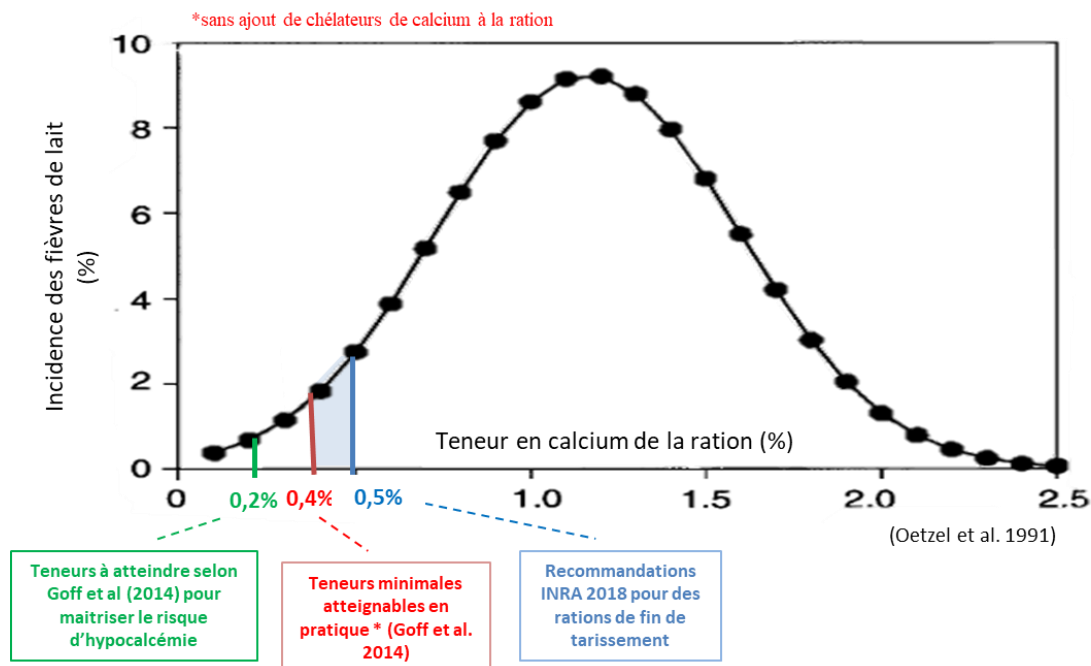


FIGURE 3 : COMPARAISON DES DIFFERENTES RECOMMANDATIONS DE TENEURS EN CALCIUM DANS LA RATION DE FIN DE TARISSEMENT ET DES TENEURS MINIMALES ATTEIGNABLES EN PRATIQUE (COURBE ISSUE DE OETZEL ET AL. 1991)

La maîtrise de la quantité de calcium dans la ration de tarissement est malgré tout nécessaire avec des apports à limiter à 65g/j par vache en fin de tarissement soit une teneur en calcium de la ration d'environ 0,5% (INRA 2018). Mais nous voyons bien ici que la maîtrise de l'apport calcium n'est pas facile et n'est pas suffisante pour prévenir l'hypocalcémie ; d'autres facteurs doivent être pris en compte afin d'en prévenir le risque.

ii. Apports en phosphore

De fortes quantités de phosphore apportées par la ration au tarissement augmentent le risque de fièvre de lait (cf. I.B. Excès de phosphore au tarissement). Contrôler la teneur en phosphore des rations de tarissement contribuerait à prévenir les hypocalcémies. Les recommandations de quantités varient en fonction des études considérées mais l'ordre de grandeur à retenir serait de ne pas dépasser les 40g par jour et par animal (INRA 2018).

iii. Apports en magnésium

Une ration pauvre en magnésium (Mg) au moment du tarissement est un facteur de risque d'hypocalcémie (cf. I.B. Déficit en magnésium au tarissement). Selon les recommandations INRA 2018 les rations en fin de tarissement devraient apporter entre 35g et 50g de magnésium absorbé par jour et par animal afin de garantir une concentration sanguine adéquate. Le risque d'une ration trop riche en magnésium serait d'induire des diarrhées.

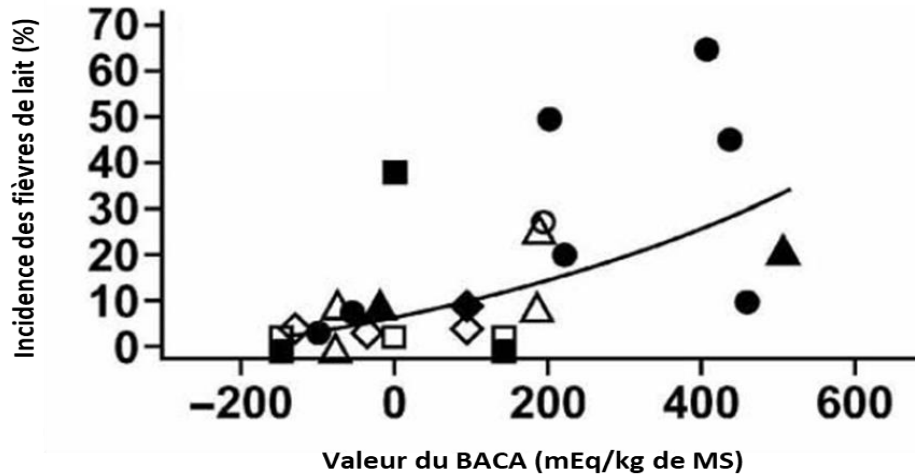
En pratique il est difficile de savoir si les besoins en Mg des vaches sont satisfaits car l'absorption du Mg est très variable et dépend notamment de la richesse en potassium de la ration. Afin d'évaluer si les besoins sont satisfaits il est possible de prélever du sang de vaches fraîches vêlées (dans les 12h post-partum) afin de mesurer la concentration sanguine en Mg. Elle doit être supérieure à la valeur seuil de 0,8mmol/L soit 1,8mg/dL pour conclure que les vaches ne manquent pas de Mg au tarissement (Goff et al. 2008).

b. Maîtrise de la Balance Alimentaire Cations-Anions

Si la maîtrise des apports en minéraux au tarissement permet de stimuler les mécanismes de l'homéostasie calcique, la manipulation du BACA agit sur la mobilisation des réserves de calcium et favorise le renouvellement rapide du calcium sanguin (absorption et excrétion accrues). Une ration à BACA faible en fin de tarissement est protectrice contre les hypocalcémies (cf. I.B. BACA élevé au tarissement) mais quel niveau de BACA viser, comment mettre en place une ration à BACA faible et quels sont les contraintes et les risques de ces rations ?

i. Existe-t-il une valeur optimale de BACA pour la prévention des hypocalcémies ?

L'objectif d'une manipulation du BACA de la ration de tarissement est de réduire le risque d'hypocalcémie, or il semblerait que le BACA et le risque d'hypocalcémie clinique soient corrélés en suivant une relation quadratique comme le montre la figure 4 (Charbonneau et al. 2006).



BACA = (Na + K) - (Cl + S) ; Les données sont des moyennes de traitement de groupe provenant d'études antérieures : ○ = Eppard et al. (1996); ● = Goff and Horst (1997); □ = Moore et al. (2000; primiparous); ■ = Moore et al. (2000; multiparous); △ = Oetzel et al. (1988); ▲ = Roche et al. (2003); ◇ = Tucker et al. (1992; primiparous); ◆ = Tucker et al. (1992; multiparous).

FIGURE 4 : EFFET DU BACA SUR LA FIEVRE DE LAIT (ISSU DE CHARBONNEAU ET AL. 2006)

Ainsi plus le BACA est bas plus le risque de fièvre de lait diminue et ce jusqu'à atteindre un plateau. Cela signifie-t-il que des valeurs de BACA très basses seraient à viser pour obtenir une protection maximale contre l'hypocalcémie clinique ? Quelles sont les valeurs de BACA optimales pour protéger efficacement contre les fièvres de lait ?

La méta-analyse de Melendez et al. (2022) s'est intéressé aux rations à BACA très faibles (proche de -200mEq/kg de MS). Le constat est que même si certaines études semblent indiquer un effet protecteur de ces rations, il semblerait que l'ingestion des vaches soit impactée. De plus l'étude de Melendez et al. (2021) trouve que pour des valeurs de BACA modérément basses (proches de -100 mEq/kg de MS), les valeurs de calcémie au vêlage sont équivalentes à celle des vaches nourries avec une ration à BACA très bas proche de

-200mEq/kg de MS. Ainsi diminuer le BACA de manière excessive ne préviendrait donc pas plus efficacement les fièvres de lait et pourrait même s'avérer délétère pour l'ingestion de la ration.

Selon la méta-analyse de Charbonneau et al. (2006) toute baisse du BACA induit une baisse de l'incidence des fièvres de lait. En revanche la réduction de l'incidence des fièvres de lait est plus marquée lorsqu'on passe d'un BACA très positif à un BACA proche de 0mEq/kg de MS tout en restant dans les valeurs positives que lorsqu'on passe d'un BACA proche de 0mEq/kg de MS à un BACA négatif proche de -100 mEq/kg de MS. Au vu des potentiels effets négatifs d'un BACA trop faible et du peu d'intérêt que représente la diminution du BACA au-delà de 0mEq/kg de MS lorsque la teneur en calcium de la ration est maîtrisée il semblerait qu'un BACA bas mais toujours dans les valeurs positives soit préconisé. Les recommandations INRA 2018 préconisent de ne pas dépasser 170mEq/kg de MS dans une telle ration en fin de tarissement.

ii. Quels leviers pour diminuer le BACA d'une ration ?

1. Choix des constituants de la ration de tarissement

Le type de fourrage utilisé influence le BACA de la ration car tous les fourrages ne contiennent pas la même teneur en ions et notamment en potassium. Cela induit une forte variabilité du BACA entre les fourrages. L'herbe verte et l'ensilage d'herbe ont les valeurs de BACA les plus élevées car ce sont les fourrages les plus riches en potassium. Le maïs ensilé et l'ensilage de pulpe de betterave sont les fourrages avec les BACA les plus faibles (Meschy et al. 2004). Le foin possède un BACA intermédiaire mais il est important de se rappeler que le BACA des fourrages (et surtout des fourrages à base d'herbe) peuvent varier énormément en fonction des conditions climatiques, de la fertilisation appliquée et du stade de la récolte (Figure 5). Pour calculer le BACA d'une ration, il est donc important de faire analyser les fourrages utilisés plutôt que de se baser sur des valeurs moyennes qui peuvent être sensiblement différentes des valeurs réelles.

La figure 6, issue de l'étude de Meschy et al. (2004), montre l'ordre de grandeur des valeurs du bilan électrolytique des différents fourrages. Dans cette étude les auteurs ont utilisé le bilan électrolytique (BE), qui est défini par la somme du potassium et du sodium diminuée du chlore, pour comparer les fourrages.

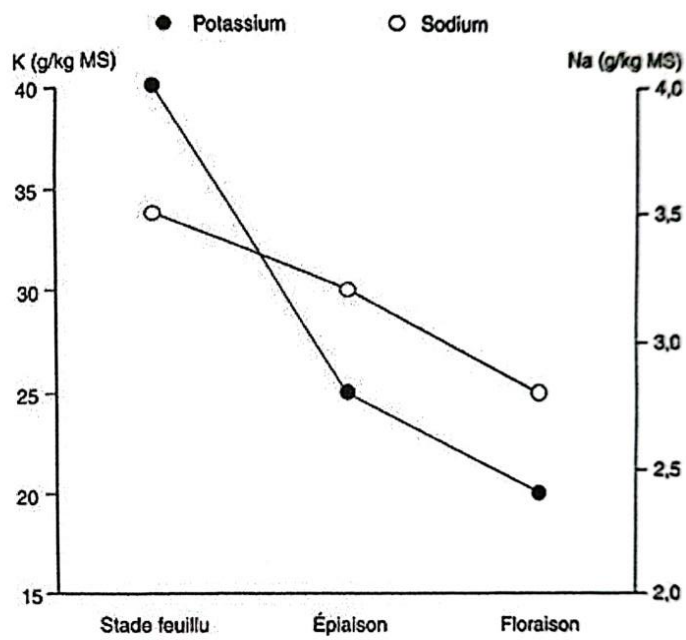


FIGURE 5 : EVOLUTION DE LA TENEUR EN SODIUM ET EN POTASSIUM DU RAY-GRASS ANGLAIS AU COURS DU PREMIER CYCLE DE VEGETATION (D'APRES MESCHY, 2023)

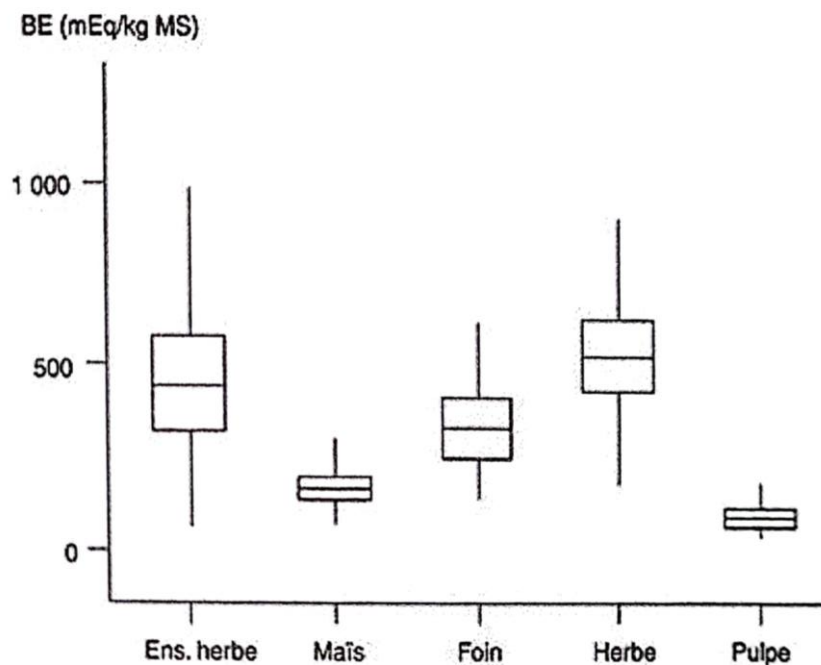


FIGURE 6 : VALEURS DU BILAN ELECTROLYTIQUE DES PRINCIPAUX FOURRAGES ($BE = [Na^+] + [K^+] - [Cl^-]$) (D'APRES MESCHY ET AL. 2004)

Le BE, à l'inverse du BACA, ne prend pas en compte le soufre contenu dans les aliments mais la teneur en soufre des différents fourrages étant relativement faible et constante il est facile d'extrapoler les valeurs de BE aux valeurs de BACA.

Ainsi pour diminuer le BACA de la ration de tarissement on pourrait vouloir jouer sur le type de fourrage distribué en choisissant des fourrages à BACA faible. Cependant le choix du fourrage n'est pas simple et dépend de beaucoup d'autres facteurs comme le stock de l'éleveur, le système d'élevage, le cahier des charges d'éventuels labels, etc. Le fourrage est donc bien souvent subi. Les autres leviers pour diminuer le BACA sont le choix d'un AMV et de concentrés adaptés (pauvres en calcium et en potassium). Le tourteau de soja par exemple est particulièrement riche en potassium alors que les céréales et leurs coproduits le sont moins (Meschy 2023). On peut également ajouter des suppléments alimentaires riches en anions qui vont permettre de faire baisser la valeur BACA.

2. Supplémentation de la ration en sels anioniques

Dans le cas où le BACA de la ration ne peut pas être ajusté en modifiant les aliments qui la composent, il est possible de supplémenter la ration en sels anioniques pour faire baisser « artificiellement » le BACA. Les anions utilisés sont les ions chlorures (Cl^-) et les ions sulfures (S^{2-}) en accord avec l'équation de calcul du BACA ($BACA = ([Na^+] + [K^+]) - ([Cl^-] + [S^{2-}])$). Les cations associés à ces anions pour la formation de sels sont des éléments tels que le calcium, l'ammonium ou magnésium.

Dans une étude publiée en 2004, Goff et ses collègues ont évalué l'effet de différents sels anioniques sur le pH sanguin et urinaire de vaches Jersiaises au tarissement. Les résultats obtenus semblent indiquer que les sels à base de Cl^- ont un effet plus important sur le BACA en plus de s'avérer moins dangereux que les ions sulfates qui peuvent provoquer des symptômes nerveux si les doses incorporées sont trop élevées. Toujours selon cette même étude, parmi les sels contenant des ions chlorures, l'acide chlorhydrique (HCl) ou chlorure d'hydrogène sous sa forme solide est celui qui présente la plus grande capacité à diminuer le BACA mais son utilisation est difficile car il est très corrosif sous sa forme liquide. Sa manipulation peut s'avérer dangereuse pour l'éleveur.

Le second sel le plus efficace pour diminuer le BACA est le chlorure d'ammonium (NH_4Cl) mais lorsqu'il est utilisé dans des rations avec un pH élevé (rations contenant peu d'ensilage et beaucoup d'herbe ou de foin) l'ammonium se transforme en

ammoniac qui est volatile et irritant lorsque inhalé, ce qui peut contribuer à diminuer l'ingestion de la ration.

Le chlorure de calcium ($CaCl_2$) est moins efficace que les sels précédents et présente l'inconvénient de contenir du calcium alors que l'on cherche à modérer les teneurs en calcium dans la ration de fin de tarissement.

Le dernier sel contenant des ions chlorures, le chlorure de magnésium $MgCl_2$, possède une bonne capacité à diminuer le BACA et présente en outre l'avantage d'être facile d'utilisation et de représenter une source de magnésium qui est également utile dans la prévention des fièvres de lait. En raison de ces caractéristiques c'est le sel qui est le plus souvent utilisé pour diminuer le BACA d'une ration.

iii. Mise en place d'une ration à BACA faible

L'utilisation d'une ration à BACA faible est une méthode utilisée en fin de tarissement, généralement pendant les 3 semaines qui précèdent la mise-bas. Cette durée est indicative, il s'agit de ne pas nourrir les vaches trop longtemps surtout pour les rations à BACA très bas (inférieur à -100mEq/kg de MS) (Oetzel, 2000b). L'étude de Vieira-Neto et al. (2021) s'est intéressé à la durée à partir de laquelle des rations à BACA bas induisaient des effets significatifs sur l'équilibre acido-basique des animaux ainsi que la réponse des tissus à la PTH. Les résultats obtenus montrent que dès 3 jours après le début de la distribution de la ration dite « anionique » (BACA de -150mEq/kg de MS) une meilleure réponse des tissus à la PTH était observée et l'acidose métabolique compensée était observée dès 24h après le début de la distribution de la ration. Il semblerait donc que pour qu'elle soit efficace il faut que la ration anionique soit consommée au moins trois jours avant la mise bas.

Choisir de mettre en place cette pratique implique de pouvoir diviser les vaches tarées en deux lots bénéficiant de rations différentes : un lot de début de tarissement et un lot de « préparation au vêlage » regroupant les vaches proches de la mise-bas. La mise en œuvre d'une deuxième ration de tarissement est parfois compliquée dans certains élevages pour des contraintes d'organisation (manque de place pour une conduite en plusieurs lots, vaches tarées mélangées avec les génisses en lactation...). Pour des éleveurs ne travaillant qu'avec des rations complètes, il peut être également difficile de donner des rations différentes à des lots de vaches tarées dont l'effectif est faible et varie constamment. Enfin, l'utilisation de sels anioniques nécessite une surveillance plus importante des vaches tarées : il faut vérifier régulièrement que l'ingestion de la ration est bonne. En effet les sels anioniques sont peu

appétants et l'ingestion de la ration peut être diminuée si celle-ci n'est pas bien mélangée ou si la quantité de sel incorporé est trop importante. En pratique, il semblerait que la dose de 150g de chlorure de magnésium par jour et par animal soit la dose maximale qu'il est possible de distribuer sans impacter l'ingestion de la ration.

iv. Evaluation de l'efficacité de la supplémentation en anions par mesure du pH urinaire

La mesure du pH urinaire est une méthode rapide et peu coûteuse permettant d'évaluer la variation du pH sanguin induite par la supplémentation anionique de la ration. L'étendue de variation du pH urinaire (en moyenne entre 5,4 et 8,5) est plus importante que celle du sang. Les vaches consommant une ration riche en cations ont généralement un pH urinaire aux alentours de 8,2. Plus la ration est riche en anions, plus le pH urinaire des vaches a tendance à diminuer. Il semblerait que des rations associées à un pH urinaire inférieur à 6 soient trop riches en anions et soient donc à risque de provoquer une acidose métabolique non compensée. Malgré l'absence de consensus sur les optimum de pH urinaire à atteindre pour maîtriser le plus efficacement le risque de fièvre de lait, plusieurs études s'accordent à dire que de bons résultats sont obtenus pour un pH urinaire moyen situé entre 6,2 et 7 (Goff 2014; Melendez et al. 2021).

Pour évaluer l'effet de la supplémentation anionique d'une ration il est recommandé de mesurer le pH urinaire au plus tôt 72h après le changement de ration, l'idéal étant tout de même de l'évaluer sur des vaches ayant consommé la ration depuis déjà 2 à 3 semaines (Goff 2014). Il est nécessaire d'effectuer les mesures sur plusieurs vaches pour obtenir une moyenne et ainsi s'affranchir des variations individuelles de pH urinaire qui peuvent être importantes. De plus, il semblerait qu'une mesure de pH faite 6 à 9h après que la ration quotidienne ait été distribuée aux vaches permette d'avoir l'évaluation la plus précise du statut acido-basique des animaux.

c. Administration de calcium après le vêlage

Au moment du vêlage, la supplémentation en calcium par voie orale vise à augmenter la diffusion passive du calcium à travers la paroi du tube digestif alors même que les mécanismes actifs ne sont pas encore efficaces (Bronner 1987). Pour ce faire les concentrations en calcium solubilisé doivent être maximales au niveau de la paroi du tube digestif. Les formes de calcium les plus utilisées par voie orale, en solution, sont :

- le chlorure de calcium : c'est le plus efficace pour augmenter la calcémie mais à le désavantage d'être caustique pour les tissus et acidogène s'il est utilisé trop souvent ou en trop grande quantité
- le propionate de calcium : celui-ci respecte mieux les tissus et apporte du propionate, un précurseur de la néoglucogénèse mais est moins efficace que le chlorure de calcium pour augmenter la calcémie

La calcémie des vaches en post-partum atteint sa valeur la plus basse 12 à 24h après le vêlage, il est donc conseillé d'administrer deux fois calcium par voie orale : au moment du vêlage puis 12 à 24h après (Goff 2008).

Beaucoup d'éleveurs pratiquent ces administrations « prophylactiques » au vêlage, surtout sur les animaux à risques (vaches hautes productrices, âgées...) mais devant la prévalence élevée des hypocalcémies subcliniques et la rapidité de leur survenue en peripartum, il est possible de se demander si cette pratique ne pourrait pas déjà être considérée comme un traitement plutôt qu'une mesure prophylactique contre l'hypocalcémie. De plus il est justifié de s'interroger sur l'utilité de telles pratiques dans des élevages où la ration de fin de tarissement est déjà adaptée pour diminuer le risque de fièvre de lait. Une étude réalisée par Melendez et ses collègues en 2002 a évalué l'impact d'une supplémentation en calcium par voie orale (VO) au vêlage sur la calcémie. Les animaux étudiés recevaient aussi une ration à BACA faible en fin de tarissement. Les auteurs ont montré une absence de différence significative entre les valeurs de calcémie des groupes ayant reçu une supplémentation en calcium par rapport au groupe témoin n'ayant pas été supplémenté. Ces résultats semblent indiquer que l'administration prophylactique de calcium par voie orale ne serait pas nécessaire pour des troupeaux où la gestion de la ration de tarissement est adéquate.

Bilan :

La prévention des hypocalcémies passe par une bonne gestion de la ration distribuée aux vaches en fin de tarissement. Le premier levier nutritionnel est la maîtrise des apports en Ca, P et Mg afin de stimuler une bonne mise en place des mécanismes de l'homéostasie calcique. Pour prévenir le risque de fièvre de lait, la quantité de calcium ne doit pas dépasser 65g/j par animal, l'apport en phosphore ne doit pas excéder les 40g/jr et par animal et quant au magnésium, il est conseillé d'apporter au moins 35g/jr et par animal selon les recommandations INRA 2018.

Un autre levier de prévention des hypocalcémies est la maîtrise du BACA de la ration qui est utilisé lorsque la ration apporte des minéraux en quantité élevée avec des teneurs en calcium et en potassium proche des doses maximales conseillées. Afin de maîtriser le BACA d'une ration il est conseillé de limiter les aliments riches en potassium au profit d'aliments plus pauvres mais cela n'est pas toujours possible. L'utilisation de sels anioniques tels que le chlorure de magnésium est alors une bonne alternative pour faire baisser le BACA. Il est conseillé de commencer à distribuer la ration à BACA faible dès trois semaines avant la mise-bas. Une ingestion de cette ration pendant une période plus longue pourrait avoir des effets délétères sur les réserves en calcium de l'organisme. Les recommandations INRA 2018 conseillent de ne pas dépasser la valeur de 170mEq/kg de MS pour le BACA d'une ration de fin de tarissement.

Enfin l'administration de calcium par voie orale en post-partum est une pratique largement utilisée par les éleveurs. Il est recommandé de réaliser deux administrations : au moment du vêlage et 12 à 24h après. Chez des animaux les plus à risque d'hypocalcémie (vaches âgées, hautes productrices) cette pratique trouve son intérêt. En revanche son utilisation généralisée et systématique est discutable surtout si elles reçoivent déjà une ration de tarissement adaptée pour lutter contre les hypocalcémies.

E. Traitement des hypocalcémies

a. Hypocalcémies subcliniques

Pour ce qui est du traitement des hypocalcémies subcliniques ou des hypocalcémies cliniques en tout début d'évolution (animaux encore debout, très peu de signes cliniques), il semblerait que l'apport de calcium par voie orale soit la méthode de choix. La diffusion du calcium à travers la paroi du tube digestif vers le sang se fait en 30 minutes environ et induit une augmentation de la calcémie qui dure en moyenne 4 à 6 heures ce qui serait suffisant pour traiter ces types d'hypocalcémie (Oetzel 2013). La voie intraveineuse (IV) est déconseillée dans ces cas-là car elle induirait une augmentation trop rapide et importante de la calcémie avec un risque de toxicité pour l'animal dont la calcémie n'est pas encore trop basse.

b. Hypocalcémies cliniques

La voie IV est la voie la plus rapide pour restaurer la calcémie chez une vache. Cette rapidité en fait le traitement de choix lors d'une hypocalcémie clinique, surtout si la vache est déjà en décubitus. Le gluconate et le borogluconate de calcium sont les formes les plus utilisées par voie IV actuellement. Elles ont remplacé les solutions de chlorure de calcium 10% qui, bien qu'efficaces, pouvaient causer des dégâts tissulaires sévères en cas d'administration périveineuse accidentelle (Goff 1999).

Cette voie d'administration présente tout de même des inconvénients notables. En cas d'administration trop rapide de la solution IV, les concentrations plasmatiques de calcium peuvent devenir excessivement élevées et causer une arythmie fatale. L'administration d'une solution de calcium par voie IV n'est pas recommandée pour des vaches en hypocalcémie subclinique ou dans les premières phases d'une hypocalcémie clinique (vache encore debout) également à cause du risque d'hypercalcémie. De plus, après l'administration IV de calcium, un effet rebond peut être observé avec une baisse importante de la calcémie et une rechute pouvant survenir dans les 12 à 36h après l'administration (Curtis et al. 1978). En raison de cet effet rebond, l'administration prophylactique de calcium par voie IV après le vêlage n'est pas recommandée car elle pourrait provoquer l'inverse de l'effet escompté, en freinant les mécanismes de l'homéostasie calcique.

Bilan sur l'hypocalcémie :

L'hypocalcémie est une maladie du post-partum dont l'incidence n'est pas négligeable chez les vaches laitières. C'est surtout sous sa forme subclinique qu'elle est la plus fréquente car elle toucherait en moyenne un quart des vaches d'un troupeau. Bien que la gravité de la forme clinique soit plus importante, toutes les hypocalcémies, cliniques comme subcliniques, ont un impact sur l'immunité des vaches et augmentent le risque de survenue d'autres maladies qui peuvent compromettre la santé et la productivité des animaux. La maîtrise de cette maladie même sous sa forme subclinique est donc un enjeu important dans les troupeaux laitiers.

L'éleveur appelle le vétérinaire pour les cas graves, les fièvres de lait, mais celles-ci ne sont que la partie émergée du problème. En effet l'hypocalcémie est une maladie avec des facteurs de risque nutritionnels, la ration distribuée au tarissement et ses caractéristiques minérales et ioniques ont une influence sur la mise en place de la maladie. Un problème récurrent de fièvres de lait dans un élevage cache bien souvent un problème plus profond de conduite d'élevage. Il est important que le vétérinaire sache identifier les éléments dans la conduite d'un troupeau qui favorisent les hypocalcémies pour pouvoir les modifier et prévenir la maladie.

C'est pour l'ensemble de ces raisons nous avons choisi de réaliser un exercice pédagogique sur la fièvre de lait qui mette en situation les élèves vétérinaires face à un cas concret pour tenter de reprendre le raisonnement clinique ainsi que les étapes du raisonnement collectif face à ce type de problème.

II. Fonctionnement de l'apprentissage en lien avec les « jeux sérieux »

A. Jeux sérieux : définition et origine

a. Définition

Les jeux sérieux ou « serious games » en anglais sont des activités dont l'objectif est « à la fois de combiner des aspects sérieux tels que [...] l'enseignement, l'apprentissage, la communication ou l'information, avec des ressorts ludiques » (Alvarez 2007). Cette définition met en exergue le fait que les jeux sérieux détournent les mécanismes ludiques à des fins utilitaires. Le domaine des jeux sérieux est très vaste et englobe toutes les formes de jeux (jeux de société, jeux de rôle, jeux vidéos) qui s'écartent du seul divertissement et revêtent un aspect sérieux ou utilitaire.

b. Origine des Jeux Sérieux

L'oxymore « jeu sérieux » est utilisé en Italie pendant la renaissance sous la forme de « serio ludere » traduit littéralement par « jouer sérieusement ». Ces termes renvoyaient au fait d'utiliser l'humour pour faire passer des notions sérieuses. Mais les termes de « serious games » et le concept moderne de jeux sérieux ont été évoqués pour la première fois par le chercheur américain Clark Abt en 1970 dans son ouvrage éponyme *Serious games*. Le livre traite avant tout de l'utilisation d'un jeu de simulation par les officiers de l'armée Américaine pour étudier le conflit de la Guerre Froide mais l'auteur y donne également des idées de jeux de rôle ou de plateau destinés à une utilisation dans le cadre scolaire. Ce n'est qu'en 2002 que l'intérêt pour ces jeux explose avec notamment la diffusion du jeu *America's army* développé pour le compte de l'armée américaine dans le but de recruter les meilleurs joueurs (Alvarez 2007). Puis petit à petit ces jeux sont repris dans le domaine du militantisme, du marketing et de l'enseignement en prenant de multiples formes : jeux vidéo, jeux de société, jeux de rôle etc.

B. Théories du fonctionnement de l'apprentissage en lien avec les jeux sérieux

a. Les théories de l'apprentissage

Les jeux sérieux s'inscrivent dans le courant constructiviste, une théorie de l'apprentissage qui a été élaborée par le biologiste et psychologue Jean Piaget en 1964. Selon

cette théorie de l'apprentissage, chaque individu doit construire sa propre connaissance du réel et c'est par l'expérience, l'interaction de l'individu avec son environnement, que cette construction a lieu. Cette théorie est en opposition avec la théorie cognitiviste selon laquelle l'apprentissage est basé sur un transfert de connaissances descendant, c'est-à-dire allant du détenteur du savoir vers l'apprenant. La théorie cognitiviste illustre un apprentissage plutôt passif, souvent basé sur du par cœur alors que le constructivisme prône un apprentissage actif dans lequel la place de l'expérience joue un rôle important.

De ces théories constructivistes découle la théorie de l'apprentissage expérientiel élaborée par David Kolb en 1984 qui met en avant l'importance de combiner l'expérience et la théorie, la réflexion et l'action pour acquérir des connaissances. Selon Kolb « les connaissances sont créées par transformation des expériences vécues » et l'acquisition de nouvelles connaissances se fait via un cycle d'apprentissage en 4 étapes (Kolb 1984) :

- Réalisation d'une expérience concrète
- Observation réfléchie
- Conceptualisation abstraite (théories)
- Expérimentation active des théories élaborées

Les jeux sérieux s'inscrivent parfaitement dans ce courant car ils regroupent la plupart de ces étapes de l'apprentissage en une seule expérience concrète ce qui en fait un moyen d'apprentissage intéressant.

b. Les particularités de l'apprentissage chez l'apprenant adulte

L'enseignement de la médecine vétérinaire s'adresse à un public composé d'individus entrant dans l'âge adulte. Cela stipule que ces individus sont plus indépendants et possèdent des styles d'apprentissage différents. Au fur et à mesure de leur formation ils développent une certaine autonomie de raisonnement et d'apprentissage mais la transition du statut d'apprenant passif vers une gestion personnelle et autonome de ses apprentissages est plus ou moins avancée selon l'individu et la formation antérieure qu'il a suivie. Afin de s'adapter à cette diversité, l'utilisation de méthodes d'enseignement variées est nécessaire. La combinaison de plusieurs méthodes comme les cours magistraux, les séances de travaux dirigés, les simulateurs et les jeux sérieux interactifs est intéressante pour permettre à chaque élève d'apprendre dans un contexte qui lui correspond (Horii 2007).

De plus, les adultes préfèrent apprendre par expérience (Mossop et al, 2013). Face à ce constat l'utilisation de simulateurs ou de jeux sérieux semblent être des méthodes intéressantes à mettre en place pour l'apprentissage des adultes.

C. L'Escape game et ses avantages en tant que jeu sérieux

a. Définition de l'Escape game

Un *Escape game* ou « jeu d'évasion » en français est un jeu dont le cœur est la notion de délivrance. Les joueurs sont enfermés dans une pièce ou un espace virtuel donné avec un décor, une ambiance et un scénario à l'appui et doivent résoudre des énigmes, collecter des indices et débloquer des mécanismes pour s'en échapper dans un temps limité (Petit et al, 2019). Mais la forme physique originelle dans laquelle les joueurs sont enfermés dans une pièce et doivent en sortir n'est pas la seule forme existante d'*Escape game*, des jeux de carte ou des jeux numériques peuvent être assimilés à des jeux d'évasion lorsque leur but est la résolution d'énigmes permettant de débloquer une situation initiale ou de s'échapper d'un endroit fictif.

Les *Escape game* physiques sont les premiers à avoir vu le jour en 2007 au Japon. Ils s'inspirent à l'origine de jeux vidéos au cours desquels les joueurs devaient s'échapper d'une pièce virtuelle en trouvant les objets cachés dans le décor. Ils se sont progressivement exportés dans le monde entier, arrivant aux Etats-Unis dans les années 2012 puis en Europe dans la foulée. C'est à partir de 2017 qu'on les voit apparaître sous forme de jeux pédagogiques dans le milieu de la santé (Chabrier et al. 2019).

b. Intérêt des *Escape games* pour accompagner les apprentissages

i. La mise en situation et l'apprentissage par l'expérience

L'un des avantages de ce type de jeu sérieux est qu'il permet de mettre les étudiants en immersion à l'aide d'un scénario cohérent. La création d'une ambiance de jeu permet de contextualiser les apprentissages. Cela permet un certain ancrage dans une situation réelle qui n'est pas permis par des exercices classiques de type question-réponse et qui, chez des étudiants plus avancés dans le cursus vétérinaire (4^e ou 5^e année d'étude à l'école), peut être intéressant pour tendre vers un apprentissage de type actif.

ii. Travail en groupe

L'*Escape game* se joue généralement à plusieurs bien que des jeux de société de type *Escape cards* ou des jeux numériques d'évasion puissent se jouer seul. Ce jeu en groupe

permet une résolution collaborative des énigmes mettant en place un échange entre les étudiants. Ainsi les connaissances sont mises en commun et les individus peuvent s'inspirer des raisonnements de leurs camarades. Les apprenants aux connaissances les plus fragiles peuvent se reposer sur leurs partenaires et apprendre de l'expérience sans qu'elle ne soit pour autant désagréable. De même les étudiants les moins habitués au principe d'*Escape game* peuvent se reposer sur leurs camarades ayant plus d'expérience dans le domaine.

iii. Influence sur l'apprentissage

L'influence de ce type de jeux sérieux sur l'apprentissage a été de plus en plus étudiée au cours des dernières années en raison de leur essor dans le domaine pédagogique. La revue de Veldkamp et ses collègues parue en 2020 est une des dernières études cherchant à étudier l'impact et les caractéristiques de plusieurs *Escape games* à destination d'étudiants du secondaire ou en études supérieures. Leurs recherches montrent que si la plupart des étudiants interrogés dans le cadre de ces jeux sérieux disent avoir l'impression que le format des *Escape game* les aide à atteindre les objectifs d'apprentissage, très peu d'études évaluent à l'aide de test pré et post-jeu les connaissances réellement acquises par les étudiants. La seule étude ayant réalisé ces tests traite d'un *Escape game* réalisé dans le cadre d'un cours d'épidémiologie dispensé à des élèves en troisième année d'étude de Pharmacie à Lexington aux Etats-Unis (Cotner et al. 2018). Les résultats montrent que les étudiants ayant participé à l'*Escape game* obtiennent de meilleurs résultats au test post-jeu que les étudiants ayant assisté à une séance « classique ». Cependant l'effectif sur lequel se base l'étude est faible (19 étudiants), ces résultats sont donc à considérer avec précaution.

Bilan :

L'*Escape game* est un concept de plus en plus utilisé pour la conception de jeux sérieux à la visée d'étudiants. Son côté immersif permet une mise en situation des étudiants et la possibilité de jouer en équipe permet aux étudiants de mettre en commun leurs connaissances et de maximiser leurs apprentissages. Bien que l'impact réel de ce format d'exercice sur les apprentissages soit encore flou, ses effets bénéfiques sur la motivation des apprenants sont avérés. De plus, en plus de proposer une variante originale aux schémas classiques de cours cet apprentissage par le jeu peut aussi contribuer à rendre l'apprentissage agréable et à stimuler la curiosité des élèves leur donnant envie d'approfondir le sujet de leur côté.

D. Principes de conception d'un *Escape-game* pédagogique

a. Le flow, un objectif à atteindre lors de la réalisation d'un jeu pédagogique

Le *flow* est un concept mis au point par le psychologue Csíkszentmihályi en 1990 et qui désigne une impression « d'expérience optimale » ressentie lorsqu'un joueur joue à un jeu dans lequel il est profondément absorbé (Csikszentmihalyi 1990).

Le joueur dans un état de flow fait l'expérience des symptômes suivants :

- Une attention focalisée et une perte de conscience du soi
- La sensation d'exercer un contrôle : il y a fusion entre action et conscience de cette action
- Une déformation du temps : l'individu peut se consacrer pleinement à sa tâche pendant un temps illimité

Toujours selon Csíkszentmihályi, pour atteindre un état de flow chez le joueur le jeu doit remplir les critères suivants :

- Des consignes et des objectifs explicites : le joueur doit savoir ce qui est attendu de lui et quels objectifs il doit atteindre
- Un feedback immédiat : le joueur doit prendre plaisir à participer à l'activité et percevoir simultanément les difficultés auxquelles il est confronté et la manière de les surmonter, l'expérience devient sa propre récompense
- Un degré de difficulté adapté aux compétences du joueur : c'est un équilibre fragile et en cas d'inadéquation des tâches aux compétences l'apathie, l'anxiété ou l'ennui peuvent se manifester

Lorsque ces éléments sont réunis le joueur n'a pas l'impression de fournir d'efforts au cours du jeu et la sensation laissée par l'expérience est agréable. En atteignant l'état de *flow* les individus fonctionnent à pleine capacité et l'expérience devient sa propre récompense. L'attitude positive du joueur pendant le jeu favorise les apprentissages car elle rend les individus plus aptes à assimiler les informations.

Dans le cadre des jeux sérieux et de l'apprentissage par le jeu le concept de *flow* est indispensable à connaître pour permettre l'engagement et l'immersion des joueurs. La recherche de cet état d'absorption profonde dans lequel les élèves peuvent acquérir de

nouvelles compétences sans éprouver d'anxiété ou d'apathie est un objectif à se fixer lors de la conception d'un jeu sérieux.

b. Phases de conception d'un escape game

i. Cibler le public auquel on s'adresse

Lors de l'élaboration d'un jeu pédagogique il est important de définir en amont quel public sera visé par le jeu. En effet, tous les apprenants n'ont pas le même niveau de connaissances ou de réflexion et il faut en tenir compte pour créer le jeu le plus adapté possible. Cela permettra de fixer les objectifs d'apprentissage liés au jeu mais aussi de définir les contraintes autour de la réalisation de l'*Escape game* (Boivin 2021). De plus, il faut fixer en amont le nombre de participants qui pourront jouer au jeu en même temps. En effet, le nombre de participants conditionne nombre d'éléments comme la structure de l'escape game, le matériel utilisable et le temps imparti. Plus le nombre de participants est élevé plus la communication est difficile et la fluidité du jeu peut en être impactée. Devant des gros groupes d'étudiants il est possible de concevoir un scénario faisant intervenir plusieurs équipes concurrentes par exemple.

ii. Cibler les objectifs du jeu

Dans le cadre d'un escape game pédagogique il faut cibler ce que l'on cherche à obtenir grâce au jeu. Les jeux pédagogiques peuvent servir à faire découvrir de nouveaux concepts, faire réviser des notions ou permettre de mettre des connaissances en application. Il est possible de créer un escape game mixte et de mélanger des phases de révision avec des phases de découverte ou de mise en application au sein d'un même jeu. Les objectifs du jeu vont conditionner la structure de l'escape game. Après avoir ciblé le thème à aborder et l'objectif global du jeu il est intéressant de détailler les différentes notions à aborder au cours du jeu et de les répartir sous forme de différentes énigmes. L'idéal est de respecter le principe qui consiste à n'aborder qu'une notion par énigme pour faciliter la compréhension des étudiants (Guigon et al. 2018).

iii. Elaborer le scénario

Le scénario est le fil conducteur de l'*Escape game*, il permet de lier les énigmes entre elles et contribue à favoriser l'immersion des participants dans le jeu. Il faut fixer le début et la fin du scénario dès les prémices de la création du jeu pour ensuite pouvoir organiser les énigmes et le jeu de sorte à relier ces deux points. Le scénario doit permettre de se plonger dans l'histoire et de motiver le joueur. Un scénario original peut permettre d'augmenter la

motivation du joueur en le dépayasant et en le sortant d'un contexte classique d'apprentissage. Un scénario réaliste, en lien avec la thématique abordée par l'*Escape game*, peut quant à lui permettre une meilleure mise en situation de l'étudiant et peut être plus adapté dans le cadre d'un jeu qui a pour but la mise en application de notions de cours.

iv. Fixer la durée de l'activité

Il faut fixer à l'avance le temps de jeu imparti pour pouvoir ensuite créer les énigmes et les organiser de façon à respecter cette contrainte. Généralement il est recommandé de limiter le temps de jeu à 45 minutes à une heure, au-delà l'attention des joueurs risque de diminuer et le jeu perd de son intérêt et peut devenir pénible. La limite de temps peut aussi servir de source de motivation pour les joueurs, résoudre le jeu à temps devient un objectif.

v. Travail sur les énigmes et leur agencement

1. Création des énigmes

Le site internet « S'CAPE » qui propose une aide à la création d'*Escape games* pédagogiques aborde les caractéristiques d'une énigme et donne quelques conseils pour la créations d'énigmes (*S'CAPE-Créer SON énigme*). Selon les auteurs, une énigme peut être assimilée à « une question ouverte posée à l'élève sans consignes précises ». Les joueurs sont confrontés à un casse-tête qu'ils résolvent par essai-erreur, plusieurs essais doivent donc être possibles pour les énigmes proposées. Même si on ne donne pas de consignes il faut que l'objectif de l'énigme soit clair et que joueur sache ce qu'il doit trouver (un code, un mot de passe, un schéma, etc.). L'énigme doit également être utile, l'information qu'elle permet d'obtenir ne doit pas pouvoir être trouvée ailleurs sinon elle perd son intérêt. Le degré de difficulté des énigmes doit être adapté au public visé par le jeu et le temps de résolution de l'énigme ne doit pas être trop long sous peine de décourager le joueur.

Dans le cas particulier d'un *Escape game* pédagogique il est intéressant que les énigmes fassent intervenir des notions du cours pour conserver une cohérence avec le thème abordé. Il existe plusieurs types d'énigmes possibles et il est recommandé de diversifier les énigmes pour éviter de générer un sentiment de lassitude chez le joueur.

2. Différents types d'énigmes possibles

Les énigmes peuvent prendre forme selon différents modèles. Selon Patrice Nadam il est possible de les organiser selon cinq grandes catégories, catégories qu'il expose dans un article publié sur le site S'CAPE s'intitulant « *Vers une typologie des énigmes* » (S'CAPE-*Vers une typologie des énigmes*).



FIGURE 5 : LES DIFFERENTS TYPES D'ENIGMES SELON PATRICE NADAM (ISSU DE LA PAGE « S'CAPE : VERS UNE TYPOLOGIE DES ENIGMES »)

Les énigmes avec codage sont des énigmes classiques dans les *Escape games*. Il existe plusieurs types de codages :

- les codages par ordonnancement : le classement des éléments d'une liste (chiffres ou lettres) fournit un mot de passe ou un code chiffré
- les codages par substitution : une clé de décodage est nécessaire pour remplacer les éléments du code et faire apparaître un mot.

Les énigmes avec superposition sont toutes les énigmes qui nécessitent de placer des éléments les uns sur les autres pour laisser apparaître un message soit par transparence soit grâce à l'agencement d'éléments. Un exemple simple est celui d'une énigme consistant en la

superposition de plusieurs images entre elles qui se complètent et laissent apparaître un mot ou un message.

Les énigmes avec manipulation sont des énigmes utilisables uniquement dans le cadre d'*Escape games* physiques car l'obtention du résultat se fait par la manipulation d'objets. C'est par exemple la réalisation d'un puzzle qui, lorsqu'il est fini, permet de révéler un document ou un message.

Les énigmes avec observation sont des énigmes qui font appel au sens de l'observation du joueur pour repérer des différences entre des images par exemple ou des incohérences, des fautes dans un texte.

Les énigmes avec des jeux de logique sont généralement des énigmes faciles à mettre en place. Elles comprennent par exemple les rébus, les mots-mêlés, les devinettes et autres jeux de mots. Elles sont faciles à comprendre et donc utilisables pour des joueurs qui n'ont pas l'habitude de résoudre des énigmes.

3. Différents enchaînements d'énigmes possibles

On parle de parcours pour qualifier l'enchaînement des énigmes au sein d'un *Escape game*. Le site internet S'CAPE propose une page intitulée « *S'CAPE-Oser franchir la ligne* » qui aborde les différents parcours de jeu possibles et leurs avantages et inconvénients (Figure 8).

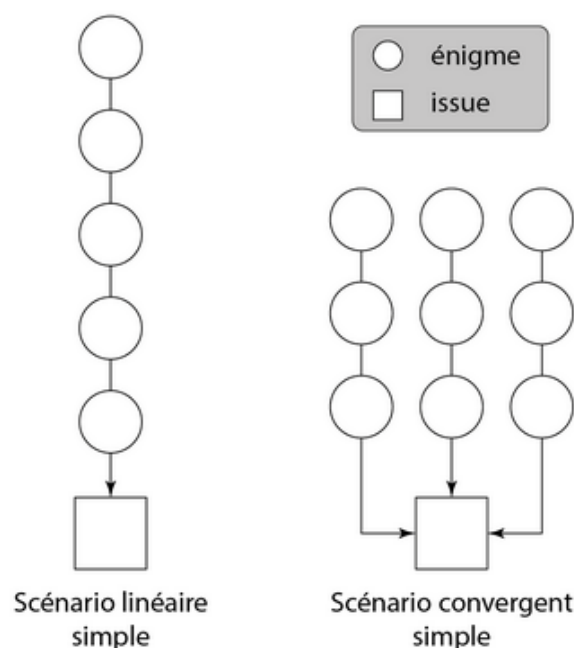


FIGURE 6 : SCHEMA DES DIFFERENTS PARCOURS POSSIBLES POUR UN ESCAPE GAME (ISSU DE LA PAGE « S'CAPE : OSER FRANCHIR LA LIGNE »)

Le parcours convergent consiste en un agencement d'énigmes qui peuvent être résolues dans l'ordre choisi par les joueurs, la mise en commun des résultats de toutes les énigmes permet de décoder l'énigme finale. Sa mise en place peut être complexe mais il garantit une certaine souplesse aux joueurs et une fluidité dans le jeu. Les joueurs peuvent se répartir les énigmes à résoudre, permettant ainsi de faire jouer un grand nombre de personnes en même temps.

Le parcours linéaire est un parcours où les énigmes s'enchaînent, la résolution de l'énigme précédente donnant accès à la suivante. Sa conception est simple mais il est potentiellement source de blocage et de frustration car on ne peut pas mettre de côté une énigme pour en résoudre une autre. Ce parcours n'est utilisable que si on envisage un nombre restreint de joueurs (trois ou quatre maximum), il n'est pas adapté pour les gros groupes. En revanche, l'avantage d'un tel parcours est qu'il permet à tous les joueurs de résoudre toutes les énigmes et il favorise l'entraide au sein du groupe tout au long du parcours.

vi. Objets et indices cachés

Les moments de fouille sont retrouvés dans beaucoup d'*escape games* et sont utilisés tant pour les jeux physiques que numériques, ce sont souvent des moments appréciés des joueurs. Ils sont presque caractéristiques des *Escapes games* puisqu'à l'origine le concept d'*Escape game* s'inspire de jeux d'évasions virtuels où les indices sont cachés dans les images du décor (cf. partie II.C.a. Définition de l'*Escape game*). Ces jeux de cache-cache sont utilisés dans le cadre de la progression du jeu pour mener d'une énigme à une autre par exemple. Cela favorise l'immersion du joueur et contribue à focaliser son attention tout au long du jeu. Dans le cadre des jeux pédagogiques, cacher des indices à des endroits bien précis peut également servir à attirer l'attention du joueur sur une partie du décor qui peut faire référence à un élément de cours par exemple. On peut aussi se servir de cette méthode pour moduler le temps de jeu et le rallonger s'il est trop court.

vii. Création de l'ambiance du jeu

L'ambiance d'un jeu permet de favoriser l'immersion des joueurs dans le scénario et de susciter chez eux des émotions. On peut ainsi s'en servir pour capter l'attention des joueurs et rendre l'expérience agréable.

Lors d'un *Escape game* sous forme physique on peut notamment se servir d'effets sonores avec par exemple la diffusion d'une musique d'ambiance en lien avec le scénario,

mais aussi d'effets lumineux en jouant sur l'éclairage de la pièce. Lors d'un *Escape game* numérique on peut aussi utiliser des effets sonores et on va jouer sur l'aspect visuel des supports numériques.

c. Tester l'*Escape game*

La phase de test est une phase essentielle dans la réalisation de tout jeu. Elle permet d'identifier les étapes du jeu qui posent problème, les difficultés rencontrées par les joueurs. Dans le cadre de l'*Escape game*, le test du jeu permet d'évaluer si le degré de difficulté des énigmes est adapté au niveau des joueurs, si le jeu est réalisable dans le temps imparti et si l'enchaînement des énigmes est clair et bien mené. Dans le cadre d'un jeu pédagogique cette phase de test permet de voir si les notions abordées sont claires, adaptées au niveau des joueurs et de relever le ressenti des étudiants face à ces apprentissages.

Les modifications qui résulteront de cette phase de test permettront de rendre le jeu plus fluide et plus adapté aux joueurs. Elles pourront se poursuivre après la mise en place du jeu dans le cursus pédagogique, en demandant systématiquement le ressenti des joueurs en fin de jeu à l'oral ou par un questionnaire.

Bilan :

Pour créer un *Escape game* pédagogique il faut avant tout cibler les objectifs à atteindre ainsi que le public qui sera concerné par le jeu. La structure du jeu et des énigmes sera ensuite adaptée pour répondre à ces objectifs d'apprentissage mais aussi pour pallier aux contraintes qui seront établies au préalable (contraintes de temps, de taille du groupe, d'espace ...). Chaque énigme doit être associée à un seul objectif ou à une seule notion de cours pour cadrer les apprentissages et éviter la confusion des élèves. Le parcours de jeu, c'est-à-dire l'agencement des énigmes, devra être adapté en fonction du nombre de joueurs et des objectifs du jeu. La création d'un scénario cohérent, réaliste ou original, couplé à la mise en place d'une ambiance de jeu adaptée contribuera à rendre le jeu immersif et l'expérience agréable pour le joueur ce qui aura une influence sur la qualité de ses apprentissages. Enfin, il ne faut pas oublier de prévoir une phase de test du jeu pour évaluer sa faisabilité et vérifier qu'il permette d'atteindre les objectifs pédagogiques fixés.

III. Elaboration d'un jeu sérieux sur la gestion de la fièvre de lait à l'échelle d'un élevage

A. Organisation de l'enseignement d'alimentation des herbivores à l'ENVT

L'enseignement de l'alimentation et de la nutrition animale à l'ENVT est dispensé en grande majorité au cours des deux premières années de tronc commun. Il comprend le module de *Bromatologie et nutrition des animaux domestiques* dispensé au cours du deuxième semestre de la deuxième année d'étude (A2) et le module *Elevage des herbivores* dispensé au second semestre de la A3 et qui comprend un volet sur l'alimentation. Au cours des années suivantes, notamment en cinquième année, des rotations cliniques en médecine des populations permettent de compléter l'enseignement reçu et d'intégrer l'alimentation dans un contexte plus global notamment lors de visites d'élevage.

a. Enseignement magistral de l'alimentation des herbivores

Les cours magistraux à l'ENVT se déroulent en amphithéâtre, à raison de 4h de cours par après-midi quatre jours par semaine pendant les trois premières années du tronc commun (A2, A3, A4). Chaque enseignant dispose d'une plage de une à deux heures pour présenter un cours à une audience pouvant aller jusqu'à 160 élèves. De manière générale le support de cours est un diaporama ou un photocopié qui est commenté oralement par le professeur.

Dans le cadre du module *Bromatologie et nutrition des animaux domestiques* les étudiants reçoivent en tout 46 heures de cours magistraux. Pendant ces cours sont enseignés les principes généraux de la nutrition animale : la digestion des différents nutriments et leur devenir dans l'organisme, la notion de besoin alimentaire et les liens entre nutrition, santé et productions. Pour ce qui est de la nutrition des herbivores, les aspects botaniques et bromatologiques des principales matières ainsi que l'utilisation des principaux concentrés et ses limites sont aussi abordés en cours magistraux.

Dans le cadre du module *Elevage des herbivores* les étudiants reçoivent 19 heures de cours magistraux sur l'alimentation animale dont 13 heures sont dédiées à l'alimentation des bovins. Sur ces 13 heures de cours, 5 heures sont dédiées à l'alimentation des bovins laitiers. Ce module se base sur les acquis du module de *Bromatologie et nutrition des animaux domestiques* et aborde les particularités de l'alimentation de chaque espèce herbivore (bovins, ovins, caprins et équidés), ainsi que les modalités de la réalisation d'une visite d'élevage,

notamment dans son volet permettant l'étude de la conduite alimentaire. Le but de ces cours est de présenter les principes de bases qui serviront ensuite à la vérification ou à l'élaboration de rations adaptées à chaque espèce herbivore et à chaque type de production (pour les animaux d'élevage). L'alimentation des bovins occupe la majeure partie de cet enseignement magistral.

Au cours de cet enseignement de type magistral l'étudiant a un rôle passif, il reçoit les informations du professeur mais la courte période allouée à chaque cours (1 à 2h par session) et la taille parfois importante de l'audience ne permettent pas une grande interaction entre les élèves et le professeur. Les élèves ont peu de temps pour analyser les informations qui leur sont fournies, y réfléchir et formuler leurs questions. De plus, les cours permettent peu de travailler sur des exemples, ils fournissent le plus souvent la base des connaissances à acquérir, connaissances qui seront ensuite réactivées et mises en application au cours de séances de travaux pratiques (TP) ou travaux dirigés (TD).

b. Enseignement actif de l'alimentation des herbivores

En complément des séances de cours, l'enseignement d'alimentation animale à l'ENVN comprend des sessions de travaux pratiques et de travaux dirigés au sein de chacun des modules de la matière. Les étudiants sont répartis en groupes de 6 à 20 personnes et les séances durent entre 1 et 4 heures. Au cours de ces séances ils réalisent des projets ou résolvent des exercices tout en étant encadrés par un enseignant.

Dans le cadre du module de *Bromatologie et nutrition des animaux domestique*, des séances de travaux tutorés sont prévues, elles totalisent 11 heures de cours. Au cours de ces séances, les étudiants sont amenés à réaliser des présentations sur les différentes matières premières utilisées en alimentation animale, ils présentent également les rations qu'ils ont rapportées des élevages dans lesquels ils se sont rendus lors leur stage VETER (stage en clientèle rurale effectué en A2 et comportant une semaine de stage en élevage). Ces séances permettent aux étudiants de se familiariser avec les différentes matières premières et de discuter de leur utilisation sur le terrain. Des séances de diagnose des différentes plantes alimentaires, de reconnaissance des espèces toxiques ainsi que d'évaluation de la qualité des matières premières sont également proposées, elles représentent en tout 10 heures de cours.

Dans le cadre du module *Elevage des herbivores*, plusieurs séances de travaux dirigés sont destinées à l'apprentissage du calcul de ration. Ces séances représentent en tout 13 heures de cours dont 6 sont uniquement dédiées au calcul de ration pour des bovins laitiers. Une visite

d'un atelier bovin laitier est également organisée sur une demi-journée et permet aux étudiants d'avoir un aperçu du fonctionnement de ce type d'élevage dans sa globalité (alimentation, reproduction, production laitière, logement, etc.).

On parle d'enseignement actif pour définir ces séances car elles demandent à l'élève de la réflexion et un engagement dans ses apprentissages. L'élève ne reçoit plus passivement les informations, il s'appuie sur les informations reçues en cours magistraux pour réaliser des projets, résoudre des problèmes, réagir lors d'une mise en situation. Le dialogue élève/enseignant est favorisé par la taille réduite du groupe et l'interactivité des exercices qui sont proposés. Les exercices proposés en A2 et A3 dans le cadre de ces modules permettent de mettre en pratique les connaissances de base sur la nutrition animale et le calcul de ration. En revanche ces séances ne font pas travailler les étudiants sur des problèmes de médecine collective en lien avec la conduite alimentaire d'un troupeau, ces maladies étant surtout abordées en quatrième année dans le module *Pathologie des ruminants* et lors des visites d'élevages réalisés en cinquième année lors de la rotation clinique en médecine des populations.

- c. Quelle place pour la mise en situation des étudiants et le travail sur des maladies d'origine nutritionnelles ?

La mise en situation se fait surtout au cours de la A5 et A6 dans le cadre de l'enseignement clinique. En cinquième année, les étudiants effectuent une rotation au sein du service de médecine des populations au cours de laquelle ils sont amenés à prendre part à des audits d'élevage. Les étudiants participent à la rédaction du rapport d'audit et sont parfois amenés à vérifier/calculer des rations dans ce cadre-là. Cependant, en pratique les étudiants n'ont pas tous l'opportunité de travailler sur des rations car ils ne visitent pas tous les mêmes élevages et les problématiques rencontrées sont aléatoires et ne concernent pas toutes le volet alimentation de l'élevage.

En sixième année, les étudiants qui choisissent de réaliser leur année d'approfondissement en pathologie des ruminants à l'école vétérinaire (ou bien une ou deux de leurs optionnelles au sein du même service) ont l'opportunité de participer une fois de plus aux visites d'élevage réalisées par le service. Dans le cadre de ces visites les étudiants ont l'occasion de s'entraîner sur des cas concrets de rations dans le cadre de troubles nutritionnels et d'utiliser les logiciels de calculs et de vérification des rations. Cependant il existe encore une grande variabilité des opportunités qui se présentent à chaque étudiant et les étudiants

choisissant de réaliser leur année d'approfondissement en tutorat n'ont pas l'occasion de travailler sur ces cas pratiques dans le cadre de l'enseignement à l'école.

B. Choix de la thématique du jeu

a. Choix d'un exercice basé sur un cas clinique de maladie d'origine nutritionnelle à l'échelle d'un troupeau

Au cours du cursus vétérinaire les opportunités pour les étudiants de mettre en pratique leurs connaissances en alimentation des ruminants existent mais les occasions peuvent être aléatoires. Les exercices réalisés en troisième année lors des séances de travaux dirigés permettent aux étudiants de s'entraîner au calcul ou à la vérification de rations mais ne traitent pas de cas concrets de maladies liées à l'alimentation. Les troubles digestifs et métaboliques sont abordés au cours du module *Pathologie des ruminants* reçu en quatrième année et les audits d'élevages réalisés en cinquième (voire sixième année pour certains) permettent parfois de les illustrer. Afin d'homogénéiser les apprentissages et de donner l'occasion à tous les étudiants de travailler sur ces cas pathologiques nous avons eu l'idée de les aborder sous forme d'exercices basés sur des cas de médecine collective réellement rencontrés sur le terrain, le but étant de favoriser au maximum la mise en situation de l'étudiant.

b. Choix de l'hypocalcémie puerpérale chez la vache laitière comme sujet d'exercice

Le choix s'est porté sur l'hypocalcémie puerpérale chez la vache laitière car c'est une maladie à composante nutritionnelle qu'il n'est pas rare de rencontrer sur le terrain et qui a un impact non négligeable sur les élevages. En effet, si l'incidence de la forme clinique de la maladie est faible, la forme subclinique pourrait toucher quant à elle entre un quart et la moitié des animaux d'un troupeau. De plus, les hypocalcémies ont un impact sur l'immunité des animaux et semblent favoriser certaines affections du post-partum. La mise en évidence de liens entre hypocalcémie subclinique et incidence accrue de rétention placentaire et d'infections utérines prouve l'impact qu'a cette maladie et ce même sous sa forme subclinique. Enfin, le coût d'un cas de fièvre de lait n'est pas anodin et représenterait entre 256 et 334 € par animal. Le coût des hypocalcémies subcliniques n'est pas négligeable non plus et représente environ 125 € par cas. A l'échelle d'un élevage ce sont les hypocalcémies subcliniques qui semblent pénaliser le plus les éleveurs financièrement en raison d'un taux d'incidence plus élevé (cf. Partie I.3. Impact des hypocalcémies à l'échelle du troupeau).

L'hypocalcémie puerperale présente également un intérêt pédagogique indéniable. La plupart des étudiants ont déjà été confronté à la forme clinique de la maladie lors de leurs stages et la clinique de la fièvre de lait possède un fort aspect didactique avec un diagnostic différentiel intéressant à explorer. En revanche, en stage les étudiants abordent peu le volet alimentaire de la maladie et sa gestion à l'échelle d'un troupeau. Pour l'ensemble de ces raisons il nous a semblé pertinent de réaliser un exercice sur le sujet de la fièvre de lait qui permettait aux étudiants de s'entraîner et de remobiliser leurs connaissances en alimentation des vaches laitières.

C. Objectifs du jeu et choix du public cible

Ce jeu sérieux se veut être un outil de révision et de mise en application des acquis issus des modules de *Pathologie des ruminants*, *Bromatologie et nutrition animale* et *Elevage des herbivores* dans son volet alimentation. Il vise à mettre en situation l'étudiant pour l'amener au diagnostic d'un problème de conduite du troupeau au niveau alimentaire et à sa gestion. Le public cible est donc les promotions d'étudiants en A4, A5 et A6 car ils ont reçu les enseignements théoriques correspondants.

L'objectif était de développer un jeu à utiliser dans le cadre de séances de révision ou de travail en autonomie. Le but était de rendre le jeu accessible sur une plateforme en ligne dans la salle de simulation de l'école pour que les étudiants qui le souhaitent puissent y jouer en autonomie.

D. Choix du format du jeu et justification

L'élaboration de cet exercice sous la forme d'un jeu sérieux était avant tout destiné à accroître la motivation des étudiants. Cet exercice étant destiné à être mis à disposition en libre accès et à être réalisé en autonomie, il fallait qu'il soit attractif et intrigant pour que les étudiants aient envie de l'utiliser. Un jeu sérieux possède également l'avantage de permettre un apprentissage actif, une implication de l'apprenant dans la tâche qu'il entreprend ce qui est particulièrement appréciable pour un exercice réalisé en autonomie.

Le format de jeu qui a été choisi est un format s'inspirant du principe de l'*Escape-game*. Il comporte un scénario, le fil conducteur du jeu, une succession d'énigmes à résoudre et des phases de quizz permettant la révision des notions de cours et la réflexion sur le cas clinique. En choisissant ce format l'objectif était double : capter l'attention du joueur grâce à l'originalité du format, créer une expérience agréable grâce à la dimension ludique apportée

par les énigmes, et permettre l'immersion de l'étudiant dans l'exercice grâce au scénario créée pour ce genre de jeu.

La particularité de ce jeu était qu'il devait être réalisable en autonomie ce qui rendait difficile la création d'un *Escape-game* sous forme physique qui nécessite la présence d'un maître du jeu et une organisation particulière avec la mise en place de matériel dans une salle dédiée. Nous avons donc opté pour le format *Escape card* qui est un type d'*Escape game* conçu sous forme de jeu de société. Dans ce format les joueurs doivent toujours progresser dans le jeu en résolvant des énigmes mais le tout se déroule à l'aide de cartes et d'une application numérique qui fait office de maître du jeu virtuel. Ce format de jeu est compact et réalisable n'importe où pour peu que le joueur ait accès aux cartes et à l'application. Il garde l'originalité et le caractère ludique et immersif d'un *Escape game* classique tout en s'affranchissant de la complexité d'organisation de ce dernier et de la nécessité de la présence d'un maître du jeu.

E. Contraintes et paramètres du jeu

a. Nombre de participants et durée du jeu

L'un des objectifs était de permettre aux étudiants de pouvoir choisir de jouer seul ou à plusieurs. Ce jeu étant un complément de formation et ayant vocation à être facultatif il nous semblait important qu'un étudiant ne soit pas contraint de trouver des partenaires de jeu pour se former, ce qui aurait pu être un frein à l'utilisation du jeu. Le fait de permettre aux étudiants de jouer en groupe était également une volonté de notre part car les bénéfices du jeu à plusieurs sont multiples : mise en commun des apprentissages, entraide, émulation, etc.

Afin de ne pas laisser les participants et en accord avec les sources dont nous nous sommes inspirés pour concevoir cet exercice pédagogique nous avons décidé de concevoir un jeu réalisable en moins d'une heure (cf. Partie II.4. Principes de conception d'un escape game pédagogique).

b. Modalités d'accès au jeu et supports utilisables

L'idée lors de la conception du jeu était de pouvoir le mettre à disposition des étudiants dans la salle de simulation de l'ENVT. La salle de simulation, aussi appelée « Simu'Vet », a vu le jour en 2019 et vise à permettre aux étudiants de s'entraîner dans un environnement sécurisé sur des simulateurs en tout genre. La salle comporte des mannequins d'animaux et du matériel de laboratoire permettant de pratiquer divers gestes techniques de

base (prise de sang, frottis sanguin, manœuvres obstétricales, etc.). Elle est également équipée d'ordinateurs laissés en libre accès aux étudiants. L'objectif était donc de réaliser un jeu accessible sur ordinateur, ne nécessitant que peu de temps de mise en place et de rangement et pouvant être réalisé sans la présence d'un formateur.

IV. Présentation du jeu : conception et déroulement

A. Matériel

a. Supports physiques : les cartes

Les cartes sont le seul support physique du jeu. Elles sont intéressantes dans le cadre de notre jeu pédagogique car elles permettent au joueur de voir sa progression : au fur et à mesure de sa progression dans le jeu il retourne des cartes et voit la pile diminuer. Ce support physique permet également d'ancrer le joueur dans le réel, la présence de ces objets à manipuler, observer, assembler est un point que les joueurs semblent apprécier.

Dans notre jeu, nous avons pris le parti d'utiliser les cartes uniquement pour la résolution des énigmes, les phases de révision des notions de cours ou de réflexion sur le cas clinique étant exclusivement réalisées sur les supports numériques sous forme de diaporamas interactifs.

Pour mettre au point les cartes nous nous sommes servis d'images libres de droit ainsi que de modèles fournis par le site *Serious Escape Cards*®. Ce site fournit des conseils et des supports gratuits pour accompagner les enseignants dans la conception de leurs propres jeux de cartes pédagogiques, nous nous sommes inspirés des modèles qu'ils mettaient à disposition sur le site pour élaborer les cartes.

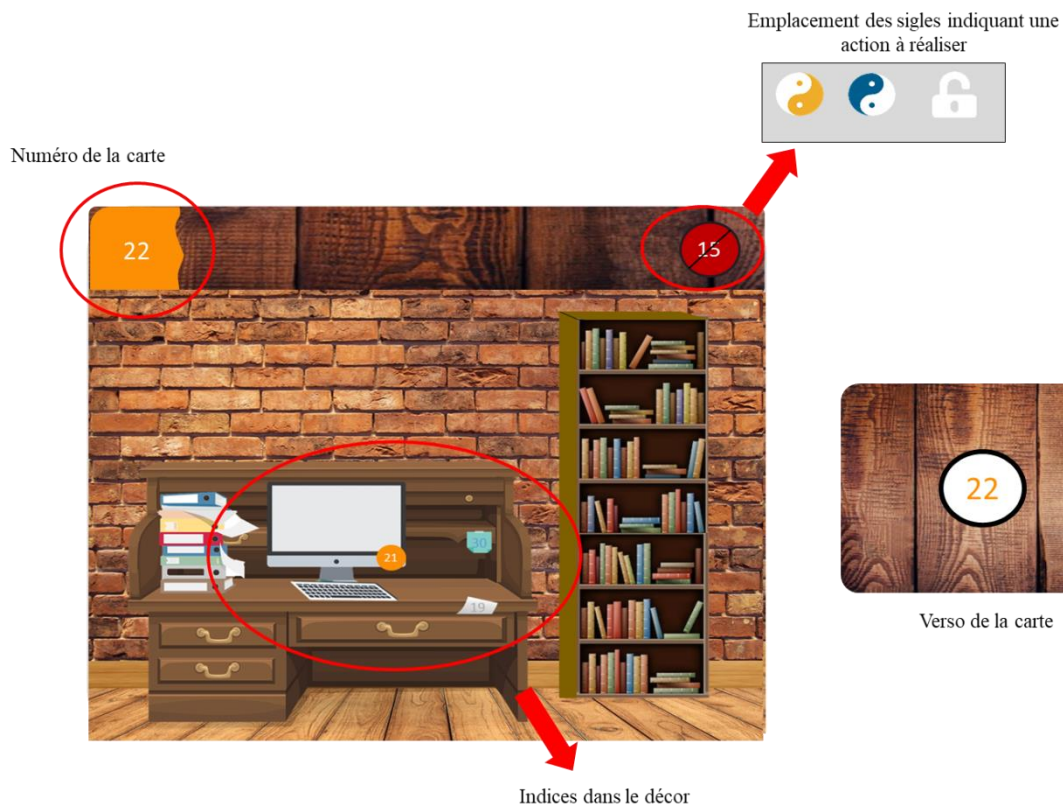


FIGURE 7 : ORGANISATION DU RECTO ET DU VERSO D'UNE CARTE TYPE DU JEU

Dans notre jeu, le recto d'une carte se présente comme suit (Figure 9) :

- un numéro ou une lettre dans le coin en haut à gauche caractérise la carte
- des sigles peuvent être présents dans le coin en haut à droite de la carte, ils indiquent une action à réaliser (défausser une carte, trouver un code, associer deux cartes entre elles, etc.)
- le décor des cartes sert de support aux énigmes, les joueurs doivent y trouver des indices cachés

Le verso de chaque carte comporte seulement le numéro ou la lettre qui la caractérise.

b. Supports numériques

Le jeu est un exercice semi-vituel avec une interface numérique permettant d'interagir avec les cartes. La partie virtuelle du jeu est accessible via une application gratuite qui a été conçue spécialement pour les *Escape cards* pédagogiques par la société *Serious escape cards®*.

Dans notre jeu les joueurs se servent de l'application pour accéder aux phases de jeu sur l'ordinateur en y entrant le résultat des énigmes qu'ils déchiffrent (code, mot de passe...). Chaque énigme résolue mène à une image ou un diaporama interactif permettant au joueur de

réviser des notions de cours, de répondre à des quizz et d'avancer dans la résolution de l'exercice en cours.

i. L'application de *Serious escape cards*®

Cette application est une application en ligne développée par la société *Serious escape cards*®. Elle est mise à disposition du public gratuitement et offre une interface numérique personnalisable et facile d'utilisation dans le cadre de jeux pédagogiques (Figure 10).



FIGURE 8 : INTERFACE DE L'APPLICATION DE *SERIOUS ESCAPE CARDS*®

- (a) Bouton pour ajouter des malus ; (b) Bouton permettant de renseigner des codes ou mots de passe déchiffrés ; (c) Bouton de demande d'indices

Via cette application il est possible de paramétrer un compte à rebours qui se lance au début de la partie. Le scénario est également présenté au joueur sous forme d'un texte, d'une vidéo ou d'une bande son qu'il est possible de créer et d'intégrer dans l'application. Tout au long du jeu le joueur peut demander des indices concernant les énigmes qu'il doit résoudre. Ces indices sont paramétrables dans l'application et peuvent prendre des formes différentes (une image, un texte, un site web, une vidéo, etc.). Chaque indice est relié à un numéro de carte que les joueurs renseignent dans l'application pour y accéder. Il est aussi possible de paramétrer des malus qui feront perdre du temps aux joueurs en cas de réponse fausse. Le joueur doit renseigner les codes trouvés grâce aux cartes dans l'application pour débloquent des nouvelles phases du jeu. Ces nouvelles phases de jeu peuvent prendre la forme de textes qui apparaissent avec de nouveaux indices ou le numéro de nouvelles cartes à retourner, d'une interface numérique ou d'une vidéo, d'une bande son, etc.

L'interface présentée au joueur regroupe toutes ces fonctionnalités sur une même page (Figure 10). Le joueur y accède via un lien internet, ce qui la rend accessible de n'importe quel ordinateur. Cette application fait donc office de maître du jeu et permet aux concepteurs d'*Escape games* de s'affranchir de matériel, les cadenas étant virtuels.

ii. L'outil *Genial.ly*

Le site *Genial.ly* est un outil très souvent utilisé comme support numérique dans le monde de l'éducation. Il permet de réaliser des présentations interactives, des quiz, des infographies. Grâce à un lien internet il est possible d'intégrer des présentations Génial.ly dans l'application *Serious escape cards*®. Nous nous sommes servis de cet outil pour créer des diaporamas interactifs comprenant des quiz et des phases de révision des notions de cours via des images interactives. La figure 11 représente un exemple de diaporama interactif créé via le site *Genial.ly*.

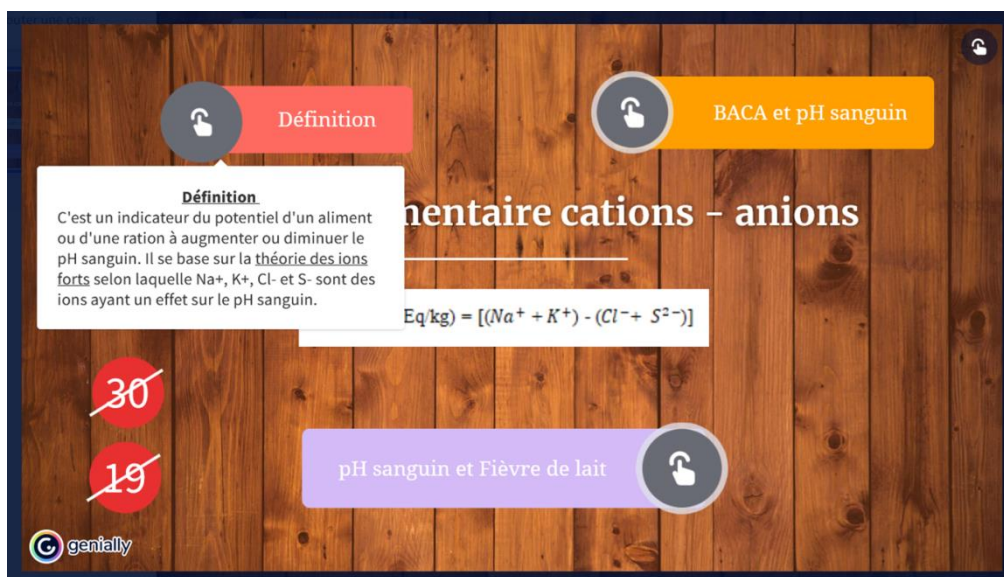


FIGURE 9 : EXEMPLE D'UNE IMAGE INTERACTIVE CREEE VIA LE SITE *GENIAL.LY*

iii. L'outil *Lockee.fr*

Bien que l'application *Serious escape cards*® permette de renseigner des codes nous nous sommes aperçus qu'il était difficile d'utiliser des codes autres que les codes chiffrés. Afin de pouvoir utiliser des mots de passe comme format de code nous avons décidé d'utiliser l'outil *Lockee.fr* et de le coupler à l'application. *Lockee.fr* est un site en ligne gratuit permettant de créer des cadenas virtuels pouvant prendre de nombreuses formes (schémas,

codes, mots de passe...). Ces cadenas, une fois débloqués, peuvent afficher un texte, une image, une vidéo externe, une bande son ou un lien internet.

Nous avons intégré ces cadenas au jeu en les faisant apparaître sur des pages *Genially* que les joueurs peuvent ouvrir en rentrant un numéro de carte. Une fois le cadenas débloqué une autre page *Genially* s'ouvrait pour laisser place à une nouvelle phase de jeu (Figure 12).

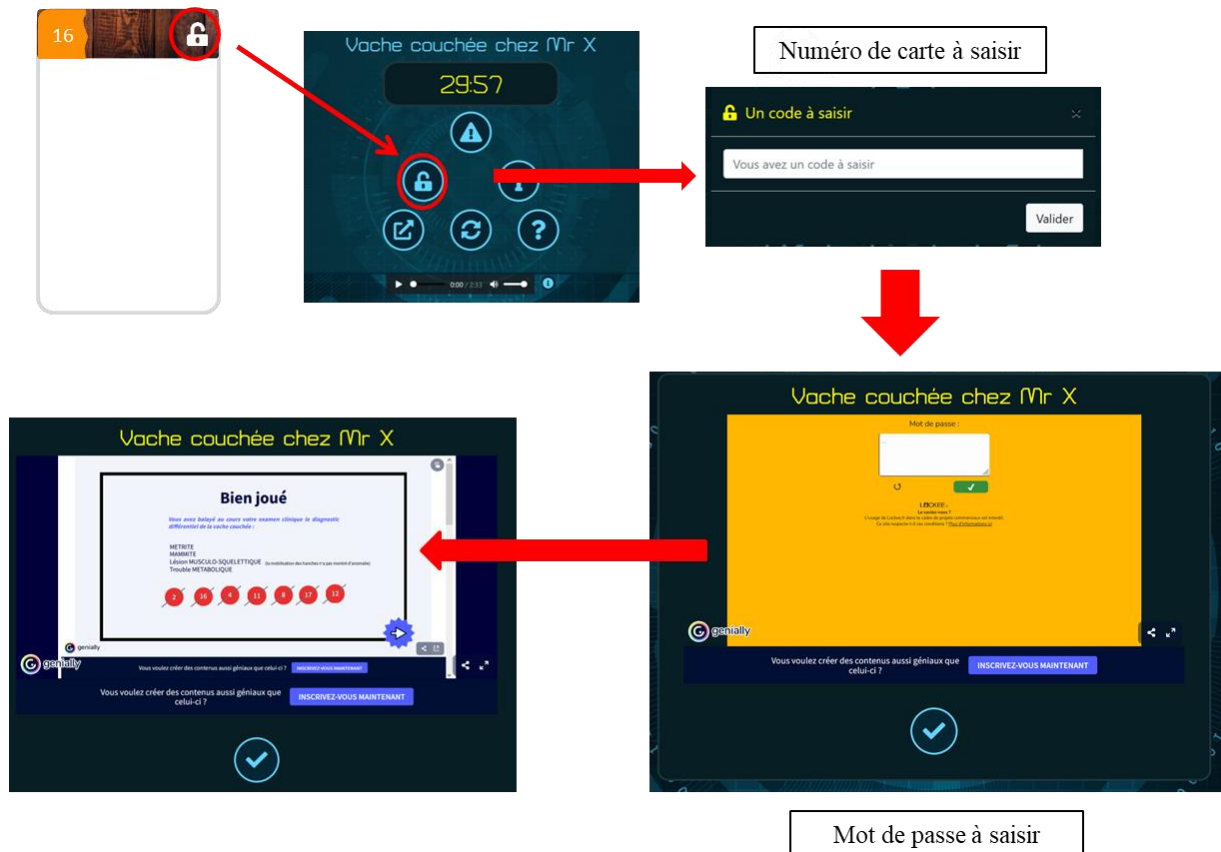


FIGURE 10 : SCHEMA DU PROCESSUS PERMETTANT AU JOUEUR D'ACCEDER A UNE NOUVELLE PHASE DU JEU VIA UN CODE *LOCKEE.FR*

B. Déroulement du jeu

a. Schéma global du jeu sérieux

Le jeu se décompose en une alternance d'énigmes impliquant les cartes et de phases de révision et quiz réalisées sur l'ordinateur. Une vue d'ensemble du jeu sérieux est proposé par la figure 13.

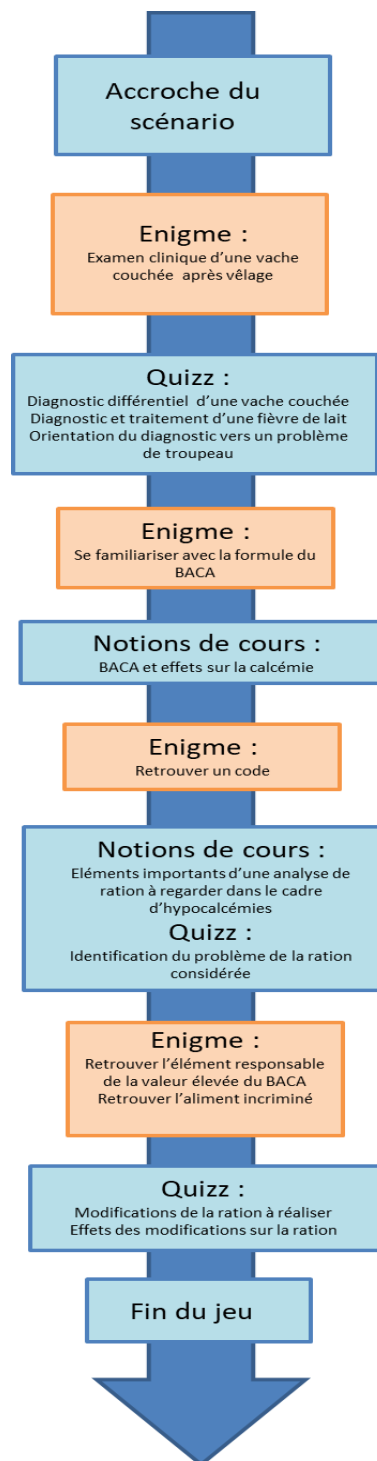


FIGURE 11 : SCHEMA GLOBAL DE L'ENCHAINEMENT DES ENIGMES ET DES PHASES DE QUIZZ DU JEU SERIEUX

b. Introduction du jeu

i. Règles du jeu



Le but du jeu est de finir la partie dans le temps imparti fixé ici à 60 minutes. Les règles du jeu sont peu nombreuses et concernent uniquement la façon d'utiliser les cartes, les phases sur l'ordinateur prenant la forme de simples quiz sans système de notation. Nous avons choisi de ne pas attribuer de pénalités lors de réponses fausses au cours des quiz pour ne pas affecter la dimension ludique du jeu en induisant une peur de se tromper chez le joueur.

1. Comment piocher de nouvelles cartes ?

Dans le jeu il existe deux façons de piocher des cartes. La première manière consiste à trouver le numéro d'une nouvelle carte dans le décor d'une carte que l'on a déjà retournée ou dans un des diaporamas présentés sur l'ordinateur. A ce moment-là le joueur peut retourner la carte correspondante (Figure 14).



FIGURE 12 : SCHEMA EXEMPLE D'UN NUMERO CACHE DANS LE DECOR D'UNE CARTE

La deuxième manière consiste à additionner les numéros de deux cartes déjà retournées. Cela n'est possible que si les cartes présentent les sigles suivants :  . Les cartes ne s'associent que deux par deux, et uniquement si elles comportent des sigles de couleurs différentes. L'addition des deux numéros donnera le numéro de la nouvelle carte à retourner (Figure 15).

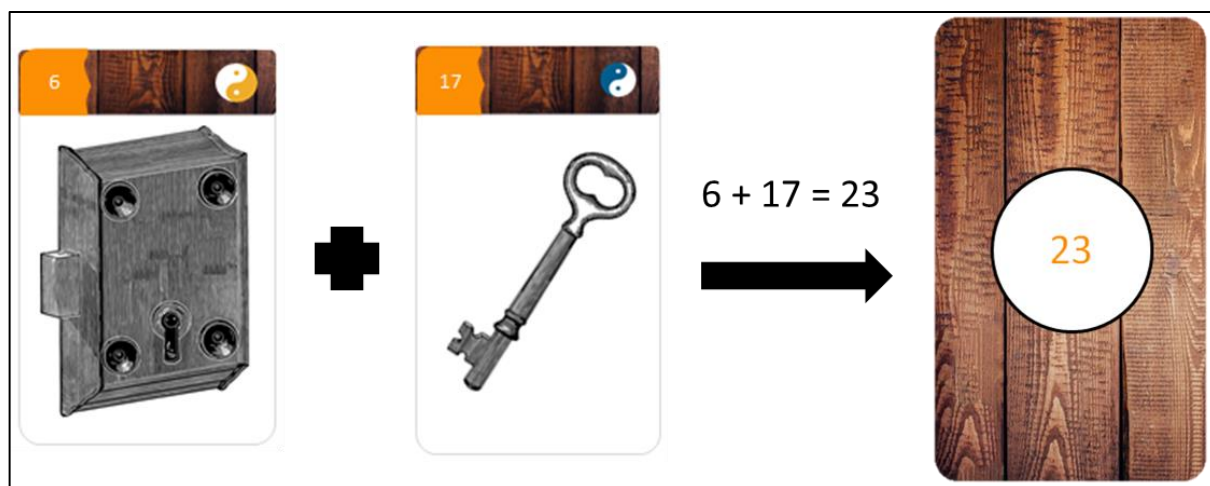


FIGURE 13 : SCHEMA EXEMPLE D'ASSOCIATION DE DEUX CARTES

2. Comment rentrer un code ?

Le but des énigmes du jeu est de trouver un code sous forme chiffrée ou un mot de passe. A chaque phase d'énigme, une des cartes face visible comporte un sigle cadenas, cela indique aux joueurs qu'un code doit être trouvé (Figure 16). Une fois l'énigme résolue et le code trouvé, le joueur entre le numéro de la carte comportant le sigle cadenas dans l'application ce qui le mène vers une nouvelle page où il peut entrer le code qu'il vient de déchiffrer (cf. Figure 12).

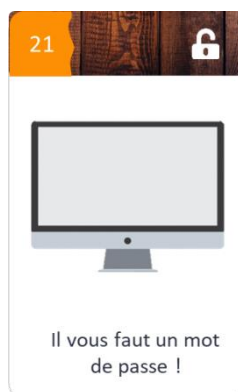


FIGURE 14 : EXEMPLE D'UNE CARTE CADENAS

3. Comment défausser une carte ?

Les cartes du jeu peuvent être défaussées une fois qu'elles ne sont plus utiles pour la résolution des énigmes. La possibilité de défausser une carte est indiquée par un rond rouge barré comportant le numéro de la carte à défausser. Ces sigles peuvent se trouver sur une autre carte retournée ou sur les diaporamas interactifs du jeu (Figure 17).



FIGURE 15: SCHEMA MONTRANT COMMENT DEFAUSSER UNE CARTE DU JEU

4. Les malus

Les cartes malus indiquent que le joueur a fait une erreur ou pris une mauvaise piste dans une énigme (Figure 18). Une fois retournée chaque carte malus fait perdre 3 minutes sur le compte à rebours. Le joueur doit appuyer sur le bouton malus de l'application pour décompter ce temps.



FIGURE 16 : EXEMPLE D'UNE CARTE MALUS

5. Les indices

Des indices sont paramétrés dans l'application pour aider le joueur à progresser dans le cadre des énigmes. Le joueur y accède en cliquant sur le bouton indice de l'application et en entrant le numéro d'une des cartes présentes face visible devant lui (cf. Figure 10). Le but du jeu étant de permettre aux joueurs seuls ou en groupe de progresser en autonomie, les indices étaient indispensables pour éviter aux joueurs de rester bloqués sur une énigme. Nous avons également pris le parti de ne pas associer de pénalité à la demande d'indice afin de ne pas désavantager les joueurs seuls ou moins habitués aux escapes cards qui seraient plus susceptibles de demander de l'aide.

ii. Accroche du scénario

Dans le scénario élaboré les joueurs s'identifient à un vétérinaire qui est appelé pour une vache couchée chez un de ses clients. L'accroche du scénario est présentée aux joueurs lorsqu'ils ouvrent l'application sous forme du texte suivant présenté dans la figure 19.



FIGURE 17 : PAGE D'ACCUEIL DE L'APPLICATION PRESENTANT LE SCENARIO DU JEU

Les joueurs sont ensuite invités à retourner la carte n°4 qui leur permet de commencer à résoudre la première énigme du jeu.

c. Enigme n°1 : diagnostic différentiel de la vache couchée après le vêlage

i. Objectifs de l'énigme

La première énigme permet de faire réfléchir les étudiants sur le diagnostic différentiel des affections ou maladies pouvant toucher une vache couchée après le vêlage. Les étudiants

doivent pouvoir identifier les points importants de l'examen clinique d'une vache couchée et informations intéressantes à demander lors de l'anamnèse afin de balayer les différents points du diagnostic différentiel.

Pour résoudre cette énigme les joueurs doivent trouver un code à quatre chiffres qu'ils doivent ensuite entrer dans l'application afin d'accéder à la phase suivante du jeu qui se déroule sur l'ordinateur.

ii. Réalisation de l'énigme

La carte n°4 est retournée par les joueurs après la lecture de l'accroche du scénario. Elle montre une image où se trouvent la vache à examiner, l'éleveur et une caisse à outils. Des numéros de cartes sont présents sur l'image, les joueurs doivent retourner les cartes correspondantes. Ces cartes détaillent les outils présents dans la caisse à outil, une image de la vache et une carte représentant l'éleveur détaillant l'anamnèse et les commémoratifs de la vache.

Les joueurs remarquent vite que les différents outils (un bol à fond noir, des gants de fouille, un kétomètre, du matériel pour une prise de sang) possèdent un signe d'association jaune alors que la carte représentant la vache possède un signe d'association bleu. Ils additionnent les numéros des outils avec le numéro de la carte représentant la vache et obtiennent de nouveaux numéros de cartes à retourner. Ces nouvelles cartes retournées représentent ce que le joueur peut observer sur la vache à l'aide des différents outils. Seule l'association vache-kétomètre est une fausse piste qui mène à une carte malus déclarant « Cette mesure vous fait perdre du temps, était-elle réellement nécessaire ? ».

En fin d'énigme les joueurs ont devant eux les cartes représentées sur la figure 20.



FIGURE 18 : CARTES PERMETTANT DE RESOUDRE L'ENIGME N°1

La carte n°16 indique la présence d'un code à trouver grâce au sigle cadenas en haut à gauche de la carte. L'indice « Code = <<<<< » indique le nombre de chiffres à trouver et l'ordre dans lequel les placer (ordre croissant). Les joueurs doivent trouver les chiffres du code dans le décor des cartes retournées.

Si les joueurs se trouvent bloqués ils ont la possibilité de taper le numéro de la carte 16 dans l'application pour obtenir l'indice suivant : « Vous devez entrer le numéro de la carte comportant le cadenas dans l'application pour accéder à la page pour renseigner le code. Pour trouver le code regardez bien le décor des cartes 2, 8, 12 et 17 ! ».

Une fois le code entré dans l'application un nouvelle page s'ouvre montrant le début d'un diaporama interactif qui se déroulera exclusivement sur l'ordinateur. Les joueurs peuvent alors défausser toutes les cartes qu'ils ont encore face visible devant eux.

d. Phase de quizz n°1 : suspicion d'un problème de conduite d'élevage

Ce diaporama interactif permet aux joueurs de répondre à des questions portant sur les notions suivantes :

- Diagnostic différentiel de la vache couchée après le vêlage
- Traitement individuel de la fièvre de lait
- Facteurs de risque de fièvre de lait dans la conduite d'un élevage
- Eléments de la conduite d'élevage à investiguer dans le cadre d'un problème de fièvre de lait

Cette phase de jeu prend la forme d'un quizz, chaque réponse juste amenant à la question suivante. Les premières questions du quizz font réfléchir le joueur sur le diagnostic différentiel d'une vache couchée après le vêlage et l'orientent vers le diagnostic de fièvre de lait. Le jeu

les guide ensuite vers une suspicion de problème de conduite alimentaire du troupeau chez l'éleveur en question.

Le quiz amène le joueur à réfléchir sur les points à investiguer dans la conduite d'un élevage lors de problèmes de fièvre de lait à l'échelle d'un troupeau. A la fin du quiz, les joueurs s'orientent vers l'étude de la ration des vaches en fin de tarissement. Dans la dernière diapositive ils sont invités à retourner de nouvelles cartes pour commencer à résoudre la seconde énigme.

e. Enigme n°2 : révision de la notion de BACA

i. Objectif de l'énigme

L'objectif de cette énigme est de faire réviser la notion de BACA. Les paramètres faisant varier le BACA et le rôle du BACA dans la prévention des hypocalcémies sont rappelés aux joueurs tout au long de l'énigme. A l'issue de cette énigme les étudiants doivent pouvoir être en mesure de définir le BACA d'une ration et d'expliquer pourquoi sa maîtrise permet de diminuer les risques de fièvre de lait.

ii. Première partie de l'énigme

Le scénario autour de cette énigme est construit de la manière suivante : les joueurs doivent faire appel à un professeur d'alimentation pour les aider à analyser la ration, ce dernier les invite dans son bureau afin de retrouver l'analyse de la ration qu'il a laissée sur son ordinateur. La carte représentant le bureau du professeur invite les joueurs à trouver les numéros de cartes cachés dans le décor. Les cartes ainsi retournées sont présentées dans la figure 21.

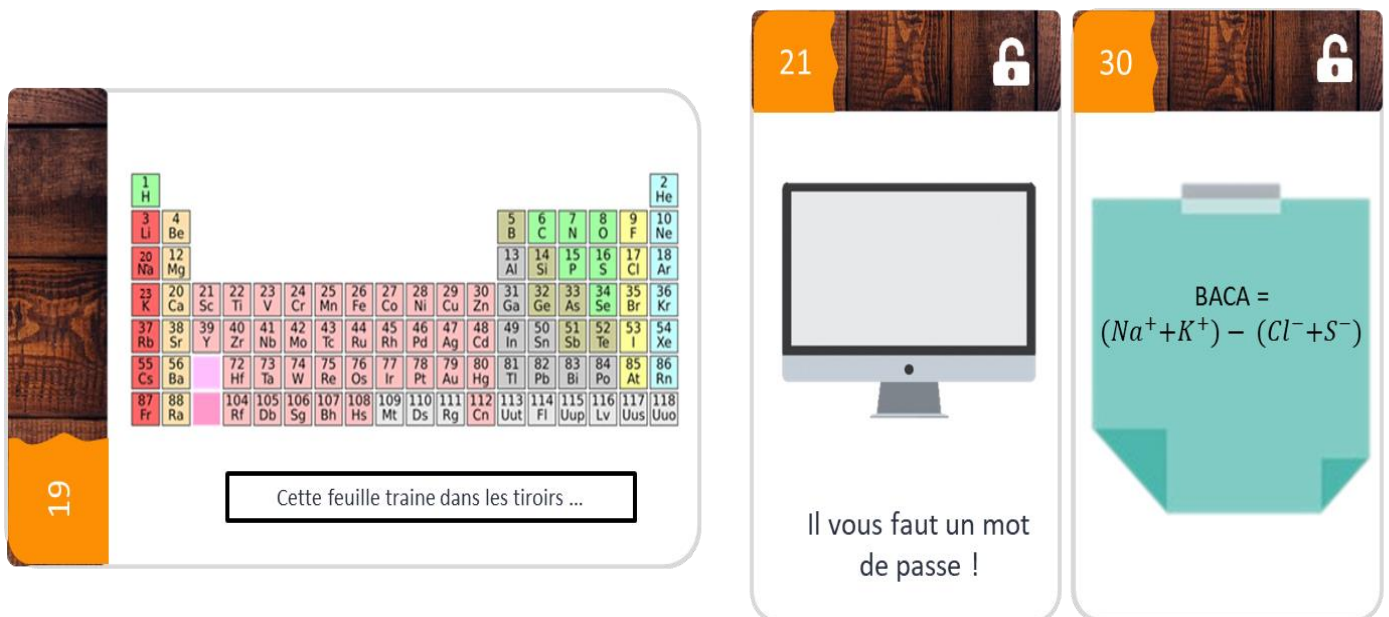


FIGURE 19 : CARTES PERMETTANT DE RESOUDRE LA PREMIERE ETAPE DE L'ENIGME 2

La première partie de l'énigme consiste à trouver le code correspondant à la carte 30 représentant un post-it avec la formule du BACA (Figure 21). Les joueurs doivent se servir du tableau périodique des éléments représenté sur la carte 19 pour trouver le code correspondant à la carte 30. En additionnant et soustrayant les différents numéros atomiques des éléments Na, K, Cl et S selon la formule du BACA les joueurs obtiennent le code à rentrer dans l'application. Cela leur donne accès à une image interactive permettant de réviser la notion de BACA.

iii. Image interactive sur le BACA

Les joueurs accèdent à une image interactive en résolvant la première partie de l'énigme n°2. Cette image permet aux joueurs de réviser la formule du BACA, son impact sur le métabolisme et notamment le pH sanguin et son influence sur le risque de fièvre de lait. En explorant l'image les joueurs trouvent le numéro d'une nouvelle carte à retourner pour résoudre la suite de l'énigme en cours.

iv. Deuxième partie de l'énigme

La deuxième partie de l'énigme consiste à trouver le mot de passe de l'ordinateur qui se trouve être un code à 5 chiffres. Pour ce faire les joueurs ont à leur disposition la carte 18 qui représente une des étagères de la bibliothèque du professeur (Figure 22).



FIGURE 20 : CARTE 18 DU JEU

Sur cette étagère chaque livre comporte un chiffre en bas de sa tranche ainsi qu'un titre dans lequel une lettre est soulignée. Les joueurs doivent relever les lettres soulignées et les remettre dans l'ordre pour former le mot « LIVRE ». L'ordre des lettres donné par le mot « LIVRE » permet au joueur d'obtenir l'ordre des chiffres du code en associant à chaque lettre le chiffre présent sur la tranche du livre correspondant. Une fois le code entré dans l'application le joueur accède à un nouveau diaporama interactif sur l'ordinateur et peut défausser toutes les cartes qu'il a retournées devant lui.

- f. Diaporama interactif n°2 : réflexion sur l'analyse d'une ration dans le cadre d'un problème de fièvre de lait

Ce deuxième diaporama permet au joueur de se pencher sur l'analyse de la ration des vaches en fin de tarissement. Il est tout d'abord amené à réfléchir aux constituants de la ration ayant une importance particulière dans le cadre d'un problème d'hypocalcémie. Une image interactive leur permet de revoir quels minéraux de la ration ont un intérêt dans la gestion du risque de fièvre de lait et les mécanismes physiologiques associés sont succinctement évoqués. Les joueurs sont ensuite invités à réfléchir sur la ration de l'éleveur et à identifier quels paramètres peuvent expliquer la survenue des fièvres de lait dans cet élevage. Les questions l'amènent à identifier le problème de la ration : une valeur de BACA anormalement haute sans excès d'apports en calcium.

A l'issue de ce diaporama les joueurs doivent être en mesure d'identifier les points de vigilance sur lesquels se pencher lors de l'analyse d'une ration dans le cadre de problèmes de fièvre de lait. Ces points de vigilance sont : les apports en calcium, en phosphore et en magnésium et la valeur de BACA de la ration. Ils doivent pouvoir expliquer ce que chaque

variation de ces apports implique en termes d'augmentation ou de diminution du risque de fièvre de lait. Plus spécifiquement, ils doivent être en mesure de savoir quelles teneurs en calcium sont associées à des risques accrus de fièvre de lait.

g. Enigme n°3 : étude des constituants de la ration

i. Objectifs de l'énigme

L'objectif de cette énigme est de faire réfléchir les joueurs sur l'origine de la valeur élevée du BACA de la ration étudiée. Les différents aliments de la ration et leur composition sont présentés sur des cartes et les joueurs doivent trouver quel aliment contribue le plus largement à la valeur haute de BACA et pour quelle raison. Le but est de préparer les joueurs à analyser la ration et à y apporter des modifications pertinentes.

ii. Réalisation de l'énigme

A la fin de la phase de quizz n°2 les joueurs sont invités à retourner les cartes 23,24, 25, 26, 27. Ces cartes représentent les différents aliments de la ration et leur composition ainsi que les quantités de chaque aliment incorporées dans la ration. Sur certaines des cartes des traits sont tracés en rouge, les joueurs doivent superposer les cartes de manière à former la lettre K avec les traits (Figure 23).

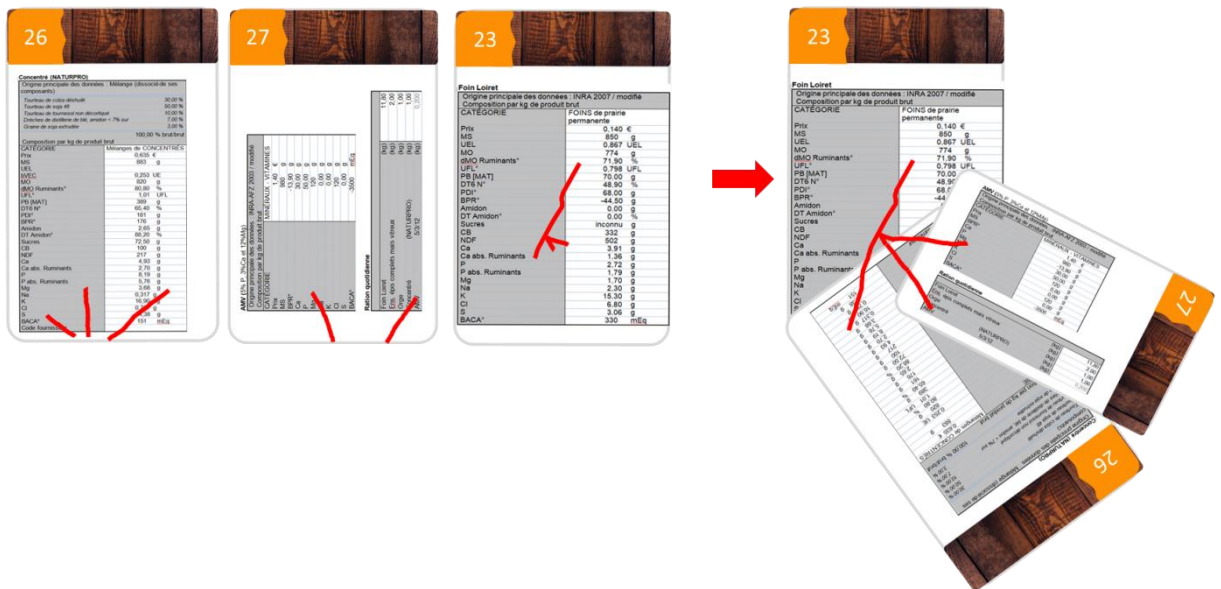


FIGURE 21 : SCHEMA DE L'ASSEMBLAGE A REALISER POUR TROUVER LA CARTE K

Les joueurs comprennent alors qu'ils peuvent retourner la carte K qui est encore présente face cachée dans la pile. La carte K possède un sigle cadenas et comporte le texte suivant :

« $BACA = (Na^+ + K^+) - (Cl^- + S^{2-})$. C'est bien la quantité importante de potassium (K) dans la ration qui fait augmenter le BACA. Quel aliment de la ration est responsable d'une telle quantité de potassium ? **Code = nom de l'aliment (majuscules et espaces respectés)** »

Les joueurs doivent alors se pencher sur la composition de chaque aliment et sur les quantités incorporées dans la ration pour trouver l'aliment à incriminer. Ils comprennent que c'est le foin qui apporte le plus de potassium à la ration de par les 12kg de l'aliment incorporés dans la ration et la quantité importante de potassium qu'il contient (15,30 g/kg de MS). Une fois le nom entré dans l'application, les joueurs accèdent à la dernière partie du jeu qui prend la forme d'un diaporama interactif sur l'ordinateur.

h. Diaporama interactif n°3 : diminution du BACA de la ration

L'objectif de cette dernière phase du jeu est de trouver comment améliorer la ration de l'éleveur pour résoudre son problème de fièvre de lait. Les notions abordées dans cette phase du jeu sont les suivantes :

- Richesse en potassium des différents aliments d'une ration
- Impact des différents aliments d'une ration sur le BACA
- Sels anioniques utilisables dans une ration et leurs caractéristiques
- Modalité d'utilisation des sels anioniques

L'énigme précédente ayant permis d'identifier le problème de BACA comme venant de la grande quantité de foin dans la ration, le joueur est dans un premier temps invité à réfléchir sur les aliments riches en potassium dans une ration. Il est ensuite guidé dans sa démarche de modification de la ration. Chaque aliment de la ration est étudié afin de déterminer son impact sur le BACA et s'il peut être remplacé par un aliment plus adapté. Le joueur est invité à prendre en considération des éléments comme les stocks de l'éleveur, le contexte global de l'élevage considéré et l'impact financier de chacune de ses décisions. Au fil de l'exercice le joueur est amené à se rendre qu'il n'est pas possible de remplacer les constituants de la ration pour des raisons de choix de système d'élevage par l'éleveur. Se pose alors la question de l'ajout de sels anioniques à la ration afin de faire diminuer le BACA. Les modalités

d'utilisation du chlorure de magnésium sont abordées (limites d'incorporation, effet sur la palatabilité de la ration).

Ce diaporama permet de conclure le jeu en calculant une nouvelle ration pour l'éleveur. A l'issue de cette dernière phase du jeu le joueur doit être capable d'expliquer pourquoi et comment les sels anioniques sont utilisables dans le cadre d'une ration de tarissement. Le but de ces dernières questions est d'amener le joueur à réfléchir sur l'influence de chaque aliment de la ration sur le BACA. Cela permet au joueur d'apprendre à lier contraintes nutritionnelles et constituants d'une ration.

Bilan :

Au fil du jeu le joueur est guidé à travers les différentes étapes de la gestion d'un problème de fièvre de lait dans un troupeau. Dans un premier temps il traite individuellement la fièvre de lait puis il se penche sur la conduite du troupeau en faisant particulièrement attention à la conduite des vaches tarées. C'est sur la ration des vaches en fin de tarissement que les joueurs sont amenés à se concentrer. Les différents facteurs de la ration pouvant influencer sur le risque de fièvre de lait sont rappelés avec une attention particulière portée à la notion de BACA. Les joueurs sont amenés à réviser sa définition, son origine métabolique et son implication dans le risque de fièvre de lait. La dernière phase du jeu se concentre sur la manière de modifier une ration dont le principal problème est une valeur de BACA trop élevée. L'utilisation des sels anioniques pour corriger le BACA est abordée avec un rappel sur leurs caractéristiques et les modalités de leur utilisation.

V. Test du jeu : avantages, inconvénients et perspectives d'amélioration

A. Phases de test du jeu

Une première phase de test s'est déroulée en Juin 2023. Une dizaine d'étudiants, habitués ou non à jouer aux jeux de société de type *Escape card*, ont testé le jeu et ont pu donner leur avis sur la faisabilité des énigmes, l'équilibre entre l'aspect ludique et pédagogique du jeu et leurs impressions sur le format du jeu sérieux. Suite à cette première phase de test nous avons pu adapter les énigmes afin de les rendre plus claires et de fluidifier le jeu. Nous avons également adapté les notions de cours abordées ainsi que la longueur du temps imparti.

Une deuxième phase de test s'est déroulée à la rentrée de l'année scolaire 2023-2024. Une vingtaine d'étudiants de A4, A5, A6 et plus ont pu jouer au jeu et donner leur avis. Cette deuxième phase de test ne visait pas à tester la faisabilité du jeu sur le plan technique mais à évaluer le travail fourni et à jeter un premier regard critique sur l'exercice, ses apports en tant qu'outil pédagogique et sa perception par les étudiants. Afin d'obtenir ces informations nous avons réalisé plusieurs questionnaires à destination des joueurs.

B. Enquête sur le ressenti des joueurs

a. Conception de l'enquête

Cette enquête a pris la forme d'un questionnaire réalisé sur Sphinx et mis à la disposition des joueurs en fin de jeu. Chaque joueur, même s'il avait joué en groupe, devait répondre individuellement au questionnaire.

Le questionnaire, disponible en annexe 1, se compose de 20 questions. Les questions permettaient d'évaluer les points suivants :

- La familiarité du joueur avec les jeux de type *Escape game* ou *Escape card*
- Le plaisir à jouer
- La difficulté du jeu (compréhension des règles, adéquation du temps imparti, etc.)
- La qualité des supports du jeu (cartes et supports numériques)
- La pertinence pédagogique des notions abordées
- L'avis du joueur sur l'intégration du jeu dans le programme d'enseignement d'alimentation

Un champ était également laissé libre pour permettre aux joueurs d'énoncer leurs remarques sur le jeu et de noter des propositions d'amélioration. Ce questionnaire visait à récolter le ressenti des joueurs pour évaluer la pertinence du jeu, nous avons volontairement choisi de ne pas trop le détailler, le but étant de récolter les premières impressions sur ce format de jeu.

b. Résultats

En tout, 27 étudiants ont pu tester le jeu. Ces étudiants étaient des étudiants de A4, A5, A6 et des étudiants fraîchement diplômés (venant de passer leur thèse ou allant bientôt la passer). La proportion des testeurs au sein de chaque promotion était à peu près égale, à l'exception des étudiants de A5 qui étaient moins représentés (seul 1 étudiant sur les 27 testeurs). Parmi les testeurs beaucoup étaient déjà familiers avec le principe des *Escape cards* et seulement 18% d'entre eux n'avaient jamais joué à ce type de jeux.

La majorité des testeurs ont joué au jeu en groupe, les groupes allant jusqu'à 4 joueurs. Seuls 10 % des participants ont joué seuls. Les étudiants ayant joué seuls ont eu parfois tendance à trouver la progression dans le jeu légèrement fastidieuse, les énigmes leur prenant souvent plus de temps à résoudre que les joueurs ayant joué en groupe et ce même s'ils étaient familiers avec les jeux de type *Escape games*. Cependant devant la faible proportion de testeurs ayant joué seuls il n'est pas possible de tirer de réelles conclusions, il faudrait continuer à faire tester le jeu en solitaire. Chez les joueurs en groupe, la majorité ont trouvé le jeu en groupe bénéfique notamment pour la mise en commun des connaissances, la complémentarité des idées lors de la résolution des énigmes et pour la dimension agréable du jeu à plusieurs. Plusieurs joueurs ont évoqué que l'entraide entre joueurs leur avait permis de mieux comprendre les notions abordées dans le jeu. Cependant certains joueurs ayant joué en groupe de 4 personnes ont rapporté qu'ils avaient parfois manqué de temps pour lire et assimiler les informations dans le jeu et avaient parfois « décroché » du jeu, se laissant porter par les autres joueurs.

Au niveau de l'aspect et de la fonctionnalité des supports du jeu, l'avis des joueurs sur l'aspect des cartes et des supports numériques était plutôt favorable (Figure 24). Cependant les joueurs ont déploré un manque de fonctionnalité des supports numériques, éprouvant parfois des difficultés à lire certaines pages ou à passer d'une page de diaporama à une autre. Ils ont également déploré devoir passer par plusieurs étapes avant de pouvoir renseigner les codes de résolution des énigmes.

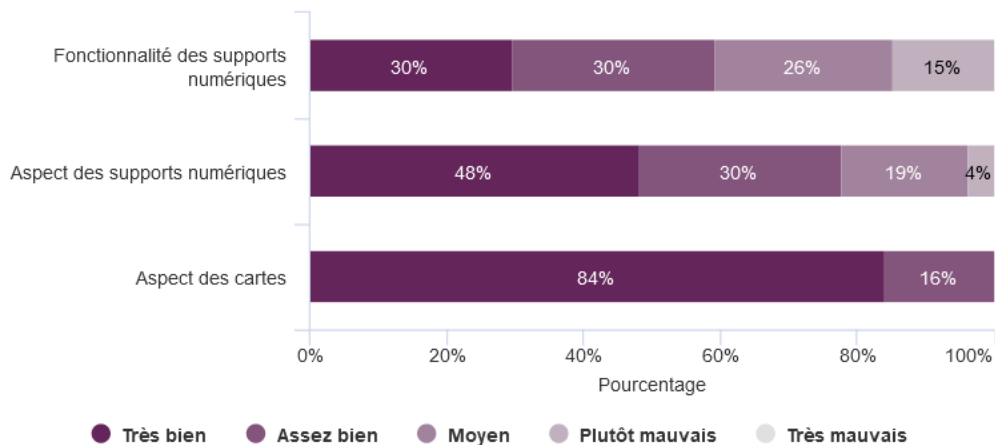


FIGURE 22 : ÉVALUATION DE LA QUALITE DES SUPPORTS DE JEU PAR LES ETUDIANTS TESTEURS

En ce qui concerne le ressenti global de l'activité, tous les joueurs ont déclaré ne s'être jamais ou seulement rarement ennuyés et ont trouvé que l'équilibre entre ludique et sérieux était bien respecté dans le jeu. La grande majorité des joueurs a trouvé le jeu plutôt intuitif et la compréhension des règles très facile à facile (80% des joueurs). Seuls 8% des joueurs ont trouvé les règles assez difficile à comprendre. Il faut cependant nuancer ces résultats en raison de la large proportion des testeurs étant déjà familiers avec les règles des *Escape cards*.

Concernant le ressenti des joueurs face aux énigmes, environ la moitié des participants les ont trouvées de difficulté moyenne, contre 30% les considérant comme assez simples et près de 15% comme assez difficile (Figure 25). Plusieurs joueurs ont évoqué des incompréhensions sur le format des codes demandés lors des différentes énigmes et auraient apprécié avoir plus d'indices quant à la nature des codes à chercher.

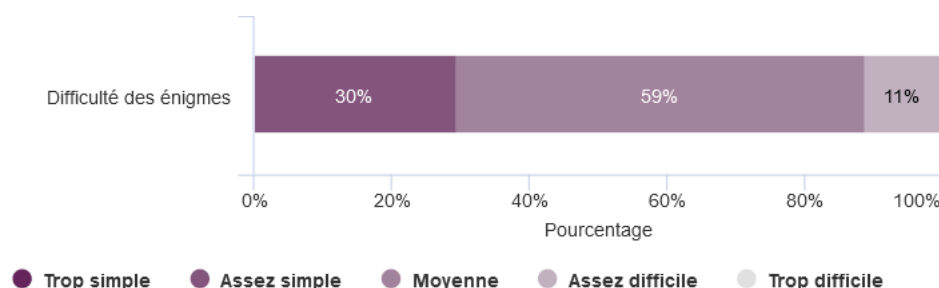


FIGURE 23 : ÉVALUATION DE LA DIFFICULTE DES ENIGMES PAR LES ETUDIANTS TESTEURS

Pour évaluer l'adéquation entre les notions abordées et le niveau des étudiants, la difficulté des questions de cours était évaluée sur une échelle de 1 à 5 (1 étant trop simple et 5

trop difficile) par les participants. La note moyenne attribuée par les joueurs était de 2,9 ce qui suggère une plutôt bonne adéquation de la difficulté des notions abordées au niveau des joueurs.

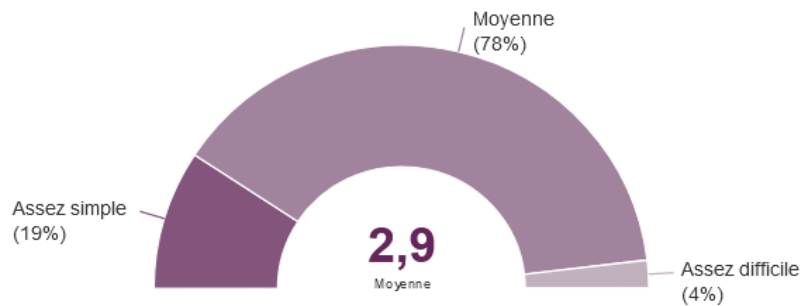


FIGURE 24 : ÉVALUATION DE LA DIFFICULTE DES QUESTIONS DE COURS PAR LES ETUDIANTS TESTEURS

Les joueurs ont également été sollicités pour juger de la pertinence des notions abordées au cours du jeu. La grande majorité des participants ont jugé le jeu utile pour acquérir et remobiliser leurs connaissances sur la notion de BACA et sur la nutrition minérale au tarissement ainsi que pour savoir interpréter les résultats d’une analyse de ration dans le cadre d’un problème de fièvre de lait. Pour ce qui est de s’entraîner à la mise en œuvre pratique d’un audit alimentaire, les résultats sont légèrement plus nuancés avec 75 % des joueurs ayant trouvé le jeu « approprié » à « plutôt approprié », les 25% restant le jugeant « plutôt pas approprié ». Enfin la quasi-totalité des participants ont trouvé que les notions abordées étaient pertinentes par rapport à ce qu’ils jugeaient utile de maîtriser une fois sur le terrain, certains déplorant toutefois l’impossibilité de s’exercer à l’utilisation du logiciel de calcul de ration.

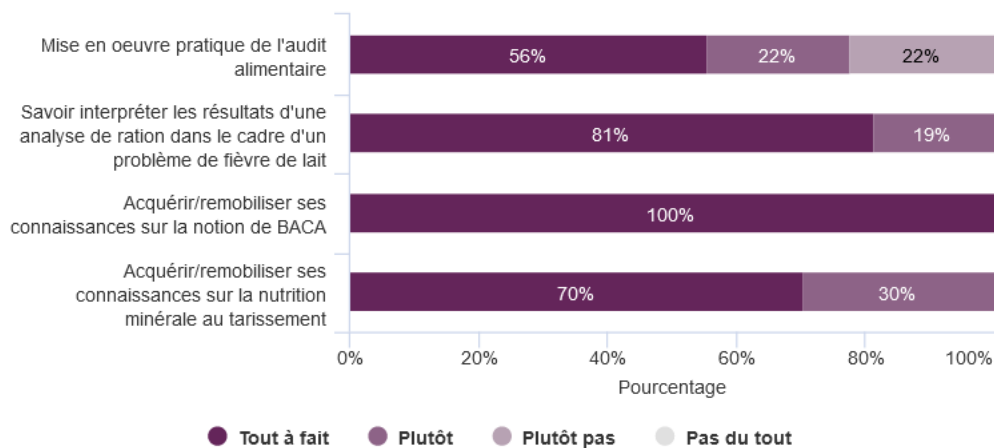


FIGURE 25 : ÉVALUATION DE LA PERTINENCE DU JEU POUR REpondre AUX OBJECTIFS VISES

Enfin, concernant l'intégration du jeu dans l'enseignement d'alimentation, la grande majorité des participants ont déclaré être intéressés de participer à de nouvelles séances de jeu du même format et être favorable à l'intégration de ce jeu dans l'enseignement d'alimentation sous forme de séances facultatives. A la question « A quelle année d'étude ce jeu s'adapte-t-il le mieux ? » les étudiants ont répondu de façon assez homogène qu'il pourrait s'adapter à des étudiants allant de la A6 à la A4, certains jugeant intéressant de proposer ce jeu en parallèle des enseignements magistraux d'alimentation en A3.

C. Evaluation des connaissances pré et post-jeu

a. But de l'enquête et conception

Cette enquête a pris la forme d'une paire de questionnaires identiques réalisés sur Sphinx. Le premier questionnaire était mis à disposition des joueurs avant la partie et le second, composé de questions identiques au premier, était présenté aux joueurs immédiatement après le jeu. Chaque joueur devait répondre individuellement.

Le questionnaire, disponible en annexe 2 comportait 8 questions permettant d'évaluer les connaissances des joueurs sur les sujets suivants :

- Diagnostic différentiel d'une vache couchée après le vêlage
- Quelle ration étudier lors d'un problème d'hypocalcémie puerpérale dans un élevage
- Définition du BACA
- Mécanisme d'action du BACA sur la calcémie
- Facteurs protecteurs contre l'hypocalcémie dans une ration de tarissement
- Effets de l'utilisation de chlorure de magnésium sur le BACA d'une ration
- Aliments riches en potassium

Ces sujets étant abordés au cours du jeu, l'objectif de ces enquêtes était double. L'enquête pré-jeu servait dans un premier temps à évaluer les connaissances des étudiants sur les notions abordées pendant l'exercice afin de préciser l'utilité ou non de l'existence d'un tel exercice pédagogique. Elle servait également de base pour l'évaluation de la progression des joueurs grâce au jeu. La comparaison des questionnaires pré et post-jeu avait pour but de déterminer si l'exercice permettait bel et bien d'ancrer certaines notions essentielles chez les participants.

b. Résultats du test pré-jeu

L'étude individuelle du questionnaire pré-jeu nous montre que pour ce qui est des connaissances autour de la notion de BACA, la plupart des étudiants savaient donner la définition de l'acronyme mais ne pouvaient pas expliquer son rôle. Seuls 40% des joueurs connaissaient la formule du BACA avant de commencer le jeu et un peu moins de 30% pouvaient expliquer son action métabolique et la nature de son influence sur le risque de fièvre de lait.

A la question « quelles affections/maladies vous évoquent une vache qui se couche après le vêlage ? » 85% des participants ont évoqué la fièvre de lait dans leur diagnostic différentiel mais près de la moitié des participants n'ont pas cité d'autres troubles. Seuls 6 joueurs sur les 27, soit 22%, ont su citer le diagnostic différentiel en entier.

Pour ce qui était de déterminer quelle ration étudier en cas de problème de fièvre de lait dans un élevage, 67% ont obtenu la bonne réponse en cochant « la ration des vaches en fin de tarissement » parmi les quatre réponses proposées (Figure 28).

Devant un problème de fièvre de lait dans un élevage vous vous intéressez à la ration de quels individus ?

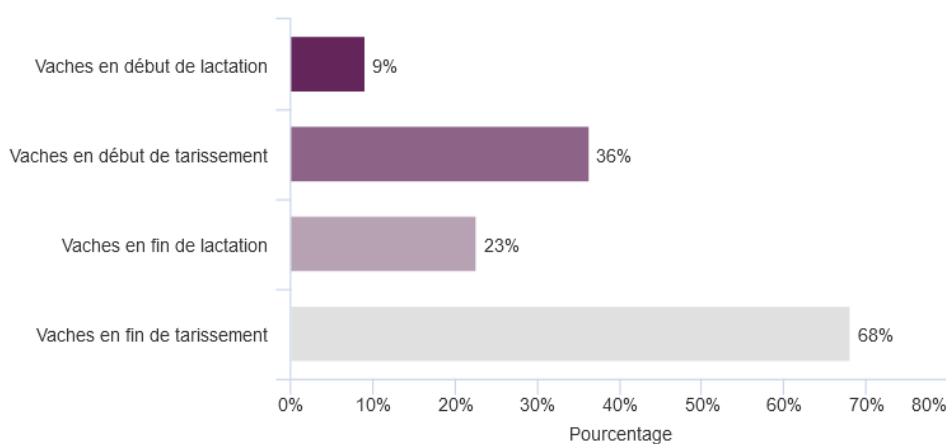


FIGURE 26 : REPNSES DANS LE CADRE DU QUESTIONNAIRE PRE-JEU A LA QUESTION DEMANDANT QUELLE RATION ETUDIER EN CAS DE SUSPICION DE PROBLEME DE FIEVRE DE LAIT

Enfin pour ce qui était de citer les facteurs protecteurs contre l'hypocalcémie dans une ration de tarissement, seulement 30% des joueurs ont identifié une faible teneur en potassium comme étant un facteur protecteur et 41% ont répondu qu'une valeur faible de BACA était protectrice. Seuls 44% des joueurs ont considéré le magnésium comme un facteur protecteur. En revanche 63% des joueurs savaient qu'une faible teneur en calcium diminuait le risque de fièvre de lait. La nature de l'influence des différents minéraux de la ration sur le risque de fièvre de lait était donc incomplètement maîtrisée par les étudiants (Figure 29).

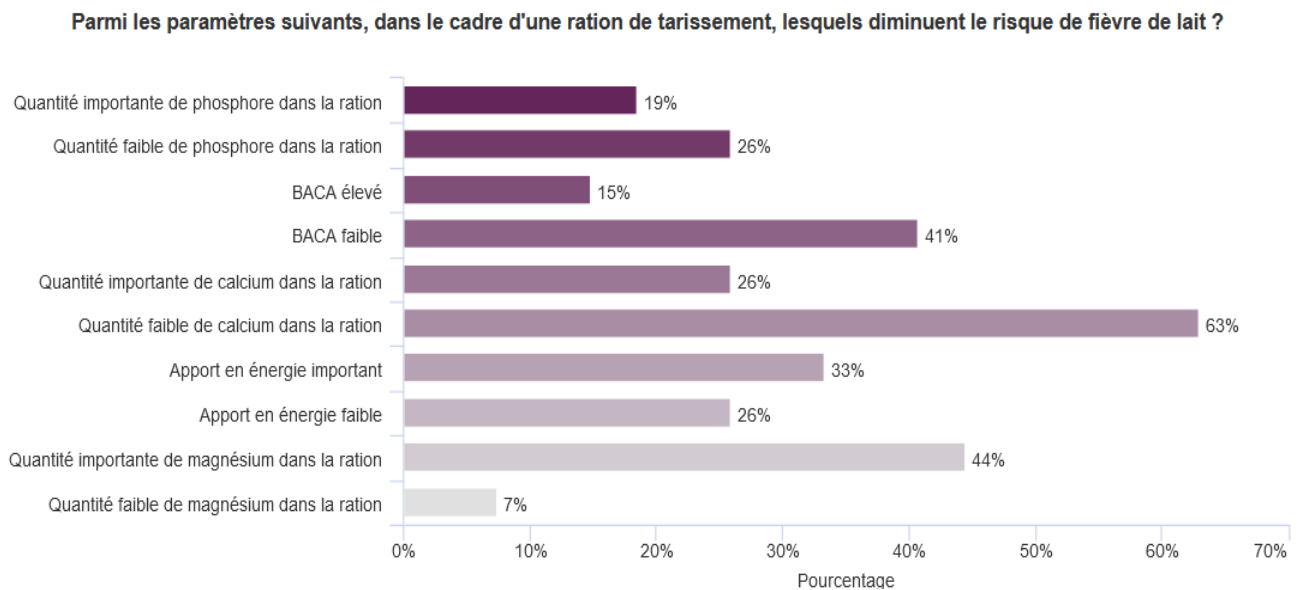


FIGURE 27 : REPNSES DANS LE CADRE DU QUESTIONNAIRE PRE-JEU A LA QUESTION DEMANDANT DE CITER LES FACTEURS PROTECTEURS CONTRE L'HYPOCALCEMIE DANS UNE RATION DE TARISSEMENT

Seuls 56% des joueurs savaient avant de commencer le jeu que les fourrages verts étaient des aliments riches en potassium, contre 28% pour le tourteau de soja et 32% pour les tubercules. La majorité des joueurs (77%) savait à quoi servaient les sels anioniques dans une ration et ont identifié qu'ils permettaient de diminuer le BACA.

Bilan :

Les résultats de ce test pré-jeu montrent la présence de lacunes chez la majorité des étudiants en ce qui concerne les notions de BACA et les facteurs de risque de fièvre de lait dans une ration de tarissement. Le diagnostic différentiel d'une vache couchée après le vêlage était également incomplètement connu dans l'ensemble même si la majorité des étudiants ont su citer la fièvre de lait comme étant une des maladies à suspecter. L'identification des

aliments riches en potassium a également posé des difficultés. En revanche une majorité des étudiants semblaient savoir à quoi servait l'ajout de sels anioniques dans une ration.

c. Comparaison des résultats des tests pré et post-jeu

Nous avons tout d'abord considéré les tests dans leur globalité attribuant une note à chaque participation. Chaque question juste se voyait attribuer la note de 1, une réponse partiellement juste pouvant valoir entre 0,25 et 0,75 points. Pour une note maximale de 10, la note moyenne obtenue par les étudiants lors du test pré-jeu était de 4. Lors du test post-jeu la note moyenne obtenue par les étudiants était de 8,7. La progression moyenne du résultat au test entre la phase pré et post-jeu était de 4,7 points.

En se penchant sur le détail des questions on remarque une forte progression des étudiants sur les questions traitant du BACA. En effet, si les processus métaboliques liant BACA et fièvre de lait sont encore parfois difficiles à expliquer pour certains étudiants la grande majorité ont retenu que le BACA d'une ration influençait le pH sanguin et qu'un BACA faible était un facteur protecteur contre les fièvres de lait. La quasi-totalité des testeurs était également en mesure de restituer la formule du BACA à la fin de l'exercice. Lors de discussions avec les joueurs après le jeu beaucoup ont exprimé qu'ils avaient apprécié pouvoir revoir la notion de BACA grâce au jeu car ils jugeaient leurs connaissances sur le sujet limitées.

Les éléments protecteurs contre la fièvre de lait étaient également bien mieux identifiés par les étudiants par rapport au premier questionnaire (Figure 30). Ainsi par exemple dans le questionnaire post-jeu 96% des joueurs ont identifié une faible teneur en potassium comme un facteur protecteur contre seulement 30% dans le questionnaire pré-jeu.

Parmi les éléments suivants caractérisant la ration de tarissement, lesquels diminuent le risque de fièvre de lait ?

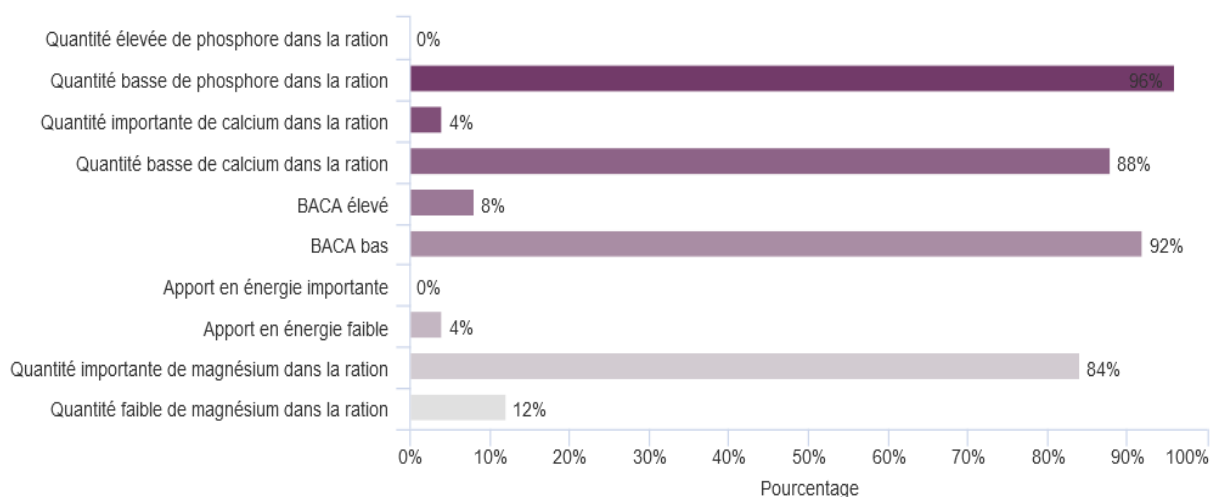


FIGURE 28 : REPONSES DANS LE CADRE DU QUESTIONNAIRE POST-JEU A LA QUESTION DEMANDANT DE CITER LES FACTEURS PROTECTEURS CONTRE L'HYPOCALCEMIE DANS UNE RATION DE TARISSEMENT

Bilan :

La comparaison des résultats aux tests pré et post-jeu semblent indiquer que le jeu permet bien aux joueurs d'acquérir ou de réactiver leurs connaissances sur le BACA et les facteurs de risque de fièvre de lait et ainsi que sur l'investigation d'une telle maladie à l'échelle d'un élevage. La progression des notes avant et après le jeu montre que les notions évoquées pendant l'exercice ont été globalement bien comprises par les participants. En revanche, le test post-jeu ayant été réalisé immédiatement après l'activité il est impossible d'évaluer les acquis sur le long terme. De plus, la capacité des étudiants à corriger une ration dans le cadre d'un problème de fièvre de lait n'a pas pu être évaluée par le biais des questionnaires qui jugeaient des connaissances théoriques et non une méthode de réflexion. Enfin l'apport réel de ce format d'exercice par rapport à des exercices sur table plus classiques n'a pas pu être évalué, il aurait fallu pour cela organiser en parallèle des séances classiques d'exercices sur le même thème et comparer le ressenti et les performances de chaque groupe.

D. Réussites et limites du jeu : quelles sont les évolutions possibles ?

a. Objectifs atteints lors de la création du jeu

L'un des objectifs principaux de ce projet était de créer un jeu sérieux utilisable en autonomie par les étudiants. La phase de test du jeu a permis de montrer que ce jeu était bien

adapté à une réalisation en autonomie, aucun des groupes de participants n'ayant eu besoin d'aide extérieure pour finir l'exercice.

Un autre des objectifs était de pouvoir rendre le jeu accessible à des étudiants de différents niveaux d'étude, allant de la A4 à la A6. Les questionnaires d'évaluation du ressenti des joueurs ont permis de montrer que quelque-soit leur niveau d'étude les participants ont jugé le niveau de difficulté des notions abordées adapté à leurs capacités. De plus, la grande majorité des testeurs ont répondu avoir trouvé l'exercice très utile pour acquérir et remobiliser leurs connaissances sur la fièvre de lait et l'analyse de ration.

Le but d'un tel exercice était de rendre le calcul de ration et le travail sur des questions d'alimentation ludique et attractif pour les étudiants. L'objectif semble ici rempli car la quasi-totalité des testeurs ont trouvé que l'équilibre entre ludique et sérieux était bien respecté au sein du jeu et beaucoup ont exprimé avoir pris du plaisir à jouer. De plus, la totalité des participants ont répondu être prêts à participer à d'autres séances de jeu du même format si l'occasion se présentait.

b. Difficultés rencontrées lors de la conception du jeu

Une des principales difficultés rencontrées pendant le jeu était de simplifier un trouble aussi complexe et mal élucidé que la fièvre de lait. Il fallait à la fois énoncer simplement les notions abordées tout en gardant une certaine nuance. Il était également difficile de trouver un bon scénario permettant de lier le ludique au pédagogique tout en gardant un certain degré de réalisme. Trouver un moyen de lier les phases de révision des notions de cours et de travail sur la ration avec les énigmes qui représentaient le côté plus ludique du jeu s'est avéré parfois fastidieux.

L'utilisation commune de l'application *Serious escape cards*® couplée aux cadenas *Lockee* et aux diaporamas *Genial.ly* était fastidieuse pour certains joueurs. Les interfaces n'étaient parfois pas très intuitives et la visibilité des diaporamas pouvait être altérée. Certains joueurs ont été perturbés par la multiplicité des étapes à franchir pour mener aux phases de jeu sur l'ordinateur. Ils devaient en effet rentrer un numéro de carte pour accéder à une nouvelle page sur laquelle ils devaient renseigner le code déchiffré lors de l'énigme pour finalement ouvrir la page sur laquelle se trouvait le diaporama interactif. Cela a contribué à altérer la fonctionnalité des supports numériques du jeu.

c. Limites du jeu

L'une des limites de ce format d'exercice est qu'il n'est pas adapté à un jeu en groupe de plus de 3 personnes. De plus, il est possible d'y jouer seul mais la progression peut être plus fastidieuse notamment lors de la résolution des énigmes. Les joueurs seuls n'étant pas familiers avec les jeux de type *Escape cards* pourraient sûrement être handicapés par rapport aux joueurs en groupe. La présence d'indices paramétrés dans l'application tente de palier au déséquilibre mais ne permet pas de restaurer de la fluidité au jeu, certains joueurs n'y ayant recours que tardivement, lorsque la frustration ou le désintérêt se sont déjà installés.

Une autre limite de ce jeu est qu'il ne permet pas réellement de s'entraîner au calcul de ration. En effet, lors de ce jeu la prise en main du logiciel de calcul de ration est impossible, les joueurs ne peuvent pas se familiariser avec son utilisation. Ce jeu permet surtout de réviser la théorie du calcul de ration et des notions d'alimentation qui sont associées à la gestion d'un trouble métabolique comme la fièvre de lait. L'apprentissage lors de ce jeu est donc plus passif que lors d'un exercice en TD où l'étudiant peut s'entraîner à travailler directement sur le logiciel d'alimentation.

Enfin, lors de l'élaboration de ce genre de jeux des simplifications sont souvent nécessaires. Or par souci de simplification des raccourcis sont parfois faits sur des notions qui mériteraient d'être développées. Par exemple le jeu n'aborde pas la mesure du pH urinaire ou ne parle pas de la complexité de la relation entre apports en calcium dans la ration de tarissement et risques de fièvre de lait. De plus, comme l'exercice a été conçu pour être réalisé en autonomie dans la salle de simulation de l'école, l'échange avec un enseignant sur ces sujets est impossible. L'absence de discussion avec un enseignant est une limite importante à ce type de jeu sérieux surtout si l'étudiant ne fait pas ensuite la démarche de se renseigner sur les points qui l'ont questionné pendant l'exercice.

d. Perspectives d'amélioration

i. Simplifier les interfaces numériques du jeu

Les interfaces numériques ont posé problème à certains joueurs en raison de la multiplicité des étapes qui menaient à leur réalisation. Lorsqu'un code était trouvé le joueur devait entrer le numéro de la carte correspondante dans l'application pour accéder à la page permettant de renseigner le code. Il pourrait être intéressant de ne pas utiliser l'outil *Lockee* pour créer des cadenas virtuels et simplement paramétrer les codes dans l'application pour enlever une étape et simplifier la démarche pour les joueurs. Cela impliquerait de trouver un

autre moyen de résoudre les énigmes nécessitant un mot de passe, seuls les codes à chiffres étant utilisables sur l'application.

ii. Réfléchir à intégrer le jeu à des séances de travaux dirigés

Plutôt que de mettre le jeu à disposition des étudiants dans le cadre de la salle de simulation, où toute discussion avec un enseignant serait impossible, il pourrait être intéressant d'intégrer le jeu à des séances de travaux dirigés. On pourrait imaginer laisser le jeu en libre accès et permettre aux étudiants d'y jouer en autonomie dans l'intervalle entre deux séances hebdomadaires de travaux dirigés et prévoir par la suite un temps de discussion avec les étudiants afin qu'ils puissent poser leurs questions. On pourrait également envisager d'utiliser ce jeu dans le cadre des rotations cliniques de médecine des populations en cinquième année pour les groupes n'ayant pas pu partir en visite d'élevage ou n'ayant pas traité de problématiques liés à la nutrition des vaches laitières au cours de leur visite. Dans le cadre de cette rotation clinique les étudiants seraient en mesure de discuter du jeu avec un encadrant.

iii. Généralisation du format à d'autres cas d'alimentation des ruminants

Ce jeu n'aborde que le cas particulier d'un élevage en système herbager avec des problèmes de fièvres de lait. Il pourrait être intéressant de développer d'autres cas cliniques sur le thème de la fièvre de lait grâce au même format de jeu. De même d'autres maladies à composante nutritionnelle comme la cétose ou l'acidose pourraient être traités au cours d'exercices similaires.

Conclusion :

L'alimentation animale est une matière dense dont l'apprentissage nécessite la mise en pratique de nombreuses connaissances acquises en cours magistraux au cours des trois premières années de tronc commun. Lors de ces années, des séances de travaux dirigés sont organisés pour permettre un apprentissage actif de la matière, mais les occasions pour continuer à s'exercer sur des cas pratiques peuvent être aléatoires au cours des années de formation suivantes. Les troubles d'origine nutritionnelle en particulier sont abordés en cours mais ne sont pas tous traités en pratique par les étudiants. Afin d'homogénéiser les apprentissages et de donner l'occasion à tous les étudiants de travailler sur ces cas pathologiques l'idée de les aborder sous forme d'exercices pédagogiques s'est imposée.

Les Jeux sérieux sous forme d'*Escape games* commencent à voir le jour dans l'enseignement supérieur et semblent appréciés des étudiants. D'après les premières expériences sur le sujet ils influeraient beaucoup sur la motivation des apprenants et favoriseraient l'immersion des joueurs dans l'exercice. Ainsi, dans le but de favoriser la mise en situation des étudiants et de rendre les exercices ludiques et agréables nous nous sommes intéressés à ce format de Jeu sérieux dans le but de savoir s'il serait applicable dans le cadre de nos exercices pédagogiques d'alimentation.

Le but de cette thèse était de créer un Jeu sérieux s'inspirant du principe de l'*Escape game*, à destination des élèves de A4, A5 et A6, afin de leur permettre de s'entraîner sur un cas pratique de problème de gestion alimentaire à l'échelle d'un troupeau. Le jeu avait pour objectif d'être réalisé en autonomie par les étudiants dans le cadre de la salle de simulation de l'ENVT. Une version d'essai du jeu basée sur un cas de problème de fièvre de lait dans un élevage en système herbager a été proposée à un petit groupe d'étudiants.

Les résultats de cette phase de test semblent montrer que ce format de jeu est apprécié des étudiants et qu'il semble leur permettre de revoir et d'utiliser des notions de cours qu'ils jugeaient jusque-là abstraites ou lointaines. Cependant l'une des principales limites de ce jeu était l'absence de discussion possible avec un enseignant sur les notions abordés pendant l'exercice et les éventuels questionnements/ difficultés rencontrés par les étudiants. Cet absence d'échange pourrait être délétère pour les apprentissages, il pourrait donc être intéressant de réfléchir à intégrer l'enseignant dans la réalisation du jeu pour palier à ce problème. Selon le succès de cette expérience nous pourrions imaginer généraliser ce format à d'autres cas d'alimentation.

Bibliographie :

AL-EKNAH, M. M. et NOAKES, D. E., 1989. A preliminary study on the effect of induced hypocalcaemia and nifedipine on uterine activity in the parturient cow. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 1989. Vol. 12, n° 2, pp. 237-239. DOI 10.1111/j.1365-2885.1989.tb00666.x.

ALVAREZ, Julian, 2007. *DU JEU VIDÉO AU SERIOUS GAME* [en ligne]. phdthesis. Université Toulouse. [Consulté le 25 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/tel-01240683>

ALVES DE OLIVEIRA et ASTRUC, 2018. Hypocalcémie subclinique dans les élevages de bovins laitiers des Monts du Lyonnais (France) et ses conséquences sur la santé. *24e Rencontres autour des recherches Ruminants (3R)*. décembre 2018. pp. 1.

BARTON, B. A., JORGENSEN, N. A. et DELUCA, H. F., 1987. Impact of Prepartum Dietary Phosphorus Intake on Calcium Homeostasis at Parturition¹. *Journal of Dairy Science*. 1 juin 1987. Vol. 70, n° 6, pp. 1186-1191. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(87)80130-3.

BODIN, F, 2020. *Importance et conséquence de l'hypocalcémie subclinique chez la vache laitière en péri-partum : exemple d'une clientèle vétérinaire des Vosges*. 2020. Thèse Méd. Vet. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, n°72.

BOIVIN, Nicolas, 2021. *16 escape games pour apprendre en s'amusant*. Educagri éditions. ISBN 979-10-275-0375-9.

BRONNER, F., 1987. Intestinal calcium absorption: mechanisms and applications. *The Journal of Nutrition*. août 1987. Vol. 117, n° 8, pp. 1347-1352. DOI 10.1093/jn/117.8.1347.

CAIXETA, L. S., OSPINA, P. A., CAPEL, M. B. et NYDAM, D. V., 2017. Association between subclinical hypocalcemia in the first 3 days of lactation and reproductive performance of dairy cows. *Theriogenology*. 1 mai 2017. Vol. 94, pp. 1-7. DOI 10.1016/j.theriogenology.2017.01.039.

CARLUCCIO, Augusto, DE AMICIS, Ippolito, PROBO, Monica, GIANGASPERO, Brunella et VERONESI, Maria Cristina, 2020. Prevalence, survival and subsequent fertility of dairy and beef cows with uterine prolapse. *Acta Veterinaria Hungarica*. mars 2020. Vol. 68, n° 1, pp. 91-94. DOI 10.1556/004.2020.00017.

CHABRIER, Amélie, ATKINSON, Suzanne, BONNABRY, Pascal et BUSSIÈRES, Jean-François, 2019. Utilisation des jeux d'évasion en santé : une revue de littérature. *The Canadian Journal of Hospital Pharmacy*. 2019. Vol. 72, n° 5, pp. 388-402.

CHAMBERLIN, W. G., MIDDLETON, J. R., SPAIN, J. N., JOHNSON, G. C., ELLERSIECK, M. R. et PITHUA, P., 2013. Subclinical hypocalcemia, plasma biochemical parameters, lipid metabolism, postpartum disease, and fertility in postparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96, n° 11, pp. 7001-7013. DOI 10.3168/jds.2013-6901.

CHARBONNEAU, E., PELLERIN, D. et OETZEL, G. R., 2006. Impact of Lowering Dietary Cation-Anion Difference in Nonlactating Dairy Cows: A Meta-Analysis. *Journal of Dairy*

Science. 1 février 2006. Vol. 89, n° 2, pp. 537-548. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(06)72116-6.

COTNER, Sarah, SMITH, Kelly M, SIMPSON, Leah, BURGESS, David S et CAIN, Jeffrey, 2018. 1311. Incorporating an “Escape Room” Game Design in Infectious Diseases Instruction. *Open Forum Infectious Diseases*. 26 novembre 2018. Vol. 5, n° Suppl 1, pp. S401. DOI 10.1093/ofid/ofy210.1144.

CSIKSZENTMIHALYI, Mihaly, 1990. Flow: The Psychology of Optimal Experience. In : . Harper and Row. ISBN 978-0-06-133920-2.

CURTIS, C. R., ERB, H. N., SNIFFEN, C. J., SMITH, R. D., POWERS, P. A., SMITH, M. C., WHITE, M. E., HILLMAN, R. B. et PEARSON, E. J., 1983. Association of parturient hypocalcemia with eight periparturient disorders in Holstein cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1 septembre 1983. Vol. 183, n° 5, pp. 559-561.

CURTIS, Charles R., ERB, Hollis N., SNIFFEN, Charles J., SMITH, R. David et KRONFELD, David S., 1985. Path Analysis of Dry Period Nutrition, Postpartum Metabolic and Reproductive Disorders, and Mastitis in Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*. septembre 1985. Vol. 68, n° 9, pp. 2347-2360. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(85)81109-7.

CURTIS, R A, COTE, J F, MCLENNAN, M C, SMART, J F et ROWE, R C, 1978. Relationship of methods of treatment of relapse rate and serum levels of calcium and phosphorous in parturient hypocalcaemia. *The Canadian Veterinary Journal*. juin 1978. Vol. 19, n° 6, pp. 155-158.

DEGARIS, Peter J. et LEAN, Ian J., 2008. Milk fever in dairy cows: A review of pathophysiology and control principles. *The Veterinary Journal*. avril 2008. Vol. 176, n° 1, pp. 58-69. DOI 10.1016/j.tvjl.2007.12.029.

FATEMI, S., RYZEN, E., FLORES, J., ENDRES, D. B. et RUDE, R. K., 1991. Effect of experimental human magnesium depletion on parathyroid hormone secretion and 1,25-dihydroxyvitamin D metabolism. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. novembre 1991. Vol. 73, n° 5, pp. 1067-1072. DOI 10.1210/jcem-73-5-1067.

GILLET, M., 2015. *L'hypocalcémie subclinique chez la vache laitière : étude terrain dans une clientèle vétérinaire des ardennes*. 2015. Thèse Méd. Vet. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, n°102.

GOFF, J. P., 1999. Treatment of calcium, phosphorus, and magnesium balance disorders. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. novembre 1999. Vol. 15, n° 3, pp. 619-639, viii. DOI 10.1016/s0749-0720(15)30167-5.

GOFF, J. P., REINHARDT, T. A. et HORST, R. L., 1989. Recurring hypocalcemia of bovine parturient paresis is associated with failure to produce 1,25-dihydroxyvitamin D. *Endocrinology*. juillet 1989. Vol. 125, n° 1, pp. 49-53. DOI 10.1210/endo-125-1-49.

GOFF, J. P., REINHARDT, T. A. et HORST, R. L., 1991. Enzymes and factors controlling vitamin D metabolism and action in normal and milk fever cows. *Journal of Dairy Science*. novembre 1991. Vol. 74, n° 11, pp. 4022-4032. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(91)78597-4.

GOFF, J. P., RUIZ, R. et HORST, R. L., 2004. Relative Acidifying Activity of Anionic Salts Commonly Used to Prevent Milk Fever. *Journal of Dairy Science*. 1 mai 2004. Vol. 87, n° 5, pp. 1245-1255. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(04)73275-0.

GOFF, Jesse P., 2008. The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *Veterinary Journal (London, England: 1997)*. avril 2008. Vol. 176, n° 1, pp. 50-57. DOI 10.1016/j.tvjl.2007.12.020.

GOFF, Jesse P., 2014. Calcium and magnesium disorders. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. juillet 2014. Vol. 30, n° 2, pp. 359-381, vi. DOI 10.1016/j.cvfa.2014.04.003.

GUARD, C.L., 1996. Fresh cow problems are costly; culling hurts the most. *Hoard's Dairyman*. 1996. 141:8

GUIGON, Gaëlle, HUMEAU, Jérémie et VERMEULEN, Mathieu, 2018. A Model to Design Learning Escape Games: SEGAM. In : . 15 mars 2018. pp. 191-197.

HARRIS, D. J., 1981. Factors Predisposing to Parturient Paresis. *Australian Veterinary Journal*. 1981. Vol. 57, n° 8, pp. 357-361. DOI 10.1111/j.1751-0813.1981.tb00522.x.

HAYIRLI, A., GRUMMER, R. R., NORDHEIM, E. V. et CRUMP, P. M., 2002. Animal and dietary factors affecting feed intake during the prefresh transition period in Holsteins. *Journal of Dairy Science*. décembre 2002. Vol. 85, n° 12, pp. 3430-3443. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(02)74431-7.

HORII, Cassandra Volpe, 2007. Teaching Insights from Adult Learning Theory. *Journal of Veterinary Medical Education*. octobre 2007. Vol. 34, n° 4, pp. 369-376. DOI 10.3138/jvme.34.4.369.

HORST, R. L., GOFF, J. P. et REINHARDT, T. A., 1990. Advancing age results in reduction of intestinal and bone 1,25-dihydroxyvitamin D receptor. *Endocrinology*. février 1990. Vol. 126, n° 2, pp. 1053-1057. DOI 10.1210/endo-126-2-1053.

HORST, R.L., GOFF, J.P. et REINHARDT, T.A., 1994. Calcium and Vitamin D Metabolism in the Dairy Cow. *Journal of Dairy Science*. juillet 1994. Vol. 77, n° 7, pp. 1936-1951. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(94)77140-X.

JAWOR, P. E., HUZZEY, J. M., LEBLANC, S. J. et VON KEYSERLINGK, M. A. G., 2012. Associations of subclinical hypocalcemia at calving with milk yield, and feeding, drinking, and standing behaviors around parturition in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 1 mars 2012. Vol. 95, n° 3, pp. 1240-1248. DOI 10.3168/jds.2011-4586.

KICHURA, T. S., HORST, R. L., BEITZ, D. C. et LITLEDIKE, E. T., 1982. Relationships between prepartal dietary calcium and phosphorus, vitamin D metabolism, and parturient paresis in dairy cows. *The Journal of Nutrition*. mars 1982. Vol. 112, n° 3, pp. 480-487. DOI 10.1093/jn/112.3.480.

KIMURA, K., REINHARDT, T. A. et GOFF, J. P., 2006. Parturition and hypocalcemia blunts calcium signals in immune cells of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. juillet 2006. Vol. 89, n° 7, pp. 2588-2595. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(06)72335-9.

KOLB, David, 1984. *Experiential Learning: Experience As The Source Of Learning And Development*. ISBN 978-0-13-295261-3.

KOSSAIBATI, M. A. et ESSLEMONT, R. J., 1997. The costs of production diseases in dairy herds in England. *The Veterinary Journal*. 1 juillet 1997. Vol. 154, n° 1, pp. 41-51. DOI 10.1016/S1090-0233(05)80007-3.

LE COUSTUMIER, J., 1994. Approche clinique des névroses vitulaires. *Bulletin des GTV*. 1994. pp. 174. P174

LEAN, I. J., DEGARIS, P. J., MCNEIL, D. M. et BLOCK, E., 2006. Hypocalcemia in Dairy Cows: Meta-analysis and Dietary Cation Anion Difference Theory Revisited. *Journal of Dairy Science*. 1 février 2006. Vol. 89, n° 2, pp. 669-684. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(06)72130-0.

MARTINEZ, N., RISCO, C. A., LIMA, F. S., BISINOTTO, R. S., GRECO, L. F., RIBEIRO, E. S., MAUNSELL, F., GALVÃO, K. et SANTOS, J. E. P., 2012. Evaluation of peripartal calcium status, energetic profile, and neutrophil function in dairy cows at low or high risk of developing uterine disease. *Journal of Dairy Science*. 1 décembre 2012. Vol. 95, n° 12, pp. 7158-7172. DOI 10.3168/jds.2012-5812.

MARTINEZ, N., SINEDINO, L. D. P., BISINOTTO, R. S., RIBEIRO, E. S., GOMES, G. C., LIMA, F. S., GRECO, L. F., RISCO, C. A., GALVÃO, K. N., TAYLOR-RODRIGUEZ, D., DRIVER, J. P., THATCHER, W. W. et SANTOS, J. E. P., 2014. Effect of induced subclinical hypocalcemia on physiological responses and neutrophil function in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 1 février 2014. Vol. 97, n° 2, pp. 874-887. DOI 10.3168/jds.2013-7408.

MAYER, G. P., RAMBERG, C. F., KRONFELD, D. S., BUCKLE, R. M., SHERWOOD, L. M., AURBACH, G. D. et POTTS, J. T., 1969. Plasma parathyroid hormone concentration in hypocalcemic parturient cows. *American Journal of Veterinary Research*. septembre 1969. Vol. 30, n° 9, pp. 1587-1597.

MCART, J. A. A. et NEVES, R. C., 2020. Association of transient, persistent, or delayed subclinical hypocalcemia with early lactation disease, removal, and milk yield in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 1 janvier 2020. Vol. 103, n° 1, pp. 690-701. DOI 10.3168/jds.2019-17191.

MELLENDEZ, P., BARTOLOME, J., ROESCHMANN, C., SOTO, B., AREVALO, A., MÖLLER, J. et COARSEY, M., 2021. The association of prepartum urine pH, plasma total calcium concentration at calving and postpartum diseases in Holstein dairy cattle. *Animal*. 1 mars 2021. Vol. 15, n° 3, pp. 100148. DOI 10.1016/j.animal.2020.100148.

MELLENDEZ, P., DONOVAN, A., RISCO, C. A., HALL, M. B., LITTELL, R. et GOFF, J., 2002. Metabolic responses of transition Holstein cows fed anionic salts and supplemented at calving with calcium and energy. *Journal of Dairy Science*. mai 2002. Vol. 85, n° 5, pp. 1085-1092. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(02)74169-6.

MELLENDEZ, Pedro et CHELIKANI, Prasanth K., 2022. Review: Dietary cation-anion difference to prevent hypocalcemia with emphasis on over-acidification in prepartum dairy cows. *animal*. 1 octobre 2022. Vol. 16, n° 10, pp. 100645. DOI 10.1016/j.animal.2022.100645.

MESCHY, François, 2017. *Nutrition minérale des ruminants : Nouvelle édition Ed. 2* [en ligne]. Editions Quae. [Consulté le 29 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://univ-scholarvox-com.gorgone.univ-toulouse.fr/book/88877878>

MESCHY, François, 2023. *Nutrition des ruminants (nouvelle édition)*. Quae. Versailles, France.

MESCHY, François et PEYRAUD, J.L, 2004. Teneurs en ions forts des fourrages et calcul de la valeur de leur bilan alimentaire cations anions et de leur bilan électrolytique. *Journées 3R : Rencontres – Recherches – Ruminants*. 2 décembre 2004. pp. 255-258.

MOSSOP, Liz H. et COBB, Kate, 2013. Teaching and assessing veterinary professionalism. *Journal of Veterinary Medical Education*. 2013. Vol. 40, n° 3, pp. 223-232. DOI 10.3138/jvme.0113-016R.

MURRAY, R. D., HORSFIELD, J. E., MCCORMICK, W. D., WILLIAMS, H. J. et WARD, D., 2008. Historical and current perspectives on the treatment, control and pathogenesis of milk fever in dairy cattle. *The Veterinary Record*. 8 novembre 2008. Vol. 163, n° 19, pp. 561-565. DOI 10.1136/vr.163.19.561.

NEVES, R. C., LENO, B. M., CURLER, M. D., THOMAS, M. J., OVERTON, T. R. et MCART, J. a. A., 2018. Association of immediate postpartum plasma calcium concentration with early-lactation clinical diseases, culling, reproduction, and milk production in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. janvier 2018. Vol. 101, n° 1, pp. 547-555. DOI 10.3168/jds.2017-13313.

NEVES, R. C., LENO, B. M., STOKOL, T., OVERTON, T. R. et MCART, J. a. A., 2017. Risk factors associated with postpartum subclinical hypocalcemia in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. mai 2017. Vol. 100, n° 5, pp. 3796-3804. DOI 10.3168/jds.2016-11970.

OETZEL, G. R., 1991. Meta-analysis of nutritional risk factors for milk fever in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. novembre 1991. Vol. 74, n° 11, pp. 3900-3912. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(91)78583-4.

OETZEL, G. R., 2000a. Management of dry cows for the prevention of milk fever and other mineral disorders. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. juillet 2000. Vol. 16, n° 2, pp. 369-386, vii. DOI 10.1016/s0749-0720(15)30110-9.

OETZEL, G. R., 2000b. Management of dry cows for the prevention of milk fever and other mineral disorders. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. juillet 2000. Vol. 16, n° 2, pp. 369-386, vii. DOI 10.1016/s0749-0720(15)30110-9.

OETZEL, Garrett R., 2013. Oral Calcium Supplementation in Peripartum Dairy Cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 1 juillet 2013. Vol. 29, n° 2, pp. 447-455. DOI 10.1016/j.cvfa.2013.03.006.

PETIT, A, NADAM, P et FENAERT, M, 2019. *S'capade pédagogique avec les jeux d'évasion*. Ellipse. Ellipse. ISBN 978-2-340-03546-1.

RAJALA-SCHULTZ, P. J., GRÖHN, Y. T. et MCCULLOCH, C. E., 1999. Effects of Milk Fever, Ketosis, and Lameness on Milk Yield in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 1 février 1999. Vol. 82, n° 2, pp. 288-294. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(99)75235-5.

REINHARDT, Timothy A., LIPPOLIS, John D., MCCLUSKEY, Brian J., GOFF, Jesse P. et HORST, Ronald L., 2011. Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. *Veterinary Journal (London, England: 1997)*. avril 2011. Vol. 188, n° 1, pp. 122-124. DOI 10.1016/j.tvjl.2010.03.025.

RISCO, C. A., REYNOLDS, J. P. et HIRD, D., 1984. Uterine prolapse and hypocalcemia in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 15 décembre 1984. Vol. 185, n° 12, pp. 1517-1519.

RODRÍGUEZ, E. M., ARÍS, A. et BACH, A., 2017. Associations between subclinical hypocalcemia and postparturient diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 1 septembre 2017. Vol. 100, n° 9, pp. 7427-7434. DOI 10.3168/jds.2016-12210.

S'CAPE-Créer SON énigme, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 28 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://scape.enepe.fr/creer-son-énigme.html>

S'CAPE-Oser franchir la ligne, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 28 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://scape.enepe.fr/lineaire-convergent.html>

S'CAPE-Vers une typologie des énigmes, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 29 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://scape.enepe.fr/typologie-énigmes.html>

VAN DE BRAAK, A. E., VAN'T KLOOSTER, A. T. et MALESTEIN, A., 1987. Influence of a deficient supply of magnesium during the dry period on the rate of calcium mobilisation by dairy cows at parturition. *Research in Veterinary Science*. janvier 1987. Vol. 42, n° 1, pp. 101-108.

VELDKAMP, Alice, GRINT, Liesbeth, KNIPPELS, Marie-Christine et VAN JOOLINGEN, Wouter, 2020. Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review*. 1 novembre 2020. Vol. 31, pp. 100364. DOI 10.1016/j.edurev.2020.100364.

VENJAKOB, P. L., BORCHARDT, S. et HEUWIESER, W., 2017. Hypocalcemia-Cow-level prevalence and preventive strategies in German dairy herds. *Journal of Dairy Science*. novembre 2017. Vol. 100, n° 11, pp. 9258-9266. DOI 10.3168/jds.2016-12494.

VENJAKOB, P. L., PIEPER, L., HEUWIESER, W. et BORCHARDT, S., 2018. Association of postpartum hypocalcemia with early-lactation milk yield, reproductive performance, and culling in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. octobre 2018. Vol. 101, n° 10, pp. 9396-9405. DOI 10.3168/jds.2017-14202.

VIEIRA-NETO, A., LEÃO, I. M. R., PRIM, J. G., SILVA, A. C. M., NEHME MARINHO, M., ZIMPEL, R., ETHEVE, S., NELSON, C. D. et SANTOS, J. E. P., 2021. Effect of duration of exposure to diets differing in dietary cation-anion difference on Ca metabolism after a parathyroid hormone challenge in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. janvier 2021. Vol. 104, n° 1, pp. 1018-1038. DOI 10.3168/jds.2020-19127.

WÄCHTER, S., COHRS, I., GOLBECK, L., WILKENS, M. R. et GRÜNBERG, W., 2022. Effects of restricted dietary phosphorus supply to dry cows on periparturient calcium status. *Journal of Dairy Science*. 1 janvier 2022. Vol. 105, n° 1, pp. 748-760. DOI 10.3168/jds.2021-20726.

WILKENS, Mirja R., NELSON, Corwin D., HERNANDEZ, Laura L. et MCART, Jessica A. A., 2020. Symposium review: Transition cow calcium homeostasis—Health effects of hypocalcemia and strategies for prevention. *Journal of Dairy Science*. 1 mars 2020. Vol. 103, n° 3, pp. 2909-2927. DOI 10.3168/jds.2019-17268.

WOLTER, Roger et PONTER, Andrew, 2019. *Alimentation de la vache laitière*. Paris : Editions France Agricole. ISBN 978-2-85557-672-5.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire d'évaluation du ressenti des joueurs

Jeu sérieux

En quelle année êtes-vous ?

- A2 A5
 A3 A6
 A4 Autre

Qu'attendez-vous d'un jeu sérieux ? (quelques mots/expressions)

Tapez votre texte ici

Etes-vous familier avec les jeux de type escape-game ou escape-cards ?

- Oui Non

Ressenti personnel

Vous avez joué à ce jeu

- Seul En équipe

Si vous avez joué en équipe : combien étiez-vous dans l'équipe ?

- 2 4 et +
 3

Si vous avez joué en équipe : avez vous tiré des bénéfices de ce jeu en groupe ou était-ce délétère pour la réalisation du jeu et pourquoi ?

Tapez votre texte ici

Aspect ludique

Vous êtes-vous ennuyé(e) en jouant à ce jeu ?

1	2	3	4	5
Jamais			Très souvent	

Si oui : A quel moment du jeu vous êtes vous ennuyé ?

Tapez votre texte ici

Aspect pédagogique

Avez-vous acquis/remobilisé des connaissances en alimentation grâce à ce jeu ?

- Oui, beaucoup Non, pas du tout
 Oui, quelques-unes

Ce jeu est-il approprié pour répondre aux objectifs suivants :

	Tout à fait	Plutôt	Plutôt pas	Pas du tout
Mise en oeuvre pratique de l'audit alimentaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Savoir interpréter les résultats d'une analyse de ration dans le cadre d'un problème de fièvre de lait	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acquérir/remobiliser ses connaissances sur la notion de BACA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acquérir/remobiliser ses connaissances sur la nutrition minérale au tarissement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Les notions abordées dans ce jeu vous semblent-elles pertinentes par rapport à ce qui vous semblerait utile de maîtriser une fois sur le terrain ?

Tapez votre texte ici

Conception du jeu

En combien de temps avez-vous fini le jeu ? (minutes)

Difficulté de compréhension des règles du jeu :

Très facile Très difficile

Difficulté de la partie :

Trop simple Trop difficile

Difficulté des questions de cours

Difficulté des énigmes

Evaluez la qualité des supports du jeu :

Très bien Très mauvais

Fonctionnalité des supports numériques

Aspect des supports numériques

Aspect des cartes

Remarques éventuelles sur la structure du jeu/ les énigmes :

Tapez votre texte ici

Intégration au programme

Etes-vous favorable à l'intégration de ce jeu (ou d'un jeu similaire en format) dans l'enseignement d'alimentation de l'ENVT ?

- Oui Non

Si ce jeu ou un jeu similaire était proposé au cours de séances facultatives pendant l'année, participeriez-vous ?

- Oui Non

Si non , pourquoi ?

Tapez votre texte ici

Aux étudiants de quelle(s) année(s) ce jeu s'adapte-t-il le mieux selon vous ?

- A2 A5
 A3 A6
 A4

Si vous pensez qu'il ne s'adapte pas le mieux à votre année d'étude, pourquoi ?

Tapez votre texte ici

Vue d'ensemble

Notez l'équilibre entre apprentissage et amusement , ce jeu était-il :

- Trop sérieux
- Plus ludique
- Plus sérieux
- Trop ludique
- Bien équilibré

Pensez vous que l'aspect ludique de cet exercice vous aidera à retenir les informations/enseignements dispensés au cours du jeu ?

- Tout à fait
- Plutôt pas
- Plutôt
- Pas du tout, c'est même un frein

Merci de votre participation !

Annexe 2 : Questionnaire d'évaluation des connaissances

Questionnaire

Une vache couchée après le vêlage vous évoque quelles maladies/affections ?

Tapez votre texte ici

Devant un problème de fièvre de lait dans un élevage vous vous intéressez à la ration de quels individus ?

Vaches en début de lactation

Vaches en début de tarissement

Vaches en fin de lactation

Vaches en fin de tarissement

Qu'est-ce que le BACA d'une ration ?

Tapez votre texte ici

Expliquez comment le BACA de la ration influence le risque de fièvre de lait dans un troupeau :

Tapez votre texte ici

Parmi les paramètres suivants, dans le cadre d'une ration de tarissement, lesquels diminuent le risque de fièvre de lait ?

Quantité importante de phosphore dans la ration

Quantité faible de phosphore dans la ration

BACA élevé

BACA faible

Quantité importante de calcium dans la ration

Quantité faible de calcium dans la ration

Apport en énergie important

Apport en énergie faible

Quantité importante de magnésium dans la ration

Quantité faible de magnésium dans la ration

La formule simplifiée permettant de calculer le BACA d'un aliment/d'une ration est :

$(Na + K) - (Cl + S)$

$(Cl + S) - (Na + K)$

$(Ca + Mg) - (P + S)$

$(P + K) - (Ca + Mg)$

L'utilisation de sels anioniques comme le chlorure de magnésium dans une ration permet de :

Diminuer son BACA

Augmenter son BACA

Quels aliments possèdent une teneur élevée de potassium ?

Fourrages verts

Ensilage de maïs

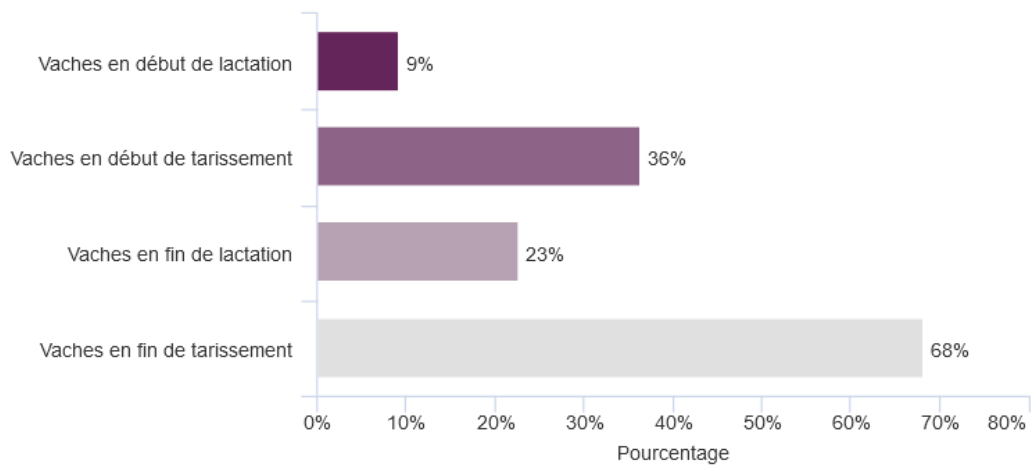
Tourteau de soja

Racines et tubercules

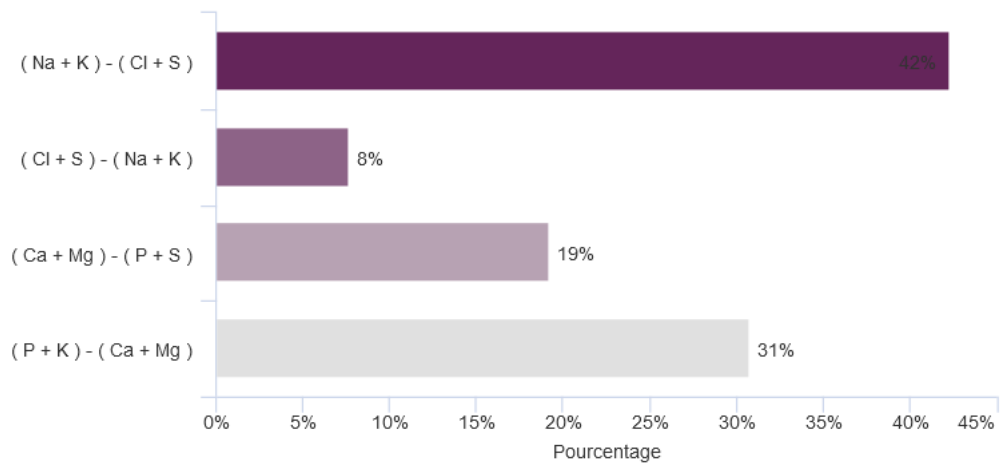
Céréales

Annexe 3 : Réponses au questionnaire de connaissances pré-jeu

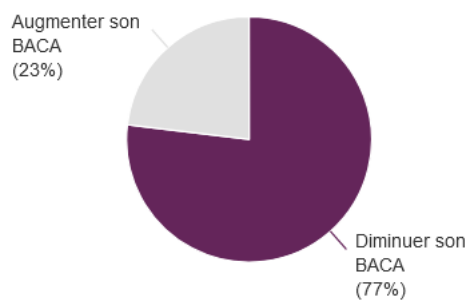
Devant un problème de fièvre de lait dans un élevage vous vous intéressez à la ration de quels individus ?



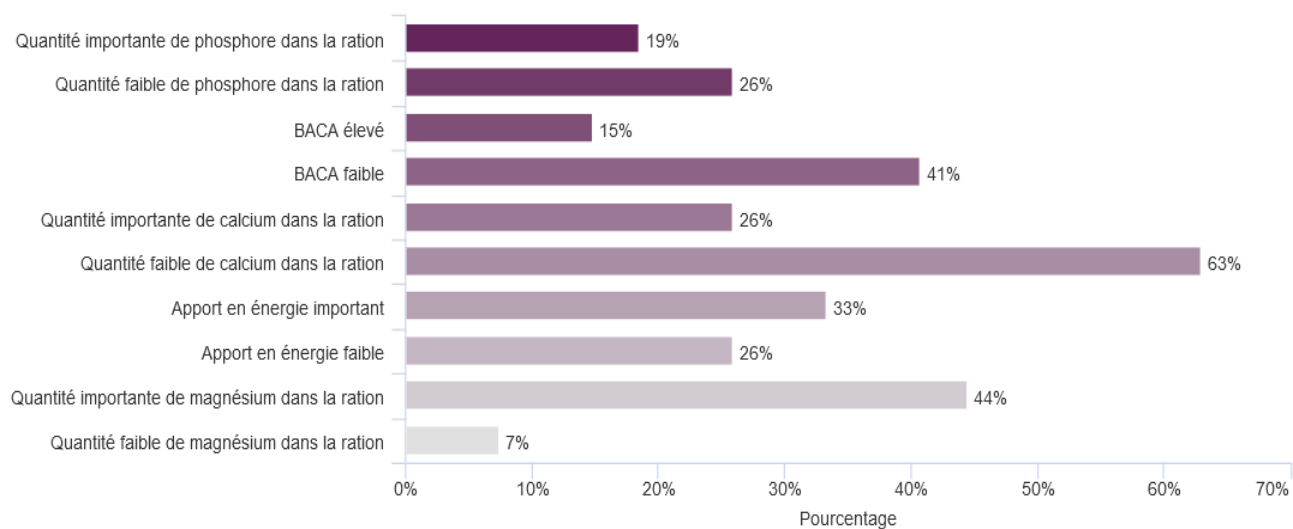
La formule simplifiée permettant de calculer le BACA d'un aliment/d'une ration est :



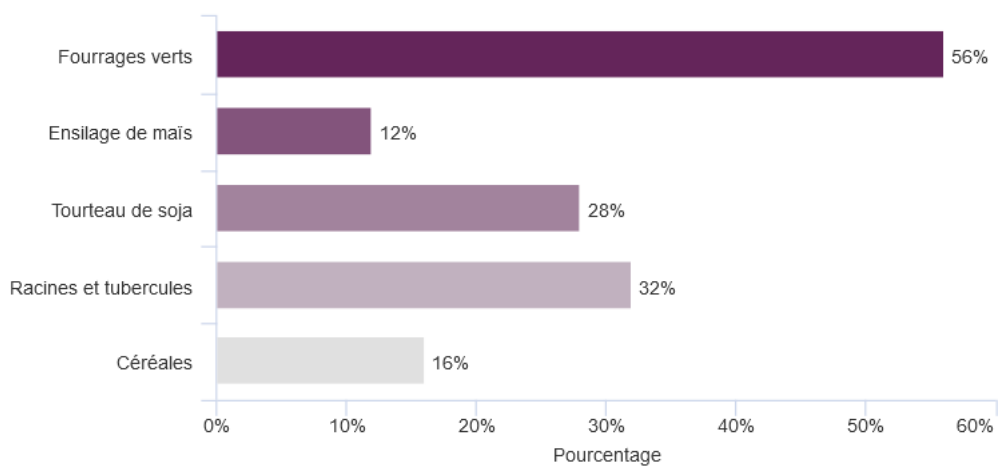
L'utilisation de sels anioniques comme le chlorure de magnésium dans une ration permet de :



Parmi les paramètres suivants, dans le cadre d'une ration de tarissement, lesquels diminuent le risque de fièvre de lait ?

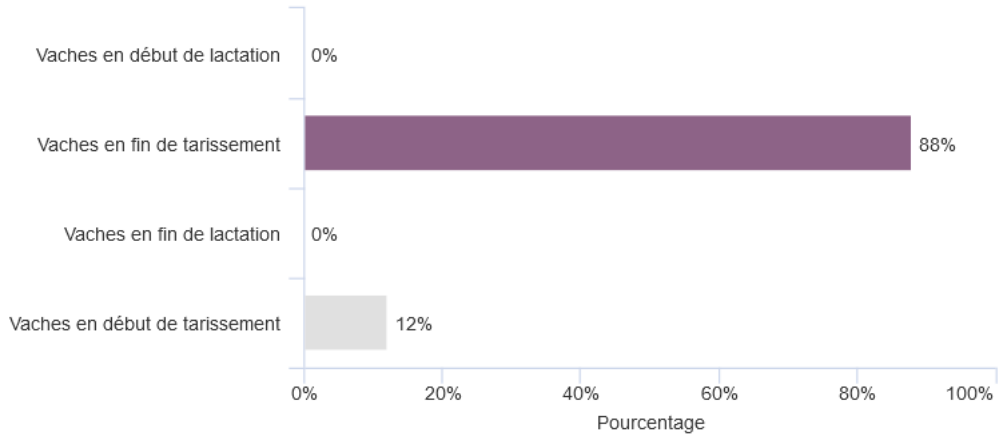


Quels aliments possèdent une teneur élevée de potassium ?

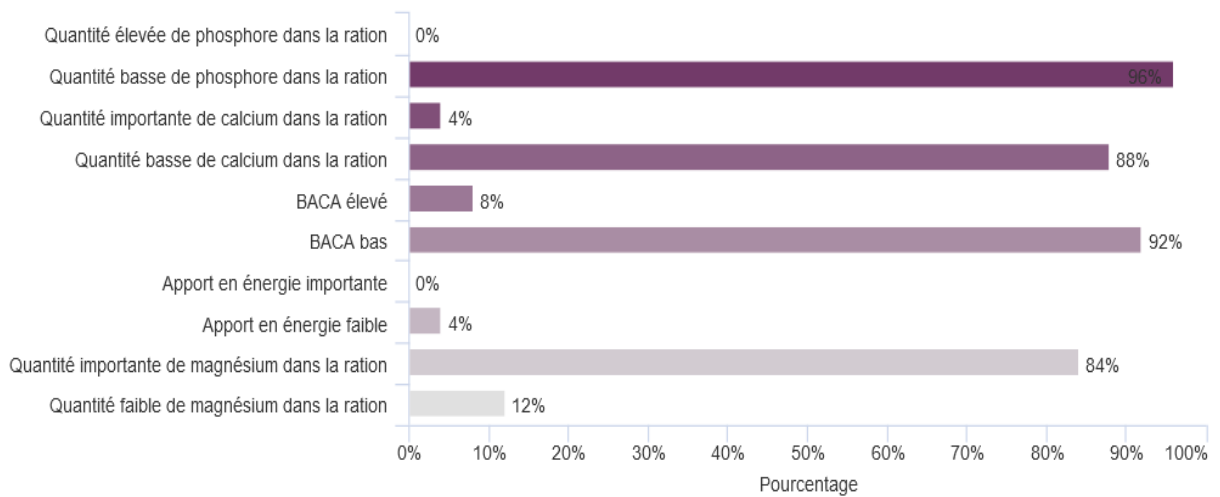


Annexe 4 : Réponses au questionnaire de connaissances Post-Jeu

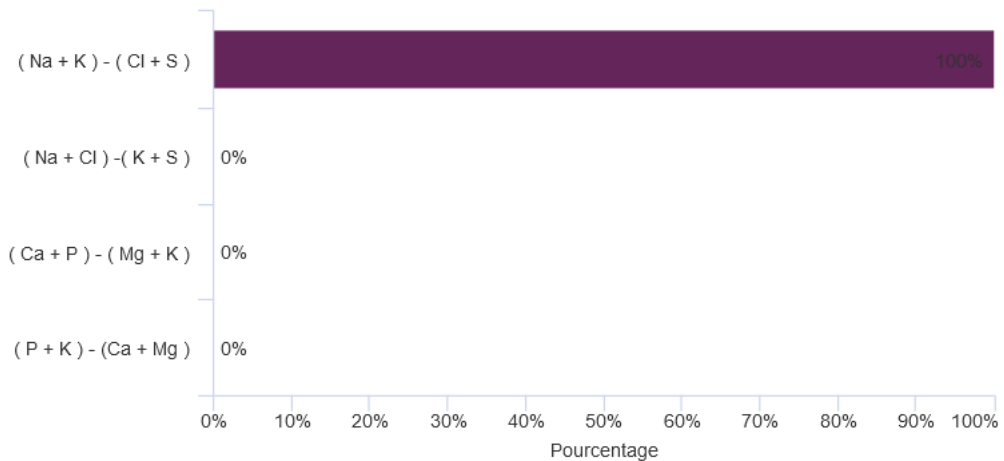
Devant un problème de fièvre de lait dans un élevage vous vous penchez sur la ration de quels individus ?



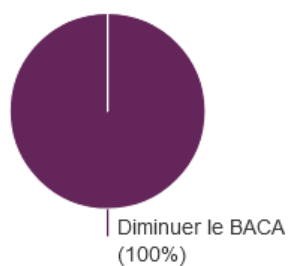
Parmi les éléments suivants caractérisant la ration de tarissement, lesquels diminuent le risque de fièvre de lait ?



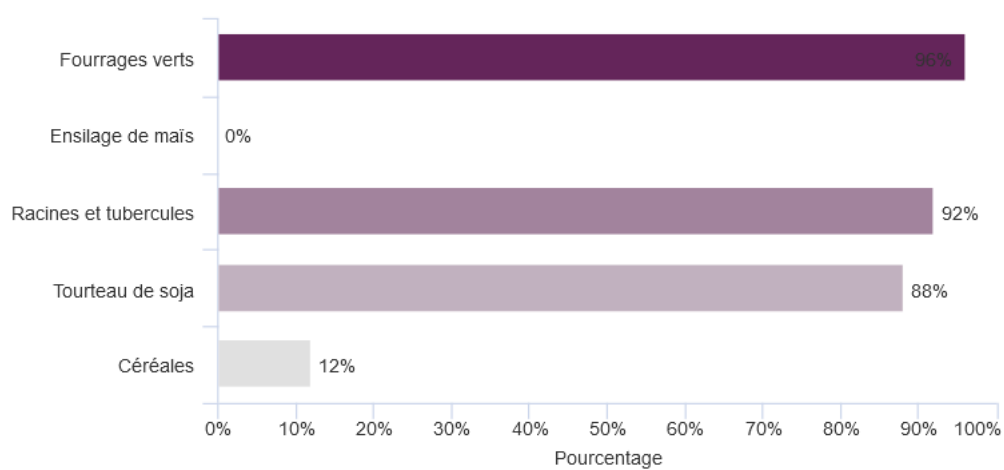
La formule simplifiée utilisée pour calculer le BACA est :



L'utilisation de sels anioniques comme le chlorure de magnésium dans une ration permet de :

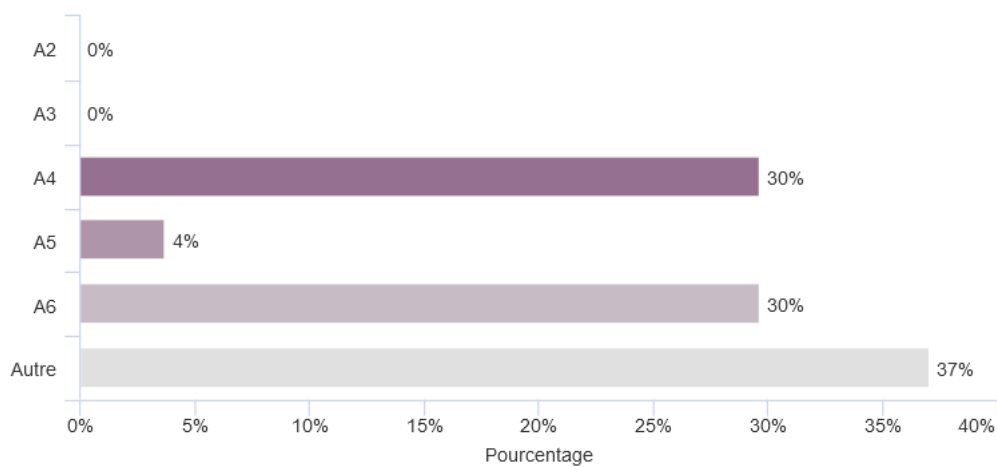


Quels aliments possèdent une teneur élevée en potassium ?

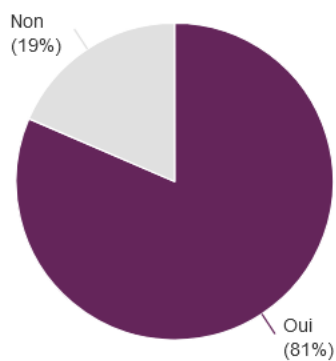


Annexe 5 : Réponses au questionnaire d'évaluation du ressenti des joueurs

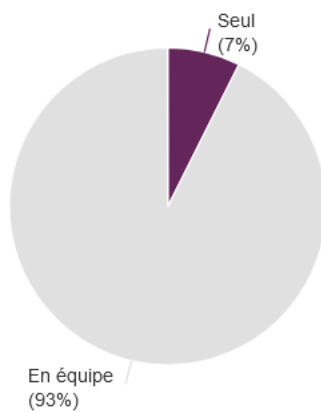
En quelle année êtes-vous ?



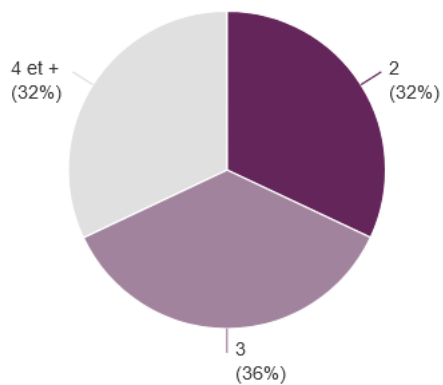
Etes-vous familier avec les jeux de type escape-game ou escape-cards ?



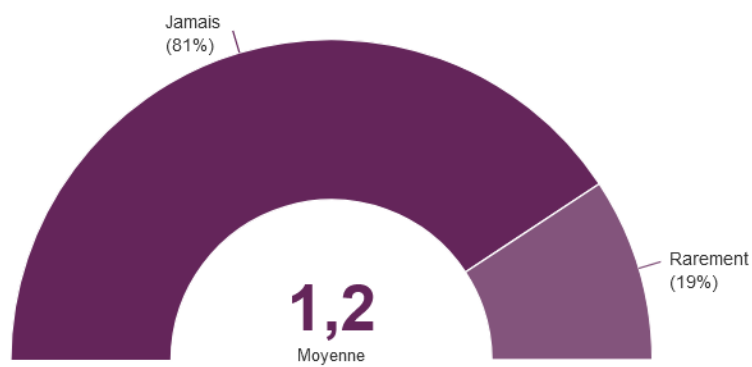
Vous avez joué à ce jeu



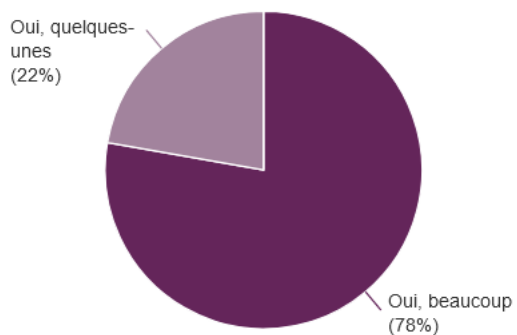
Si vous avez joué en équipe : combien étiez-vous dans l'équipe ?



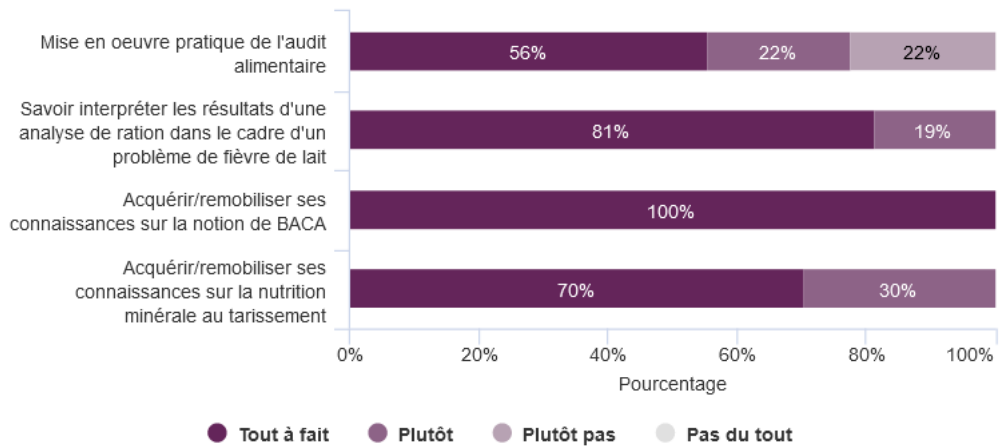
Vous êtes-vous ennuyé(e) en jouant à ce jeu ?



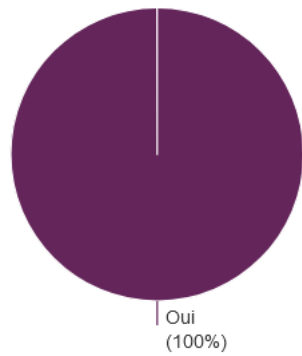
Avez-vous acquis/remobilisé des connaissances en alimentation grâce à ce jeu ?



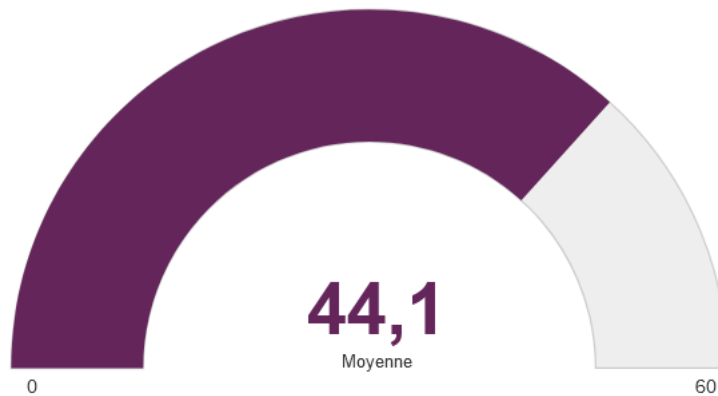
Ce jeu est-il approprié pour répondre aux objectifs suivants :



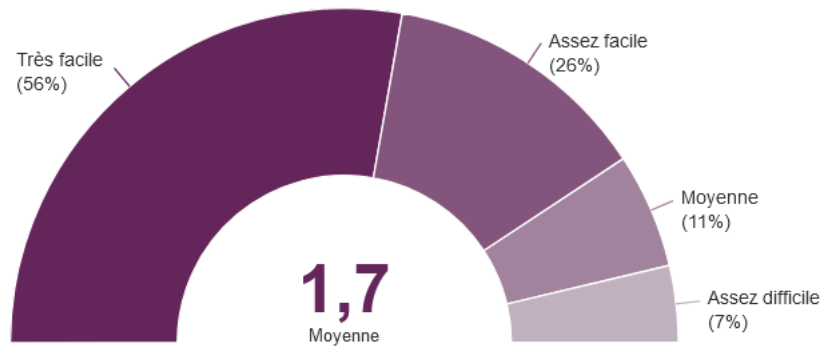
Etes-vous favorable à l'intégration de ce jeu (ou d'un jeu similaire en format) dans l'enseignement d'alimentation de l'ENVT ?



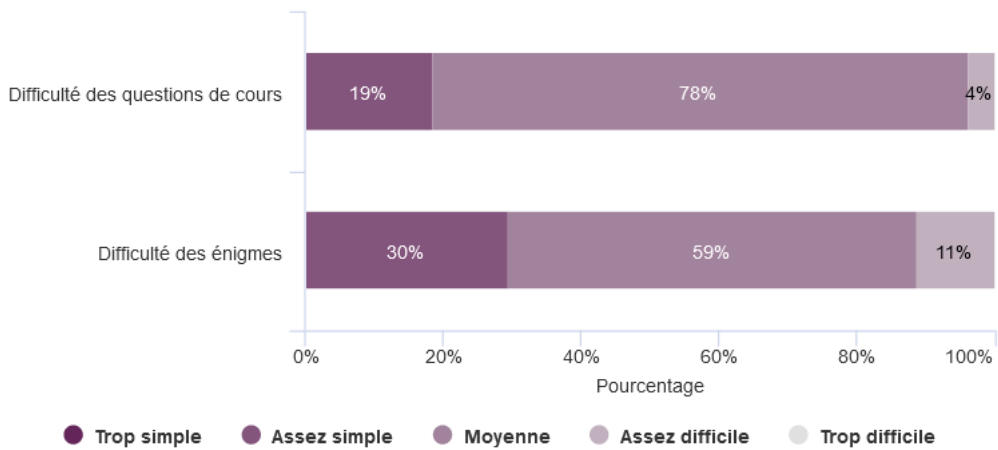
En combien de temps avez-vous fini le jeu ? (minutes)



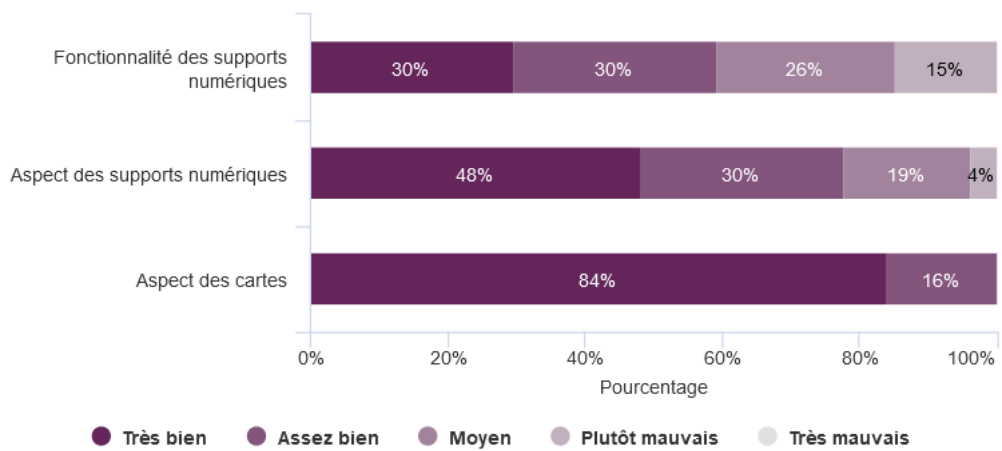
Difficulté de compréhension des règles du jeu :



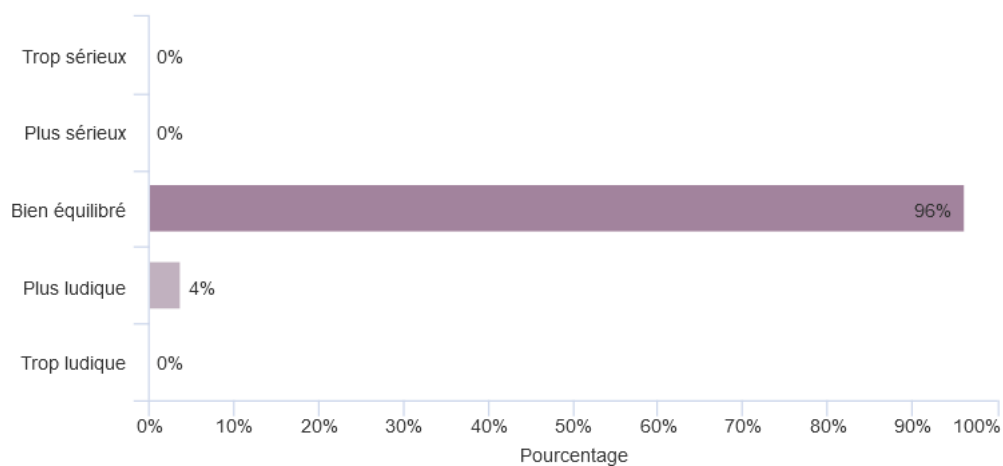
Difficulté de la partie :



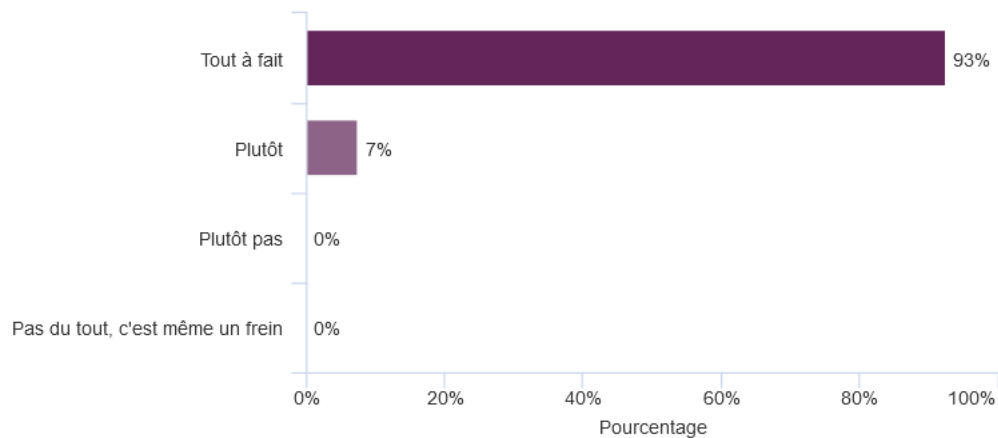
Evaluez la qualité des supports du jeu :



Notez l'équilibre entre apprentissage et amusement , ce jeu était-il :



Pensez vous que l'aspect ludique de cet exercice vous aidera à retenir les informations/enseignements dispensés au cours du jeu ?



Charlotte DECROOCQ

Conception d'un Jeu Sérieux en alimentation des vaches laitières : exemple de la gestion de la fièvre de lait à l'échelle d'un troupeau

RESUME

L'apprentissage de la nutrition animale, notamment de la nutrition des ruminants, est un exercice nécessitant la mise en pratique de connaissances acquises en cours magistraux. Si des séances de travaux pratiques destinées aux étudiants de A2 et A3 permettent l'apprentissage actif de la matière à l'ENVT, les occasions pour continuer à s'exercer sur des cas pratiques peuvent être aléatoires au cours des années de formation suivantes. L'objectif de cette thèse était donc de proposer un format d'exercice pour les étudiants de A4, A5 et A6 leur permettant de s'exercer à la gestion pratique d'un trouble métabolique comme la fièvre de lait à l'échelle d'un élevage. Pour favoriser l'immersion des étudiants dans l'exercice, un jeu sérieux basé sur le concept des *Escape cards* a été conçu. Il a pour objectif d'être mis à disposition des étudiants dans le cadre de la salle de simulation de l'ENVT.

MOTS CLES: Jeu sérieux, Alimentation des bovins, Pathologie bovine, Enseignement actif, Hypocalcémie, Fièvre de lait, *Escape game*, *Escape cards*

Design of a Serious Game on dairy cow nutrition : example of the management of milk fever problems in a herd

SUMMARY

Learning about animal nutrition and in particular ruminant nutrition is an exercise requiring the practical application of knowledge acquired in lectures. While practical work sessions for second and third year students allow active learning of the subject at ENVT, opportunities to continue practicing on practical cases can be random in subsequent years of training. The aim of this thesis was therefore to build a learning exercise to allow fourth, fifth and sixth year students to practice the nutritional management of a metabolic disorder such as milk fever on a farm level. To encourage students' immersion in the exercise, a serious game based on the concept of Escape Card games was designed. This game is designed to be made available to students in the simulation room of the school.

KEYWORDS: Serious game, Cattle nutrition, Bovine pathology, Active teaching, Hypocalcemia, Milk fever, *Escape game*, *Escape cards*