



**HAL**  
open science

# Élaboration d'un jeu sérieux à but pédagogique pour l'apprentissage de la nutrition des carnivores domestique en cas de maladie rénale à destination des élèves de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Lisa Demesmay

## ► To cite this version:

Lisa Demesmay. Élaboration d'un jeu sérieux à but pédagogique pour l'apprentissage de la nutrition des carnivores domestique en cas de maladie rénale à destination des élèves de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse. Médecine vétérinaire et santé animale. 2024. dumas-04759803

**HAL Id: dumas-04759803**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04759803v1>**

Submitted on 30 Oct 2024

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

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

# ÉLABORATION D'UN JEU SÉRIEUX À BUT PÉDAGOGIQUE POUR L'APPRENTISSAGE DE LA NUTRITION DES CARNIVORES DOMESTIQUES EN CAS DE MALADIE RÉNALE, À DESTINATION DES ÉLÈVES DE L'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

---

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de  
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

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

**DEMESMAY Lisa, Meg, Tepoe**

Née le 05/05/1999 à PONTARLIER (25)

Directrice de thèse : **Mme Annabelle MEYNADIER**

---

## JURY

PRESIDENTE :

**Mme Isabelle RAYMOND-LETRON**

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :

**Mme Annabelle MEYNADIER**

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Mme Armelle DIQUELOU**

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITÉE :

**Mme Tiphaine BLANCHARD**

Docteure vétérinaire 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*
- 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<sup>ère</sup> CLASSE**

- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- 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<sup>ème</sup> CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- 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*

## **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**, *Microbiologie et infectiologie*  
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

A Madame le Docteur Isabelle LETRON-RAYMOND,  
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Anatomie Pathologique.  
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.  
Hommages respectueux.

A Madame le Docteur Armelle DIQUELOU,  
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Pathologie médicale des équidés  
et des carnivores.  
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de participer à mon jury de thèse.  
Sincères remerciements.

A Madame le Docteur Anabelle MEYNADIER,  
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Alimentation animale.  
Pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse. Pour votre accompagnement, vos  
conseils avisés et pour votre disponibilité le long de ce travail.  
Toute ma reconnaissance.

A Madame le Docteur Tiphaine BLANCHARD,  
Docteur Vétérinaire à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Nutrition.  
Pour ton investissement, ta disponibilité et ton aide précieuse à la rédaction de cette  
thèse.  
Toute ma gratitude.





# Table des matières

Remerciements .....	1
Table des illustrations.....	6
Figures .....	6
Tableaux .....	6
Captures d'écran .....	7
Annexes .....	8
Liste des abréviations.....	8
Introduction.....	9
<b>PARTIE 1 : LA MALADIE RÉNALE CHRONIQUE .....</b>	<b>11</b>
I.    Physiologie rénale .....	11
1.    Filtration glomérulaire .....	12
2.    Fonctions tubulaires.....	12
3.    Fonctions endocrines.....	13
4.    Fonctions cataboliques .....	15
II.   Physiopathologie de la maladie rénale chronique.....	16
1.    Expression tardive des signes cliniques .....	16
2.    Progression des lésions .....	16
3.    Anomalies biologiques provoquées par la MRC .....	19
4.    Conséquences cliniques de la MRC.....	24
III.  Caractérisation de la MRC.....	28
1.    Epidémiologie et étiologie des néphropathies .....	28
2.    Directives de l' <i>International Renal Interest Society</i> .....	31
IV.  Gestion médicale de la MRC .....	35
V.   Conclusion partielle de la partie I.....	37
<b>PARTIE 2 : GESTION ALIMENTAIRE DE LA MRC .....</b>	<b>39</b>
I.    Apport en calories .....	39
1.    Intérêt de la gestion de l'apport calorique .....	39
2.    Gestion pratique de l'apport calorique.....	39
II.   Apport en eau.....	41
1.    Intérêt de la gestion de l'apport hydrique.....	41
2.    Gestion pratique de l'apport hydrique .....	42
III.  Apport en phosphore .....	43
1.    Intérêt de la restriction phosphorée.....	43
2.    Influence de la nature de la source phosphorée .....	45

3.	Autres facteurs de régulation de la phosphatémie .....	45
4.	Gestion pratique de l'apport phosphoré .....	46
5.	Utilisation de chélateurs de phosphore.....	47
IV.	Apport en protéines .....	48
1.	Intérêt de la restriction protéique .....	48
2.	Gestion pratique de l'apport protéique.....	50
V.	Apport en matières grasses.....	52
1.	Intérêt de la supplémentation en acides gras .....	52
2.	Gestion pratique de la complémentation en acides gras .....	54
V.	Apport en fibres.....	57
1.	Intérêt de la supplémentation en fibres fermentescibles .....	57
2.	Gestion pratique de l'apport en fibres fermentescibles.....	58
VI.	Apport en électrolytes.....	59
1.	Intérêt de la gestion de l'apport électrolytique.....	59
2.	Gestion pratique de l'apport électrolytique .....	60
VII.	Apport en antioxydants, vitamines et oligo-éléments .....	62
1.	Intérêt de la supplémentation en antioxydants, vitamines et oligo-éléments .....	62
2.	Gestion pratique de l'apport en antioxydants, vitamines et oligo-éléments.....	64
VIII.	Conclusion partielle de la partie II .....	66
PARTIE 3 : Le jeu sérieux .....		69
I.	Définition et perspectives d'utilisation du jeu sérieux.....	69
1.	Définition et origine du jeu sérieux .....	69
2.	Intérêt du jeu sérieux.....	70
3.	Critères de réussite .....	70
4.	Limites du jeu sérieux .....	71
II.	Attentes des étudiants .....	73
1.	Organisation de l'enseignement de nutrition des carnivores domestiques à l'ENVT .....	73
2.	Perception de l'enseignement par les étudiants .....	73
III.	Logiciel VTS editor .....	74
1.	Présentation de l'outil.....	74
2.	Conception d'un scénario .....	75
IV.	Construction des cas .....	86
V.	Conclusion partielle de la partie III.....	86
Discussion.....		88
I.	Difficultés rencontrées lors de l'élaboration du jeu .....	88
1.	Recommandations nutritionnelles pour la prise en charge de la MRC.....	88

2. Limites du jeu sérieux .....	88
II. Retour d'expérience et perspectives de développement .....	89
1. Avis sur les scénarios développés .....	89
2. Perspectives de développement.....	89
Conclusion .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Bibliographie .....	93
Annexes .....	101

# Table des illustrations

## Figures

Figure 1 : anatomie fonctionnelle de l'appareil urinaire d'après (Anderson, Smith 1995 ; Betts et al. 2013).....	11
Figure 2 : les réabsorptions et les sécrétions tubulaires au niveau des différentes portions du néphron d'après (Fontaine 2001) .....	13
Figure 3 : les interactions entre les différents mécanismes d'adaptation à la MRC et leur impact sur la production de radicaux libres.....	18
Figure 4 : les mécanismes compensateurs de l'apparition de néphropathies décrits dans la théorie des forces opposées, à l'origine d'un équilibre entre maintien et altération du DFG d'après (Brown et al. 1997).....	19
Figure 5 : la régulation du métabolisme phospho-calcique met en jeu les glandes parathyroïdes, les reins, les os et le tube digestif sous l'action de la PTH, du calcitriol (vitamine D3) et du facteur FGF-23 d'après (Trumel 2022) .....	21
Figure 6 : les conséquences fonctionnelles de la MRC et les principaux signes cliniques associés d'après (Blanchard 2024) .....	27
Figure 7 : classification du stade d'évolution de la MRC d'après l'International Renal Interest Society...	33
Figure 8 : les recommandations thérapeutiques pour les animaux atteints de MRC en fonction du stade IRIS de la maladie .....	36
Figure 9 : les effets comparés des sources d'AGPI sur les fonctions et les structures rénales d'après (Fontaine 2001) .....	53

## Tableaux

Tableau 1 : principales modifications des paramètres biochimiques, hématologiques et biologiques chez les chiens et les chats atteints de MRC d'après (Cotard 2002 ; Bartges, Polzin 2011) .....	24
Tableau 2 : pourcentage moyen d'animaux atteint de MRC présentant les principaux signes cliniques associés à la maladie d'après (Cotard 2002 ; Lavoue 2024).....	25
Tableau 3 : les néphropathies responsables d'une MRC chez les carnivores domestiques en fonction de leur localisation d'après (Fontaine 2001 ; Chew, DiBartola, Schenck 2011 ; Nelson, Guillermo Couto 2014).....	30
Tableau 4 : les apports énergétiques recommandés chez le chien en fonction du stade physiologique d'après (NRC 2006).....	40
Tableau 5 : les apports énergétiques recommandés chez le chat en fonction du stade physiologique d'après (NRC 2006).....	40
Tableau 6 : les différentes études des effets de la teneur et de la nature du phosphore de la ration sur la fonction rénale des animaux atteints de MRC, d'après (Slatopolsky et al. 1972 ; Ross, Finco, Crowell 1982 ; Finco et al. 1992 ; King et al. 2007 ; Dobenecker et al. 2018 ; Coltherd et al. 2019 ; Dobenecker, Kienzle, Siedler 2021 ; Dobenecker, Reese, Herbst 2021) .....	44
Tableau 7 : intervalles de phosphatémie cibles pour des chiens et des chats atteints de MRC en fonction du stade IRIS de la maladie d'après (International Renal Interest Society 2023a ; International Renal Interest Society 2023b) .....	47

Tableau 8 : les différents chélateurs de phosphore et leur modalités d'utilisation chez le chien et le chat atteints de MRC d'après (Cotard 2002 ; Bartges, Polzin 2011 ; Damnent 2011 ; Feedap 2012 ; King et al. 2014 ; FEEDAP et al. 2022) .....	47
Tableau 9 : les différentes études sur les effets de la teneur en protéines de la ration sur la fonction rénale des animaux atteints de MRC d'après (Robertson et al. 1986 ; Finco et al. 1992 ; Finco et al. 1998 ; Kirk, Hickman 2000 ; Burkholder et al. 2004).....	49
tableau 10 : les différentes études sur les effets de la supplémentation en AGPI w3 sur la fonction rénale des animaux atteints de MRC d'après (Brown et al. 1998 ; Brown et al. 2000 ; Kobayashi et al. 2022).....	54
Tableau 11 : les principales sources d'AGPI w3 d'après (ANSES 2020).....	55
Tableau 12 : les différentes études sur les effets de la supplémentation en fibres solubles sur la fonction rénale des chiens et des chats d'après (Ephraïm, Jewell 2023) .....	58
Tableau 13 : les différentes études sur les effets de la teneur en sodium de la ration sur la fonction rénale des chiens et des chats d'après (Greco et al. 1994 ; Buranakar, Mathur, Brown 2004 ; Xu, Laflamme, Long 2009) .....	59
Tableau 14 : les différentes études sur les effets de la teneur en potassium de la ration sur la fonction rénale des chiens et des chats d'après (Segev et al. 2010 ; Sieberg, Quimby 2020) .....	60
Tableau 15 : apports électrolytiques recommandés en % de la MS d'après (Council et al. 2006 ; Forrester, Adam, Timothy 2010 ; Hand, Thatcher, Remillard, Roudebus, Novotny 2010).....	61
Tableau 16 : modalités de supplémentation électrolytique de l'alimentation des chiens et des chats atteints de MRC d'après (Polzin 2011 ; Parker 2021).....	61
Tableau 17 : résumé des études de l'impact d'une supplémentation en antioxydants dans la ration de chiens et de chats sains.....	63
Tableau 18 : apports recommandés en antioxydants et en vitamines chez les chiens et les chats atteints de MRC d'après (Cuvelier, Dotreppe, Istasse 2003 ; Forrester, Adam, Timothy 2010 ; De Brito Galvao et al. 2013 ; Chew et al. 2011 ; Park et al. 2011).....	65
Tableau 19 : résumé des apports recommandés des différents constituants d'une ration dans le cadre de l'alimentation de chiens et de chats atteints de MRC .....	67

## Captures d'écran

Capture d'écran 1 : d'un projet vierge à l'élaboration de celui de Papichat.....	75
Capture d'écran 2 : choix et personnalisation du personnage .....	76
Capture d'écran 3 : choix du décor et du positionnement des personnages .....	77
Capture d'écran 4 : aperçu du bloc parler sur l'interface de création (image du haut) et sur l'interface de jeu (image du bas) .....	78
Capture d'écran 5 : aperçu du bloc message sur l'interface de création.....	78
Capture d'écran 6 : aperçu du bloc inventaire sur l'interface de création (image du haut) et sur l'interface de jeu (image du bas) une fois que le joueur a cliqué sur « voir mon inventaire ».....	79
Capture d'écran 7 : aperçu du bloc vrai/faux sur l'interface de création .....	80
Capture d'écran 8 : aperçu du bloc appariement sur l'interface de jeu .....	80
Capture d'écran 9 : aperçu du bloc quizz sur l'interface de création.....	81
Capture d'écran 10 : aperçu du bloc formulaire sur l'interface de jeu .....	81
Capture d'écran 11 : aperçu du bloc zone cliquable sur l'interface de jeu .....	82
Capture d'écran 12 : aperçu du bloc score lors d'une bonne réponse sur l'interface de jeu .....	82
Capture d'écran 13 : aperçu du bloc condition sur l'interface de création .....	83
Capture d'écran 14 : aperçu de plusieurs blocs progression ponctuant le jeu sur l'interface de création .....	84
Capture d'écran 15 (avec annotations) : aperçu d'une scène du graphe reliant différents types de blocs .....	84

## Annexes

Annexe 1 : jeu sérieux - Papichat, chat âgé, amaigri et modérément amyotrophié, stade IRIS 3 non protéinurique.....	101
Annexe 2 : jeu sérieux - Duracell, chien en croissance atteint de dysplasie rénale congénitale, stade IRIS 2, protéinurique.....	124
Annexe 3 : jeu sérieux : Guizmo, chat européen mâle stérilisé de 11 ans, atteint de MRC stade IRIS 1...	141

## Liste des abréviations

ADH : hormone anti-diurétique
AG $\omega$ 3 : acides gras oméga-3
AG $\omega$ 6 : acides gras oméga-6
AGPI : acides gras polyinsaturés
AGS : acides gras saturés
DHA : acide docosahexaénoïque
DFG : débit de filtration glomérulaire
ENVT : Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
EPA : acide docosahexaénoïque
EPO : érythropoïétine
FGF-23 : facteur de croissance du fibroblaste 23
GH : growth hormone
IECA : inhibiteur de l'enzyme de conversion de l'angiotensine
IRIS : International Renal Interest Society (IRIS)
MRC : Maladie rénale chronique
PGE1 : prostaglandine E1
PGE2 : prostaglandine E2
PGE3 : prostaglandines E3
PGI2 : prostacycline ou prostaglandine I2
PTH : parathormone
PV : poids vif
RPCU : rapport protéines urinaires sur créatinine urinaire
SDMA : diméthylarginine symétrique SDMA
SRAA : système rénine-angiotensine-aldostérone
TCP : tube contourné proximal
TCD : tube contourné distal
TxA2 : thromboxane A2
TxA3 : thromboxane A3
VTS : Virtual Training Suite

## Introduction

La maladie rénale chronique (MRC) se définit comme une perte progressive des fonctions rénales endocrines, métaboliques et homéostasiques évoluant depuis généralement trois mois ou plus (Fontaine-Verdier, Priymenko 2003).

Son importance clinique est majeure puisqu'il s'agit de l'affection rénale la plus fréquente chez le chat et le chien mais aussi d'une des trois principales causes de mortalité chez ces deux espèces (Inoue, Sugiura 2022). Bien que la MRC soit une maladie progressive qui évolue nécessairement vers une dégradation de plus en plus marquée de la fonction rénale, un diagnostic précoce de la maladie et une gestion appropriée de cette dernière peuvent allonger la durée et améliorer la qualité de vie des animaux (Forrester, Adam, Timothy 2010).

La gestion de l'animal atteint de MRC repose sur une approche multimodale qui est fonction du stade d'évolution de la maladie. De nombreux facteurs pouvant influencer la progression de l'affection tels que l'hypertension systémique, l'hyperlipidémie, l'hyperparathyroïdie ou encore l'hyperfiltration rénale, peuvent être modulés par la mise en place d'une alimentation adaptée, augmentant ainsi l'espérance de vie et améliorant le confort des animaux. Il est donc primordial que les vétérinaires aient des connaissances précises en nutrition afin d'optimiser la prise en charge des animaux atteints de MRC.

Les modifications alimentaires incluent notamment une restriction de la teneur en phosphore de la ration, une gestion optimale de la prise de boisson et de l'apport protéique ainsi qu'une supplémentation en acides gras oméga-3 et en fibres solubles (Fontaine 2001). Des aliments industriels à visée rénale intégrant ces contraintes existent sur le marché vétérinaire et doivent être connus afin de proposer le choix le plus adapté aux propriétaires. La réalisation de rations ménagères est également possible.

La formation des vétérinaires en bromatologie et en nutrition des carnivores domestiques est initiée lors de leurs études fondamentales et se poursuit par une formation continue au cours de leur pratique. L'apprentissage initial se compose de modules théoriques très denses dont l'assimilation s'avère parfois fastidieuse. Le recours au *Serious Game* ou *Jeu Sérieux* constitue un moyen d'améliorer cet enseignement. Ce type d'apprentissage

s'inscrit dans une démarche de pédagogie active et permet de susciter davantage l'intérêt de l'apprenant (Bourgeois 2022). Cette thèse a permis la création d'un support pédagogique portant sur l'élaboration de rations pour des chiens et des chats atteints de MRC, à divers stades d'évolution de la maladie. Cet outil s'adresse aux étudiants de quatrième et de cinquième année de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Trois scénarios ont été créés pour leur être proposés au cours des séances de travaux dirigés de nutrition. Ils sont constitués d'un ensemble de questions et de calculs qui leur permet, étape par étape, de parvenir à formuler des rations adaptées à la clinique de chaque animal.

Ce travail s'articule en trois axes principaux. La première partie de ce manuscrit dresse l'état des lieux des connaissances actuelles sur la maladie rénale chronique des chiens et des chats, de sa physiopathologie à sa gestion médicale. La seconde partie détaille la prise en charge nutritionnelle de la maladie et plus précisément les recommandations en apports des différents constituants de la ration en fonction du stade d'évolution de la maladie. Enfin, la dernière partie du manuscrit traite du jeu sérieux et de son intérêt vis-à-vis des attentes des étudiants, ainsi que de l'élaboration des différents scénarios de calculs de rations pour chiens et chats atteints de MRC sur le logiciel VTS (Virtual Training Suite) Editor (Serious Factory, France).



# PARTIE 1 : LA MALADIE RÉNALE CHRONIQUE

## I. Physiologie rénale

Le rein est un organe assurant la production d'urine en filtrant les déchets du métabolisme de l'organisme. Il joue également un rôle endocrine et de régulation des échanges ioniques. Le parenchyme rénal est constitué d'un cortex sur sa partie externe et d'une médulla. Plus médialement, le bassinnet permet la filtration et la rétention de l'urine.

Le parenchyme rénal abrite les néphrons qui sont les unités structurales et fonctionnelles du rein (Mogicato 2024).

Ces différentes structures de l'appareil urinaire des carnivores domestiques sont représentées sur la figure 1.

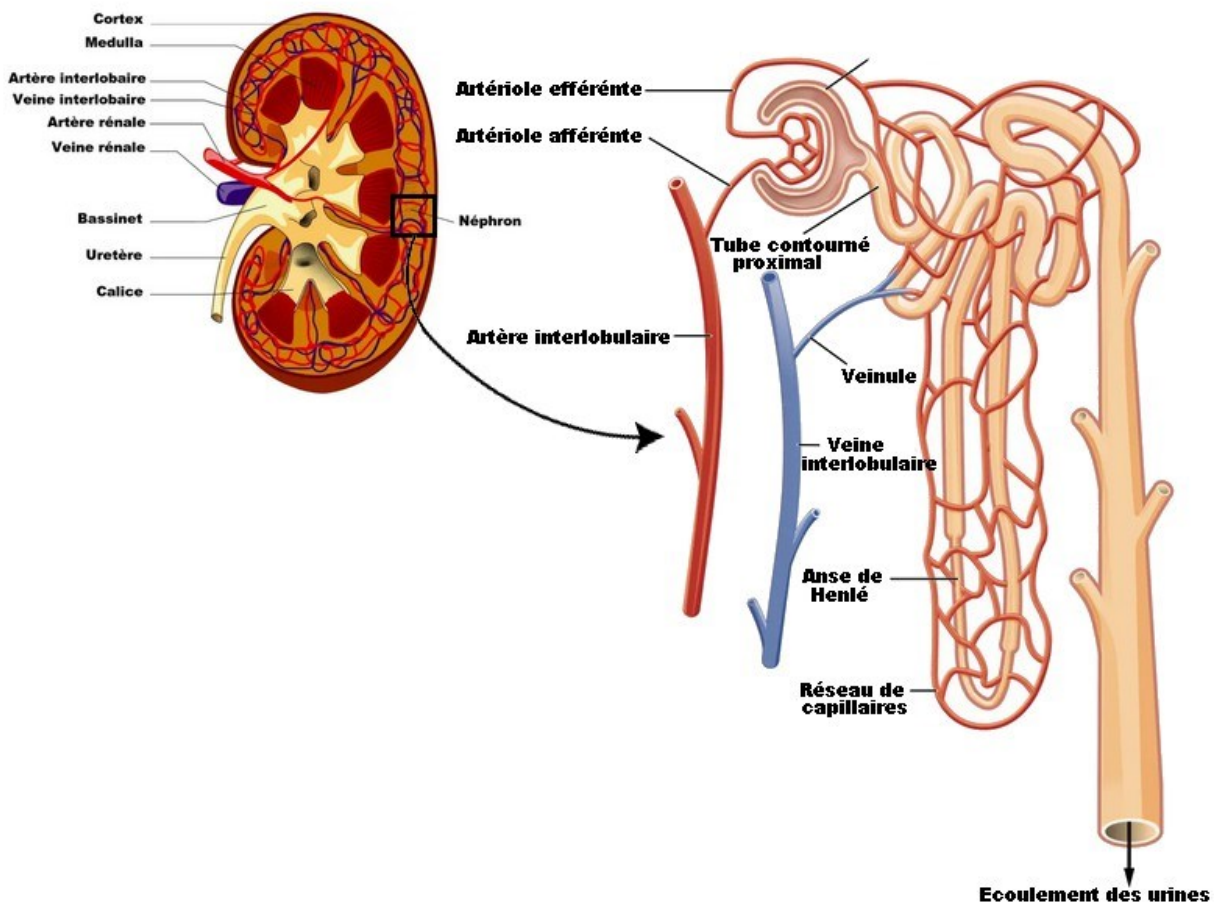


FIGURE 1 : ANATOMIE FONCTIONNELLE DE L'APPAREIL URINAIRE D'APRES (ANDERSON, ANDERSON, SMITH 1995 ; BETTS ET AL. 2013)

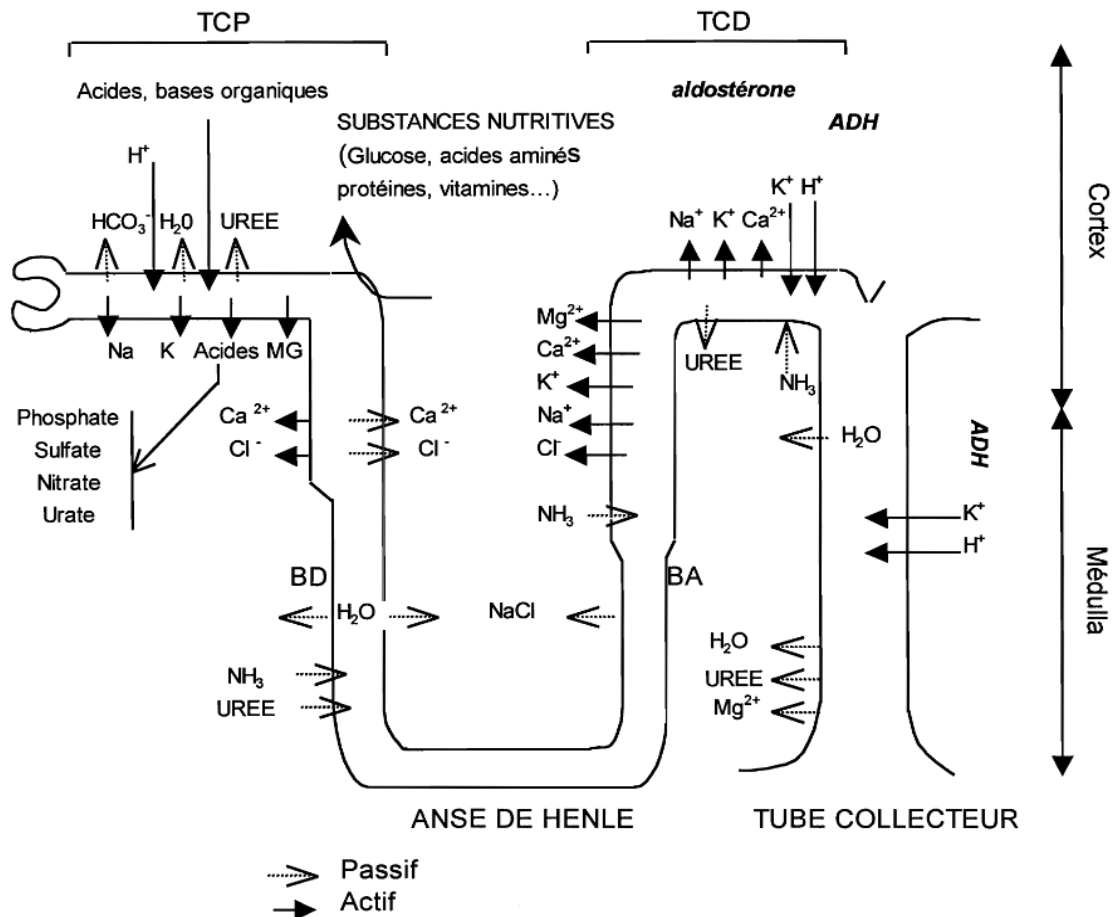
## 1. Filtration glomérulaire

Chaque glomérule rénal est constitué d'un réseau capillaire et d'une capsule. La capsule, divisée en deux feuilletts, forme un filtre au travers duquel va passer le sang qui arrive au niveau de l'artériole afférente (Evans, Hermanson, De Lahunta 2020). La filtration se fait passivement grâce à un gradient entre la pression au sein des capillaires et celle au sein des tubules rénaux.

Le sang ainsi filtré forme l'urine primitive, qui va circuler au sein du système tubulaire représenté sur la figure 1 et subir de nombreuses modifications. La quantité de liquide filtrée par le rein par unité de temps est nommée débit de filtration glomérulaire (DFG) et constitue un marqueur de la fonction rénale (Lefebvre 2024).

## 2. Fonctions tubulaires

L'urine primitive atteint d'abord le tube contourné proximal (TCP) où de l'eau, des ions, du calcium, du phosphate, des protéines de moins de 70kDa, des acides aminés et du glucose vont être réabsorbés en grande quantité. Elle circule ensuite dans l'anse de Henlé où la réabsorption d'eau et d'ions se poursuit avant d'atteindre le tube contourné distal (TCD) puis le tube collecteur (Lefebvre 2024). Ces deux derniers, sous influence hormonale de l'ADH (hormone anti-diurétique) et de l'aldostérone, permettent l'ajustement du volume d'urine final émis. L'aldostérone est une hormone synthétisée par les cellules des glandes surrénales. Elle agit au niveau des cellules des tubules rénaux en activant une pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ainsi que la sécrétion d'ion  $\text{H}^+$ . Etant donné que l'eau suit les mouvements de  $\text{Na}^+$ , la synthèse d'aldostérone entraîne une réabsorption de cette dernière. L'ADH ou vasopressine est quant à elle synthétisée par les neurones de l'hypothalamus. Elle agit sur des canaux spécifiques du tube collecteur pour favoriser la réabsorption d'eau (Betts et al. 2013). L'urine définitive produite à l'issue de ces réabsorptions et de ces sécrétions tubulaires atteint enfin le bassinnet (Mogicato 2024 ; Blanchard 2024).



TCP: tube contourné proximal ; TDP: tube contourné distal  
 BA :branche ascendante de l'anse de Henlé; BD branche descendante de l'anse de Henlé

FIGURE 2 : LES REABSORPTIONS ET LES SECRETIONS TUBULAIRES AU NIVEAU DES DIFFERENTES PORTIONS DU NEPHRON  
 D'APRES (FONTAINE 2001)

### 3. Fonctions endocrines

L'appareil urinaire est constitué de plusieurs structures dont certaines permettent la production d'hormones.

Citons d'abord l'érythropoïétine (EPO) qui est synthétisée majoritairement par les cellules du cortex rénal mais également en partie par le foie. Il s'agit d'une glycoprotéine de la famille des cytokines qui stimule la prolifération et la différenciation des érythrocytes en agissant sur la moelle osseuse. Sa synthèse est augmentée lors d'hypoxie tissulaire ce qui entraîne une production accrue de globules rouges (Bartges, Polzin 2011).

La deuxième hormone sécrétée par le rein est la 1,25-dihydroxycholécalférol aussi connue sous le nom de calcitriol ou vitamine D3. Elle est produite dans le TCP à partir

d'un précurseur hépatique, le calcifédiol. Le calcitriol est une hormone hypercalcémisante au rôle majeur dans la régulation du métabolisme phosphocalcique (Lefebvre 2024).

Les cellules spécialisées de l'appareil juxtaglomérulaire du rein synthétisent quant à elles la rénine, une glycoprotéine qui permet la formation au niveau plasmatique et interstitiel de l'angiotensine I à partir d'un substrat hépatique, l'angiotensinogène. L'angiotensine I est convertie en angiotensine II par l'enzyme de conversion de l'angiotensine, essentiellement au niveau plasmatique. L'angiotensine II a plusieurs rôles au sein de l'organisme :

- Un rôle vasoconstricteur au niveau de l'artériole rénale efférente qui va entraîner une diminution du DFG.
- Un rôle vasoconstricteur systémique qui a pour conséquence une augmentation de la pression artérielle.
- Une stimulation de la production d'aldostérone par les glandes surrénales.
- Une action sur le système nerveux central en stimulant le centre de la soif et la libération d'hormone anti-diurétique par l'hypophyse.
- Elle exerce enfin un rétrocontrôle négatif sur la production de rénine ce qui permet une régulation du système rénine-angiotensine-aldostérone (SRAA), acteur majeur de la régulation de la pression artérielle.

La synthèse de rénine est stimulée par la baisse de la concentration en chlorure de sodium au niveau du TCD, la diminution de la perfusion rénale au niveau de l'artériole afférente et l'augmentation de l'activité sympathique détectée par les récepteurs  $\beta$ -adrénergiques du rein. Cela permet un maintien de la perfusion rénale malgré les variations de pressions systémique et rénale (Michel 2004 ; Koeppen, Stanton 2007).

Les reins, à l'instar d'autres organes, synthétisent aussi divers éicosanoïdes. Ce sont des médiateurs intracellulaires et intercellulaires produits à partir d'acides gras membranaires. Le principal précurseur de ces éicosanoïdes est l'acide arachidonique. Dans le rein, ils sont produits aussi bien au niveau des cellules des tubules que par les cellules interstitielles ou celles des vaisseaux sanguins (Lote, Haylor 1989). En fonction de la voie métabolique de synthèse, on distingue les prostanoïdes tels que les prostaglandines, les prostacyclines et les thromboxanes, des leucotriènes. Ces métabolites ont des rôles variés au sein de l'organisme :

- Les prostaglandines PGI1 et PGE2 ont une action vasodilatatrice au niveau de l'artériole afférente rénale et des vaisseaux médullaires rénaux. Elles participent au contrôle de la filtration glomérulaire en modifiant le débit de filtration glomérulaire (DFG) ainsi que le débit plasmatique rénal et régulent aussi la perfusion rénale au niveau de la médulla. Les PGE2 inhibent également la production de plaquettes (Fontaine 2001).
- Les thromboxanes TxA2 jouent le rôle opposé : ils sont vasoconstricteurs et vont permettre une diminution du taux de filtration glomérulaire et du débit plasmatique rénal. Ils sont aussi stimulateurs de la fonction plaquettaire.

#### 4. Fonctions cataboliques

Le rein joue un rôle dans le métabolisme des protéines et des acides aminés, et en particulier dans le catabolisme des hormones de petits poids moléculaires.

Les protéines et les polypeptides de grande taille sont filtrés par le glomérule puis absorbés au niveau du TCP par endocytose. Ils sont ensuite hydrolysés par des enzymes lysosomiales en métabolites de plus petites tailles qui diffusent dans les cellules et le sang. Les plus petits peptides linéaires, quant à eux, sont dégradés à la surface de la bordure en brosse des tubules proximaux par des enzymes hydrolytiques. Les produits de cette dégradation sont ensuite réabsorbés. Les molécules organiques azotées sont dégradées par la glutamate déshydrogénase tandis que les acides gras peuvent être beta-oxydés ou estérifiés (Chrysopoulou, Rinschen 2024).

Les tubules proximaux sont la portion la plus métaboliquement active des néphrons : des réactions de néoglucogénèse et la voie métabolique du cycle de Krebs y permettent la production d'énergie utilisable par le rein.

Ces mécanismes cataboliques permettent le recyclage des acides aminés, l'inactivation de substances toxiques et la régulation de la concentration sanguine en protéines et en hormones (Carone et al. 1979).

La destruction progressive du parenchyme rénal en cas de MRC provoque une perturbation du métabolisme de nombreuses molécules synthétisées ou filtrées par le rein. On retrouve chez les animaux atteints de cette maladie une diminution de la synthèse d'EPO à l'origine d'une anémie non régénérative, une perturbation de

l'absorption du calcium avec une hypocalcémie, pouvant engendrer une hyperparathyroïdie secondaire, ou encore l'accumulation sanguine d'hormones normalement dégradées par le rein telles que l'insuline, la parathormone, la gastrine ou la [growth hormone](#) (GH). Des mécanismes adaptatifs visant à limiter les conséquences de l'altération de la fonction rénale se mettent en place. Ils sont détaillés dans la partie suivante.

## II. [Physiopathologie de la maladie rénale chronique](#)

L'individu naît avec un nombre de néphrons défini : environ 200 000 chez le chat et 400 000 chez le chien (Lefebvre 2024). Ces néphrons ne peuvent pas être renouvelés au cours de la vie. Une fois un néphron lésé, la lésion est irréversible.

### 1. [Expression tardive des signes cliniques](#)

Il existe des mécanismes compensateurs qui sont à l'origine d'une expression tardive des signes cliniques : il faut environ 75% de néphrons atteints pour que des signes cliniques et biologiques soient observables (Hébert 2004). Ces mécanismes compensateurs s'appuient d'une part sur des adaptations fonctionnelles et d'autre part sur des adaptations structurales.

Lorsqu'un seul rein est atteint, une augmentation de la masse et de la taille du rein controlatéral a été mise en évidence : on parle d'hypertrophie rénale (Brown et al. 1997). A cette modification structurale s'ajoute une augmentation du DFG individuel des néphrons résiduels sains : cette modification fonctionnelle porte le nom d'hyperfiltration rénale (Fontaine-Verdier, Priymenko 2003). Elle permet le maintien, au moins temporairement, d'un DFG normal malgré la réduction du nombre de néphrons fonctionnels et est associée à une hypertension glomérulaire (Brown et al. 1997).

### 2. [Progression des lésions](#)

Diverses théories ont été proposées pour tenter d'expliquer les mécanismes d'évolution de la MRC (Fontaine-Verdier, Priymenko 2003). Les phénomènes d'hyperfiltration et

d'hypertrophie cités plus haut s'avèrent chez les rats efficaces un certain temps mais finissent par devenir des facteurs aggravants entraînant l'apparition de lésions de glomérulosclérose et de fibrose tubulo-interstitielle (Bartges, Polzin 2011).

Cependant chez les chiens et les chats, les lésions liées à la diminution de la masse rénale fonctionnelle apparaissent à des niveaux d'altération de la masse néphronique bien plus sévères (Brown et al. 1997). L'hyperfiltration et l'hypertrophie rénale joueraient donc un rôle mixte au sein de la progression de la MRC. On parle de théorie « des forces opposées » (Brenner, Lawler, Mackenzie 1996).

Selon celle-ci, les mécanismes adaptatifs peuvent d'une part augmenter le DFG ce qui permet de compenser la perte de fonction des néphrons lésés et d'autre part favoriser l'auto-entretien des lésions de sclérose glomérulaire.

En effet, l'hypertrophie des cellules de l'épithélium du glomérule, les podocytes, est modérée et ne permet pas de compenser entièrement l'hypertrophie de la surface glomérulaire (Cianciolo, Hokamp, Nabity 2016). Ainsi, sur une surface plus grande, le nombre de cellules formant la capsule du glomérule augmente moins vite que la quantité de fluide filtrée : de plus grosses molécules parviennent donc à passer le filtre glomérulaire. Les podocytes hypertrophiés sont par ailleurs plus fragiles et donc plus à risques de se détacher de la membrane glomérulaire (Fontaine-Verdier, Priymenko 2003). On retrouve alors des protéines dans les urines : on parle de protéinurie. Cette protéinurie favorise par la suite l'apparition de lésions. En effet, elle entraîne une accumulation de protéines dans les cellules tubulaires des reins causant des réactions inflammatoires locales et à terme, une fibrose interstitielle. Ainsi la MRC continue de progresser même après l'élimination de la cause primaire (Bartges, Polzin 2011).

Lors de MRC, les néphrons fonctionnels en hyperfiltration sont aussi soumis à une hausse très importante du nombre de réactions d'oxydation. Les cellules rénales et en particulier les cellules épithéliales des tubules, ont un métabolisme très élevé, ce qui en fait un lieu privilégié de formation de radicaux libres (Brown 2008). Si la production de radicaux libres est trop importante, les mécanismes de défenses antioxydants deviennent insuffisants et on observe l'apparition d'un stress oxydatif rénal. Il entraîne une hausse de la pression artérielle systémique et la production de cellules inflammatoires au sein

des reins (Locatelli et al. 2003). Un nouveau cercle vicieux apparait, schématisé dans la figure 3.

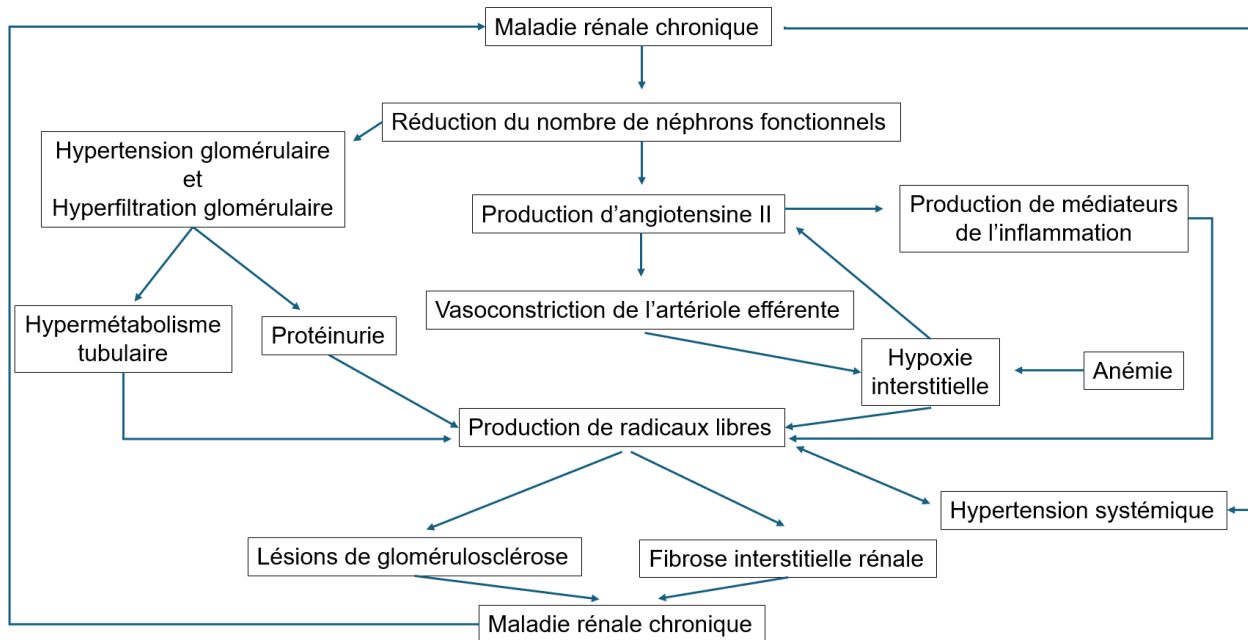


FIGURE 3 : LES INTERACTIONS ENTRE LES DIFFERENTS MECANISMES D'ADAPTATION A LA MRC ET LEUR IMPACT SUR LA PRODUCTION DE RADICAUX LIBRES

Lors d'hypertrophie rénale et d'hyperfiltration, le stress mécanique et hémodynamique auquel les néphrons sont soumis finit par les léser. Les phénomènes compensateurs atteignent alors leurs limites puisque les néphrons résiduels ne peuvent pas augmenter indéfiniment leur masse et leur capacité de filtration. La perte de néphrons supplémentaire augmente encore la charge de travail des néphrons restants, créant un cercle d'auto-amplification.

La MRC correspond à une période d'équilibre partiel entre les facteurs permettant un maintien du DFG rénal et ceux qui le diminuent. Cet équilibre est maintenu plus ou moins longtemps en fonction des individus (Brown et al. 1997). Il est schématisé sur la figure 4.



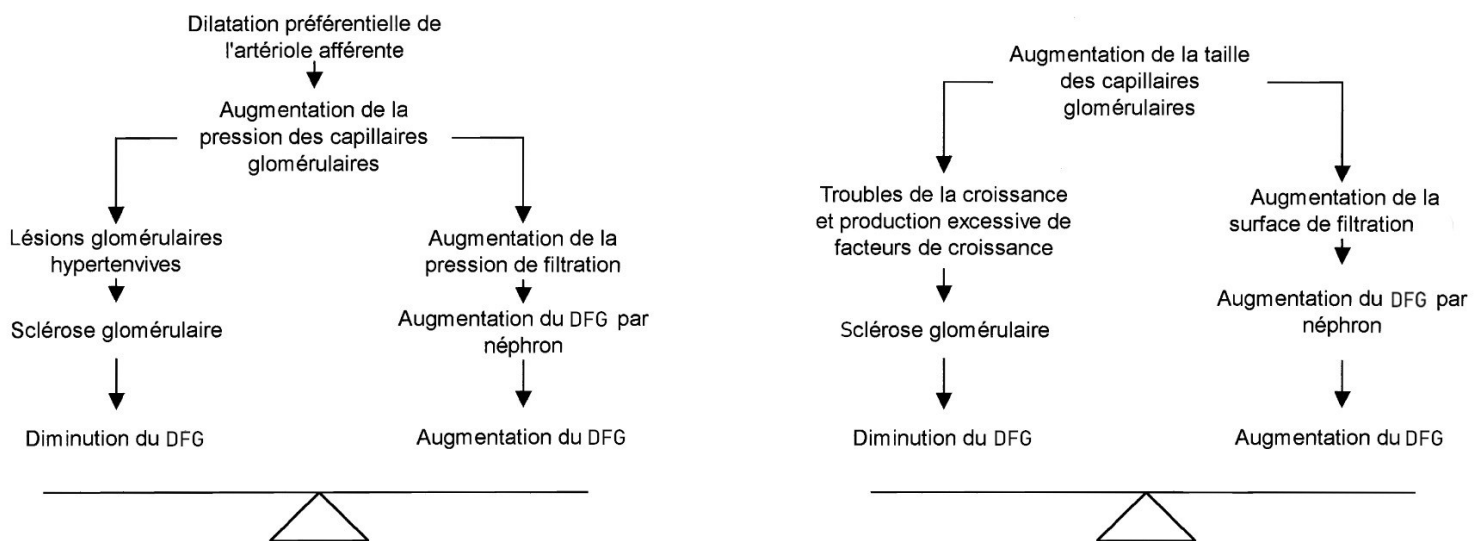


FIGURE 4 : LES MECANISMES COMPENSATEURS DE L'APPARITION DE NEPHROPATHIES DECRITS DANS LA THEORIE DES FORCES OPPOSEES, A L'ORIGINE D'UN EQUILIBRE ENTRE MAINTIEN ET ALTERATION DU DFG, D'APRES (BROWN ET AL. 1997)

Les expériences étayant cette théorie se basent sur des modèles de réduction néphronique dont la pertinence peut être discutée. D'une part parce que la réduction de la masse néphronique est parfois très sévère, pouvant atteindre 11/12<sup>e</sup> de la masse rénale dans certaines expériences et d'autre part car l'hypertension artérielle systémique fréquemment rencontrée chez les chiens et les chats souffrant d'affection rénale spontanée n'était pas souvent observée à la suite de la néphrectomie (Brown et al. 1990).

Lorsque les anomalies rénales structurelles et/ou fonctionnelles sont en place depuis plus de trois mois, on parle de maladie rénale chronique. Cette dernière a un impact sur l'état de santé global des animaux et sur leurs paramètres urinaires, biochimiques et hématologiques.

### 3. Anomalies biologiques provoquées par la MRC

De nombreux paramètres paracliniques sont impactés lors de MRC.

Puisque l'urée, la créatinine et de nombreux autres composés azotés ne sont plus filtrés correctement par le glomérule, ils s'accumulent dans le sang et entraînent une augmentation de l'azotémie. La créatinémie permet ainsi un suivi du DFG (Cockcroft, Gault 1976 ; Lefebvre, Braun, Watson 2005). La diméthylarginine symétrique (SDMA) est

un dérivé de la méthylation des protéines qui est éliminé presque exclusivement par voie rénale. Son augmentation est corrélée à celle du DFG, elle est donc également utilisée pour évaluer la fonction rénale des animaux atteints de MRC. Une étude menée sur 97 chiens dont 67 diagnostiqués ou suspectés atteints de MRC a montré une bonne corrélation ( $R^2=0.62$ ,  $P<0,001$ ) entre la variation de la SDMA et de la créatinémie, et celle du DFG (Pelander et al. 2019). Une autre étude menée sur 10 chats fait état d'un coefficient  $R^2=0.82$  pour la SDMA et  $R^2=0.81$  pour la créatinine ainsi que de p valeurs  $P < 0,001$  (Braff et al. 2014).

Le phosphore étant essentiellement excrété et réabsorbé par les reins, l'hyperphosphatémie est fréquente en cas de MRC. Dans un premier temps, cette baisse d'élimination du phosphore est compensée par une baisse de la réabsorption tubulaire sous l'action de la parathormone (PTH), du facteur de croissance du fibroblaste 23 (FGF-23) et de l'adénylate cyclase. Cependant lorsque le DFG est diminué de 20% ou plus par rapport à sa valeur initiale, ces mécanismes compensateurs atteignent leurs limites et une hyperphosphatémie apparaît. A cela s'ajoute une diminution de la production de calcitriol, synthétisé par les cellules des tubes proximaux (Forrester, Adam, Timothy 2010). Or, le calcitriol permet l'absorption intestinale d'ions phosphates mais aussi d'ions calcium, ainsi que l'inhibition de la synthèse de PTH. Ces deux mécanismes entraînent une baisse du rapport phospho-calcique Ca/P et l'apparition d'une hypocalcémie ionisée. En réponse à cette baisse, la synthèse de PTH qui est hypercalcémiant et hypophosphatémiant augmente : un cercle vicieux se met en place à l'origine d'une hyperparathyroïdie secondaire. La boucle de régulation du métabolisme phospho-calcique est schématisée sur la figure 5. A terme, on retrouve une résorption osseuse très importante et des complexes phosphocalciques disséminés (Cortadellas et al. 2010 ; Parker 2017).

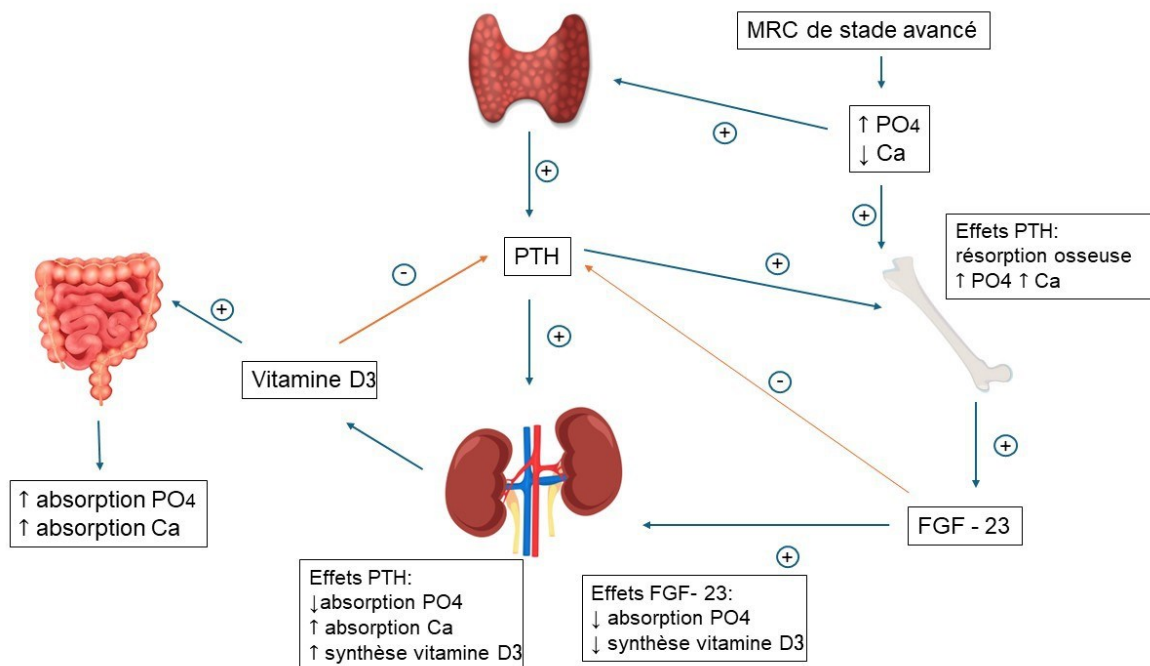


FIGURE 5 : LA REGULATION DU METABOLISME PHOSPHO-CALCIQUE MET EN JEU LES GLANDES PARATHYROÏDES, LES REINS, LES OS ET LE TUBE DIGESTIF SOUS L'ACTION DE LA PTH, DU CALCITRIOL (VITAMINE D3) ET DU FACTEUR FGF-23 D'APRES (TRUMEL 2022)

Les flèches bleues représentent des interactions activatrices et les flèches orange des interactions inhibitrices.

On rapporte fréquemment une hypocalcémie chez les patients atteints de MRC mais une attention particulière doit être apportée au dosage de ce dernier puisque les valeurs diffèrent si le calcium dosé est ionisé ou bien total. En effet, davantage de calcium se complexerait au contact de toxines urémiques telles que l'acide phosphorique ou l'acide sulfurique qui s'accumulent dans le sang, augmentant ainsi la calcémie totale tout en diminuant la fraction de calcium ionisé. Ainsi, le dosage du calcium total n'est pas pertinent pour diagnostiquer une hypocalcémie chez un animal atteint de MRC (Trumel 2022).

La baisse du pH sanguin est une autre modification biochimique retrouvée chez les patients atteints de MRC. Elle s'explique par la baisse de capacité de production rénale d'ammonium qui permet l'excrétion d'ions hydrogène et la diminution du recyclage d'ammoniac par la médullaire. A cela s'ajoute l'accumulation de phosphore et d'autres acides organiques en lien avec l'altération de la fonction rénale (Forrester, Adam, Timothy 2010). Les néphrons sains augmentent leur réabsorption des bicarbonates filtrés pour maintenir l'équilibre acido-basique, donc l'acidose métabolique est généralement une

conséquence de l'évolution avancée de la maladie, lorsque les mécanismes compensateurs de l'organisme sont dépassés (Cotard 1993). Cette acidose métabolique favorise l'excrétion urinaire de calcium, le catabolisme protéique, la complexation du calcium et l'hypokaliémie, ce qui participe à l'aggravation des signes cliniques (Polzin et al. 1989). Dans les premiers stades de la maladie rénale, le déclin du nombre de néphrons fonctionnel est compensé par une augmentation de l'ammoniogenèse des néphrons fonctionnels chez la plupart des mammifères, mais cette adaptation n'a pas été démontrée chez le chat et pourrait expliquer la proportion particulièrement élevée de chats atteints de MRC souffrant d'acidose métabolique (Lemieux et al. 1990).

L'hypermagnésémie (et en particulier l'augmentation de la concentration sanguine en magnésium complexé) est fréquente lors de MRC puisque les reins n'excrètent plus efficacement le magnésium. Une hyperkaliémie peut aussi apparaître en cas de MRC, en raison du dysfonctionnement rénal qui entraîne une rétention potassique, mais c'est peu fréquent (Fontaine 2001). Chez le chat, on retrouve en revanche souvent une hypokaliémie qui pourrait être à la fois la cause et la conséquence de l'altération rénale. En effet, la polyurie engendrée par la MRC perturbe la réabsorption rénale de potassium. L'apport en potassium peut également être diminué par l'hyporexie tandis que les pertes sont augmentées par les vomissements liés au syndrome urémique (Polzin et al. 1989 ; Polzin 2011).

L'altération de la perméabilité sélective des reins entraîne également une perte de protéines et notamment d'albumine à l'origine d'une hypoalbuminémie (Forrester, Adam, Timothy 2010).

Enfin, on retrouve chez les patients atteints de MRC une anémie normochrome, normocytaire et non régénérative dont la sévérité est proportionnelle à la perte de fonction rénale. Cela est lié à la diminution de la synthèse d'EPO par les reins lésés (Polzin 2011).

Les principales modifications biochimiques engendrée par une MRC sont récapitulées dans le tableau 1.

Paramètre	Variation lors de MRC	Facteurs de confusion	Remarques
Urémie	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>- masse musculaire</li> <li>- degré d'hydratation</li> <li>- prise alimentaire</li> <li>- traitements (corticoïdes, diurétiques)</li> <li>- maladie endocrinienne</li> <li>- obstruction ou lésions du bas appareil urinaire</li> </ul>	
Créatinémie	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>- masse musculaire</li> <li>- degré d'hydratation</li> <li>- prise alimentaire</li> <li>- traitements (corticoïdes, diurétiques)</li> <li>- maladie endocrinienne</li> <li>- obstruction ou lésions du bas appareil urinaire</li> </ul>	Marqueur d'accumulation de toxines urémiques et de ↓ du DFG
SMDA	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>- néoplasie</li> </ul>	Peu d'études à l'heure actuelle sur les limites de ce marqueur
FGF-23	↑		Peu d'études à l'heure actuelle sur la fiabilité de ce marqueur Utilisable uniquement chez le chat
pH sanguin	↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prise alimentaire</li> <li>- troubles digestifs</li> <li>- intoxication</li> <li>- maladie endocrinienne</li> <li>- état hypoxique</li> </ul>	Modification souvent tardive
Albuminémie	↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>- degré d'hydratation</li> <li>- prise alimentaire</li> <li>- atteinte hépatique</li> <li>- entéropathie</li> <li>- phénomène inflammatoire</li> </ul>	
Phosphatémie	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>- néoplasie</li> <li>- prise alimentaire</li> <li>- intoxication</li> <li>- lyse musculaire</li> <li>- hémolyse</li> </ul>	
Kaliémie	↑ ou ↓ chiens ↓ chats	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maladie endocrinienne</li> <li>- masse musculaire</li> </ul>	Modification souvent tardive

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- troubles digestifs</li> <li>- traitements (diurétiques, insuline)</li> </ul>	
Calcémie	↑ ou ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>- intoxication</li> <li>- maladie endocrinienne</li> <li>- ostéolyse</li> <li>- néoplasie</li> </ul>	Les troubles de la calcémie sont souvent tardifs Hypocalcémie ionisée fréquente lors de stades avancés, surtout chez le chien Hypercalcémie et hypocalcémie totale possibles
Magnésémie	↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>- troubles digestifs</li> <li>- traitements</li> <li>- maladie endocrinienne</li> <li>- hypoprotéinémie</li> <li>- désordres électrolytiques</li> </ul>	Modification souvent tardive
Lignée des globules rouges	Anémie normochrome normocytaire non régénérative	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maladie endocrinienne</li> <li>- atteinte hépatique</li> <li>- phénomène inflammatoire</li> <li>- néoplasie</li> <li>- déficit en B12</li> </ul>	
Densité urinaire	↓	- degré d'hydratation	
RPCU	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dysprotidémie</li> <li>- condition de prélèvement</li> <li>- lésions du bas appareil urinaire</li> </ul>	

TABEAU 1 : PRINCIPALES MODIFICATIONS DES PARAMETRES BIOCHIMIQUES, HEMATOLOGIQUES ET BIOLOGIQUES CHEZ LES CHIENS ET LES CHATS ATTEINTS DE MRC D'APRES (COTARD 2002 ; BARTGES, POLZIN 2011)

#### 4. Conséquences cliniques de la MRC

Les signes cliniques généraux d'une altération de la fonction rénale sont multiples et incluent : une polyurie, associée à une isosthénurie car le rein ne peut plus concentrer correctement les urines, une déshydratation qui peut être associée à de la constipation, une polydipsie, une perte de poids et de masse musculaire progressive ainsi qu'une perte d'appétit. Des nausées et des vomissements sont aussi fréquemment présents. Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'apparition de ces signes cliniques est tardive. Les principaux signes cliniques observés chez les animaux souffrant de MRC ainsi que leur fréquence sont répertoriés dans le tableau 2.

Chien		Chat	
Signe clinique	Fréquence	Signe clinique	Fréquence
Polyurie polydipsie	45 à 70%	Polyurie polydipsie	≈ 30%
Perte de poids	≈ 60%	Perte de poids	≈ 50%
Abattement	≈ 60%	Abattement	≈ 60%
Anorexie	40 à 60%	Anorexie	≈ 70%
Déshydratation	≈ 60%	Déshydratation	≈ 70%
Incontinence	≈ 45%	Constipation	≈ 25%
Vomissements	30 à 50%	Vomissements	≈ 30%
Diarrhée	≈ 30%	Diarrhée	≈ 5%

TABLEAU 2 : POURCENTAGE MOYEN D'ANIMAUX ATTEINT DE MRC PRESENTANT LES PRINCIPAUX SIGNES CLINIQUES ASSOCIES A LA MALADIE D'APRES (COTARD 2002 ; LAVOUE 2024)

Lors de certaines néphropathies telles que la polykystose rénale, la pyélonéphrite, les urolithes ou encore certaines affections congénitales, des signes cliniques spécifiques de l'affection primaire peuvent précéder l'apparition de ceux liés à la perte de fonction rénale (Bartges, Polzin 2011).

L'augmentation de la PTH en réponse à la baisse du rapport phospho-calcique entraîne une résorption osseuse accrue : la corticale osseuse dégénère et est remplacée par du tissu fibreux, on parle alors de lésions d'ostéofibrose. Elles se manifestent d'abord cliniquement par des boiteries et dans des formes sévères par une modification de la consistance de la mâchoire avec un déchaussement dentaire ou des fractures des os longs. Des lésions d'ostéomalacie, c'est-à-dire une déminéralisation généralisée des tissus osseux qui deviennent fragiles et peuvent se déformer ou se fracturer, bien que plus rares, sont également possibles (Cotard 1993).

L'anémie engendrée par la MRC entraîne d'une part une faiblesse musculaire et une fatigue, et d'autre part la mise en place de mécanismes compensatoires qui visent à

assurer une oxygénation correcte des tissus malgré la diminution de l'hématocrite. On retrouve ainsi une vasoconstriction au niveau systémique également provoquée par l'activation chronique du SRAA. Cela aboutit fréquemment à une hypertension artérielle systémique ayant des effets délétères à long terme, qui contribuent à l'aggravation des signes cliniques (Bartges, Polzin 2011).

D'autres anomalies hématologiques sont à noter telles que des troubles de l'hémostase primaire. L'état inflammatoire présent lors de MRC induit une activation des mécanismes de la coagulation et une inhibition de la fibrinolyse, à l'origine d'un défaut d'adhésion plaquettaire pouvant favoriser un syndrome hémorragique (Pépion 2007). Cet état inflammatoire, ainsi que l'acidose métabolique, contribuent à perturber les fonctions leucocytaires (Cotard 1993).

Le magnésium, le calcium et le potassium participent tous les trois à la transmission de l'influx nerveux au niveau des synapses neuro-neuronales et neuromusculaires. Ils sont indispensables à la contraction et à la relaxation des fibres musculaires, y compris celles du myocarde. Ainsi, les troubles de la calcémie, de la magnésémie et de la kaliémie présents lors de MRC entraînent des atteintes neuromusculaires et cardiovasculaires (Pongs 1992 ; Miller, Anderson 1999 ; Carvil, Cronin 2010). Par ailleurs, la présence de dépôts calciques notamment sur le myocarde peut impacter la fonction cardiaque et générer des troubles du rythme. Les toxines urémiques altèrent enfin l'activité des pompes  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase des cellules nerveuses ce qui provoque l'apparition de troubles neurologiques (Cortadellas et al. 2010).

L'acidose métabolique peut à son tour entraîner une baisse du débit cardiaque et modifier l'équilibre des ions potassiques et calciques, notamment en favorisant la résorption osseuse de calcium pour limiter la baisse du pH sanguin (Nelson, Guillermo Couto 2014). Elle accroît aussi le catabolisme protéique : les protéines sont dégradées pour produire de l'azote. Cet azote permet l'obtention, dans le foie, de glutamine qui sert ensuite à la production rénale d'ammoniac (Polzin et al. 1989).

Les toxines urémiques altèrent le goût des animaux atteints de MRC, sont source de nausée et stimulent le centre du vomissement. Elles favorisent l'apparition de stomatites, d'ulcère buccaux et de gastroentérites. L'hypergastrinémie entraîne une hyperacidité,



une inflammation et même une ulcération et des saignements de la muqueuse gastrique. Ces lésions peuvent provoquer des vomissements (Cotard 1993).

Avec la progression de la maladie rénale, tous ces mécanismes liés en grande partie à l'accumulation de toxines urémiques apparaissent : on parle de syndrome urémique.

On observe alors :

- Des troubles gastro-intestinaux : vomissements, diarrhées...
- Une atteinte de la fonction plaquettaire et des syndromes hémorragiques
- Des troubles neuromusculaires : faiblesse neuromusculaire, encéphalose, dysorexie, crises convulsives...
- Des troubles pulmonaires : pneumopathies urémiques lors de stades terminaux

La figure 6 récapitule les mécanismes à l'origine des principaux signes cliniques observés lors de MRC.

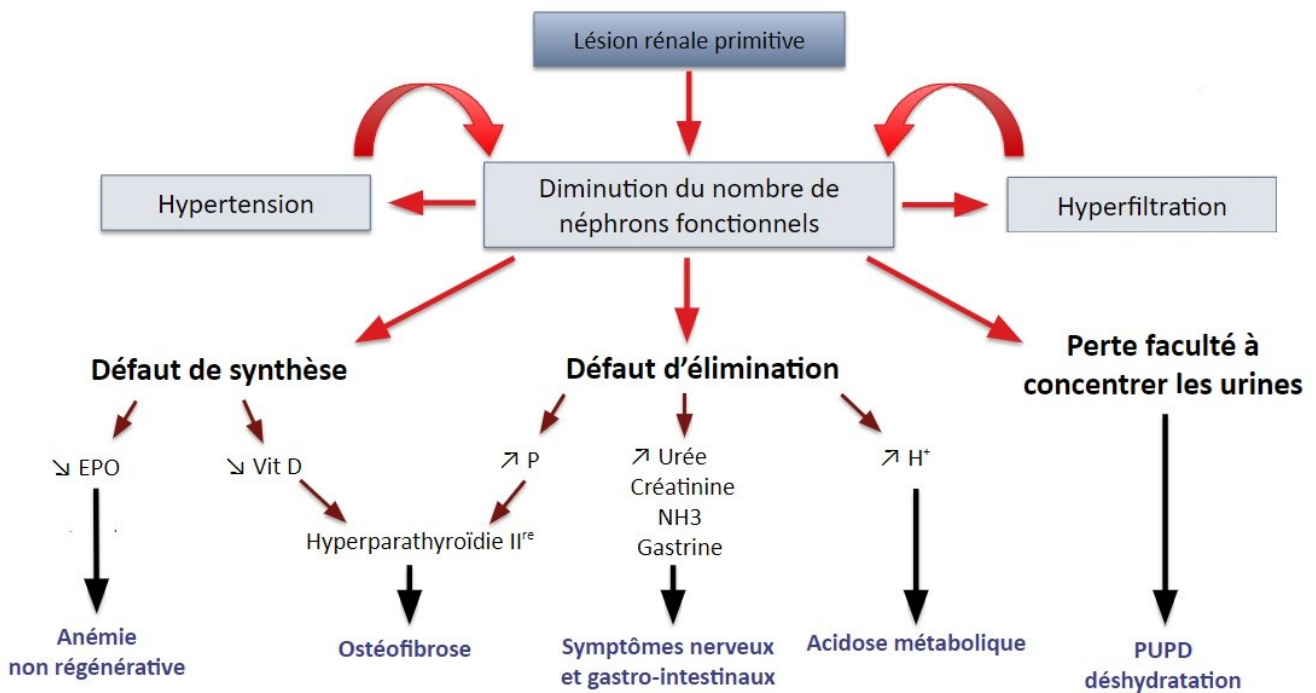


FIGURE 6 : LES CONSEQUENCES FONCTIONNELLES DE LA MRC ET LES PRINCIPAUX SIGNES CLINIQUES ASSOCIES D'APRES (BLANCHARD 2024)

Les reins jouent un rôle primordial dans le maintien du bon fonctionnement de l'organisme. Ainsi, lors d'une atteinte de la fonction rénale, une hyperfiltration et une hypertrophie des néphrons fonctionnels se met en place afin de maintenir un DFG suffisant. Ces adaptations favorisent néanmoins l'apparition de lésions glomérulaires qui diminuent le DFG : c'est un cercle vicieux.

Au-delà d'un certain stade, les mécanismes compensateurs atteignent leurs limites et les facteurs limitant le DFG deviennent prédominants. Des anomalies biologiques, hématologiques, urinaires et biochimiques apparaissent alors, provoquant des signes cliniques qui dégradent la condition de vie des malades. Afin d'adapter au mieux la prise en charge des animaux atteints de MRC, il est nécessaire de définir précisément leur maladie en fonction de son étiologie et de son stade. Cette caractérisation est l'objet de la partie suivante.

### III. Caractérisation de la MRC

#### 1. Epidémiologie et étiologie des néphropathies

La prévalence de la maladie rénale est très variable selon les études : de 0,96% (Bartges, Polzin 2011) à 1,9% chez le chat (Lund et al. 1999) et de 0,05% à 3,74% chez le chien (O'Neil 2013).

C'est une maladie gériatrique majeure car sa prévalence augmente nettement avec l'âge. Ainsi, une étude menée sur 184 chats atteints de MRC d'origine non congénitale rapporte que 89% des animaux avaient 9 ans ou plus avec un âge médian de 12 ans chez les mâles et 15 ans chez les femelles (White et al. 2006).

Ces chiffres diffèrent aussi selon les sources et sont souvent plus élevés dans les études récentes car la MRC tend à être dépistée de plus en plus systématiquement. Ainsi, une étude récente indique que plus de 10% des chiens et plus de 30% des chats de plus de 15 ans sont atteints de MRC (Bartges, Polzin 2011).

La MRC a toujours pour origine une néphropathie, c'est-à-dire une atteinte tubulaire, glomérulaire, interstitielle ou vasculaire à l'origine d'une altération du fonctionnement du rein. Ces néphropathies peuvent être congénitales et/ou héréditaires mais elles sont le plus souvent acquises (Polzin 2011).

Une origine congénitale ou familiale est suspectée en fonction de l'âge d'apparition des symptômes, de la race, des antécédents familiaux et d'examen radiographiques et/ou échographiques. Il existe une prédisposition génétique de certaines races et de certains individus à développer une MRC.

La MRC acquise résulte quant à elle de troubles ayant endommagé une ou plusieurs parties des néphrons mais l'origine des troubles reste souvent indéterminée : on parle alors de néphropathie idiopathique.

Les différentes néphropathies pouvant engendrer une MRC sont résumées dans le tableau 3.

Les néphropathies ont le plus souvent une origine tubulo-interstitielle : c'est le cas chez 75% des chats et 45% des chiens atteints de MRC. La deuxième localisation la plus fréquente est glomérulaire : cela concerne 15% des chats et environ 45% des chiens (Lavoue 2024).

Dans le cas de néphropathies acquises, plusieurs causes peuvent expliquer l'apparition des lésions :

- Une origine infectieuse : elle peut être bactérienne (borréliose, ehrlichiose, leptospirose, pyélonéphrite, pyomètre, septicémie...), parasitaire (nématodes : dirofilariose, *Dioctophyma renale*...; protozoaires : babésiose, leishmaniose...), fongique (candidose, cryptococcose, aspergillose...), virale (FeLV, FIV, PIF, maladie de Carré...).
- Une origine systémique : à la suite d'une maladie à médiation immune (lupus, polyarthrite, anémie hémolytique à médiation immune, thrombopénie...), d'une pancréatite, d'une cholangiohépatite, d'une maladie parodontale ou encore secondairement à de l'hypertension artérielle.
- Une origine tumorale : causée par des tumeurs à cellules rondes (lymphome, mastocytome, histiocytome), une tumeur rénale primaire (carcinome, sarcome, néphroblastome) ou bien des métastases.

Localisation	Néphropathies	Etiologie	Races prédisposées
Glomérulaire	Glomérulonéphrite chronique	Précipitation de complexes immuns Primitive (++) ou secondaire à diverses affections	Chien : Beagle, Bouvier bernois, Bull mastiff, Dalmatien, Doberman, Terrier irlandais à poils doux
	Amyloïdose rénale	Primitive ou secondaire à diverses affections	Chat : Abyssin, Oriental shorthair, Siamois Chien : Shar-Pei, Beagle, Colley, Foxhound, Walker hound
	Glomérulopathie familiale		Chien : Samoyède, Cocker, Doberman, Bull terrier, Rottweiler, Terre-neuve, Dogue de Bordeaux
Tubulo-interstitielle	Néphrite interstitielle chronique	Primitive (++) ou secondaire à diverses affections	
	Pyélonéphrite	Affection ascendante des voies urinaires	
	Hydronéphrose bilatérale	Obstruction urinaire chronique	
	Néphrocalcinose	Pseudohyperparathyroïdie, hyperparathyroïdie, intoxication par la vitamine D, MRC	
	Néphrite familiale		Chien : Elkhound norvégien, Basenji, Border terrier, Schnauzer miniature, Berger shetland
Autres	Tumeur rénale	Primitive ou secondaire	Chien : Berger Allemand
	Anomalie de développement	Polykystose rénale	Chat : Persan, Himalayen, Chats européens à poils longs Chien : Cairn terrier, Beagle, Foxhound, Caniche nain, West Highland white terrier
		Hypoplasie corticale	
		Dysplasie rénale bilatérale	Chat : Persan Chien : Lhasa apso, Shih-tzu, Caniche, Wheaten terrier, Chow-chow, Malamute, Golden retriever, Collie, Irish wolfhound, Beagle, Boxer, Cavalier king charles, Cocker, Kooiker, Dogue allemand, Patou, Samoyède, Caniche, Yorkshire terrier, Spitz loup, Terrier irlandais à poils doux
		Agénésie rénale unilatérale	Chien : Beagle, Doberman Chat : Himalayen, Chat européen à poils longs
	Télangiectasie rénale		Chien : Welsh corgi pembroke
	Glucosurie rénale primaire		Chien : Elkhound norvégien, Terrier écossais

TABLEAU 3 : LES NEPHROPATHIES RESPONSABLES D'UNE MRC CHEZ LES CARNIVORES DOMESTIQUES EN FONCTION DE LEUR LOCALISATION D'APRES (FONTAINE 2001 ; CHEW, DIBARTOLA, SCHENCK 2011 ; NELSON, GUILLERMO COUTO 2014)

D'autres causes de néphropathies peuvent être envisagées telles qu'une origine médicamenteuse ou traumatique (Lavoue 2024).

La vaccination des chats contre le calicivirus félin, la panleucopénie féline et l'herpèsvirus félin de type 1 avec des vaccins produits à partir de cellules rénales félines de Crandell-Ress (CRFK) pourrait être un facteur de risque (Finch, Syme, Elliott 2016). Certaines études suggèrent que l'exposition aux antigènes CRFK pourrait entraîner chez les chats vaccinés une production d'auto-anticorps dirigés contre leur parenchyme rénal, favorisant l'apparition d'une MRC. Une alimentation acidifiante et pauvre en potassium pourrait également constituer un facteur de risque (DiBartola et al. 1993).

Les animaux atteints d'insuffisance rénale aiguë ont par ailleurs un risque d'environ 50% de développer une MRC par la suite (Worwag, Langston 2008 ; Segev 2011).

Le sexe ou encore le lieu de vie ne semblent pas influencer sur la prévalence de la maladie (Finch, Syme, Elliott 2016).

## 2. Directives de l'*International Renal Interest Society*

### a. Diagnostic

À la suite du recueil des commémoratifs, de l'anamnèse et de la réalisation d'un examen clinique, une MRC peut être suspectée. Le diagnostic clinique de certitude ne peut être établi qu'après l'analyse de paramètres sanguins et urinaires. Les résultats de ces analyses vont permettre d'une part de confirmer ou d'infirmer le diagnostic, et d'autre part d'attribuer un stade d'évolution à la maladie grâce à la classification de l'*International Renal Interest Society* (IRIS).

### b. Classification

La classification IRIS définit les stades de la maladie rénale chronique et la prise en charge correspondante d'après la mesure de deux paramètres biochimiques : la créatinémie et la concentration sanguine en SDMA (International Renal Interest Society 2023a). La mesure du DFG est peu mise en œuvre en routine au sein des cliniques vétérinaire car elle est difficile et onéreuse à réaliser. Aussi, les vétérinaires lui préfèrent-ils la mesure de ces deux paramètres.

La variabilité individuelle de la concentration plasmatique en créatinine est faible, donc une élévation même faible de celle-ci par rapport à une valeur ultérieure peut être le signe d'une perte de fonction rénale significative (Sargent, Elliott, Jepson 2021). Elle peut

cependant être modifiée par d'autres facteurs intrinsèques et extrinsèques tels que la perte de poids ou de muscle, le degré d'hydratation, la prise alimentaire ou l'existence d'une maladie concomitante. La créatininémie est un marqueur tardif de souffrance rénale puisqu'elle n'augmente que lorsque plus de 50% des néphrons sont lésés (Nabity et al. 2015). Le choix d'un seuil de classification plus bas peut augmenter la sensibilité de l'analyse, mais il existera un risque de résultats faussement positifs (Pelander et al. 2019).

La variation de la SDMA par rapport à un seuil de référence survient en moyenne 9,8 mois avant celle de la créatinine chez le chien, ce qui fait d'elle un marqueur de choix pour l'évaluation de la fonction rénale (Hall 2016). Sa variabilité individuelle est en revanche plus forte que celle de la créatinine (Pelander et al. 2019). Il existe des situations où la concentration sanguine en SMDA augmente sans que le DFG soit diminué, c'est notamment le cas chez les animaux atteints de lymphome (International Renal Interest Society 2023a). La classification IRIS repose toujours sur l'analyse concomitante de la SMDA et de la créatinémie, ce qui permet d'augmenter la sensibilité et la spécificité du diagnostic posé (Pelander et al. 2019 ; International Renal Interest Society 2023a).

La figure 7 récapitule les directives de classification en quatre stades IRIS. Les prélèvements doivent être effectués sur des animaux à jeun, stables et correctement hydratés.





					
		<b>Stade 1</b> Pas d'azotémie (Créatinine normale)	<b>Stade 2</b> Légère azotémie (Créatinine normale ou légèrement élevée)	<b>Stade 3</b> Azotémie modérée	<b>Stade 4</b> Azotémie sévère
<b>Créatinine en mg/L</b> <small>Stade reposant sur une créatinine stable</small>	Chien	Inférieure à <b>14</b> (125 µmol/L)	<b>14-28</b> (125 - 250 µmol/L)	<b>29-50</b> (251 - 440 µmol/L)	Supérieure à <b>50</b> (440 µmol/L)
	Chat	Inférieure à <b>16</b> (140 µmol/L)	<b>16-28</b> (140 - 250 µmol/L)	<b>29-50</b> (251 - 440 µmol/L)	Supérieure à <b>50</b> (440 µmol/L)
<b>SDMA* en µg/dL</b> <small>Stade reposant sur une SDMA stable</small>	Chien	Inférieure à <b>18</b>	<b>18-35</b>	<b>36-54</b>	Supérieure à <b>54</b>
	Chat	Inférieure à <b>18</b>	<b>18-25</b>	<b>26-38</b>	Supérieure à <b>38</b>
<b>Rapport UPC/RPCU</b> <small>Sous-stade en fonction de la protéinurie</small>	Chien	Pas de protéinurie < 0,2		Protéinurie limite 0,2 – 0,5	Protéinurie > 0,5
	Chat	Pas de protéinurie < 0,2		Protéinurie limite 0,2 – 0,4	Protéinurie > 0,4
<b>Pression artérielle systolique en mmHg</b> <small>Sous-stade en fonction de la pression artérielle</small>	Pas d'hypertension < <b>140</b>		Hypertension limite <b>140-159</b>		
	Hypertension <b>160-179</b>		Hypertension sévère ≥ <b>180</b>		

FIGURE 7 : CLASSIFICATION DU STADE D'ÉVOLUTION DE LA MRC D'APRES L'INTERNATIONAL RENAL INTEREST SOCIETY

Les seuils ne sont pas les mêmes chez le chien et chez le chat. Par exemple un chien présentant une concentration plasmatique ou sérique en créatinine comprise entre 14mg/L (125µmol/L) et 28mg/L (250µmol/L) ainsi qu'une concentration en SDMA comprise entre 18 µg/dL et 35 µg/dL sera de stade IRIS 2. S'il présente une concentration en SDMA supérieure à 35 µg/dL, il devra être classé au stade IRIS 3 même si sa créatinémie n'excède pas 28mg/L (International Renal Interest Society 2023b).

Un chat au stade IRIS 2 quant à lui aura une concentration plasmatique ou sérique en créatinine comprise entre 16mg/L (140µmol/L) et 28mg/L (250µmol/L) ainsi qu'une concentration en SDMA comprise entre 18 µg/dL et 25 µg/dL. Comme pour le chien, si l'animal présente une concentration en SDMA supérieure à 25 µg/dL, il devra être classé au stade IRIS 3 même si sa créatinémie n'excède pas 28mg/L (International Renal Interest Society 2023c).

Les concentrations sanguines en SDMA et en créatinine ne sont interprétables que pour des valeurs de densité urinaire supérieures à 1.030 chez un chien et 1.035 chez un chat (Pelander et al. 2019). La classification IRIS n'a par ailleurs été établie que chez des sujets adultes, la croissance pouvant influencer les concentrations plasmatiques en SDMA et en créatinine (IDEXX Laboratories 2017). La prise en compte de la race de l'animale est importante car il existe certains biais : les chats de race birmane et les chiens de race greyhound ont physiologiquement une concentration plasmatique en SDMA et en créatinine plus élevés que la moyenne de l'espèce (Pelander et al. 2019). Les seuils utilisés dans la classification IRIS ne sont validés que pour les analyseurs du laboratoire IDEXX (International Renal Interest Society 2023). Réaliser plusieurs prélèvements et traiter les échantillons prélevés avec le même analyseur permet de limiter les biais liés aux appareils, qui peuvent être importants (Harris, Brown 2022).

#### c. Sous-classification

À la suite de cette première classification, une sous classification est établie selon deux critères.

Le premier critère est la présence ou non de protéines dans les urines. Les animaux sont qualifiés de non protéinuriques lorsque le rapport protéines urinaires sur créatinine urinaire (RPCU) est inférieur à 0,2. Au-dessus de 0,5 chez le chien et 0,4 chez le chat, l'animal est protéinurique. Entre ces deux valeurs, on parle de protéinurie limite (Lavabre, Trumel 2019). Les animaux ayant des valeurs limites de protéinurie doivent être réévalués au cours des deux mois suivants (International Renal Interest Society 2023).

La mesure du RPCU doit être effectuée sur les urines d'animaux exempts d'inflammation du bas appareil urinaire, d'anomalies de la protéinémie et de troubles hémorragiques. Les urines peuvent être récoltées par cystocentèse ou par miction spontanée. Il n'est pas nécessaire que l'animal soit à jeun pour cette analyse (Lavabre, Trumel 2019).

Le deuxième critère retenu pour préciser la classification IRIS est la présence ou non d'hypertension artérielle systémique. Les animaux sont normotendus quand leur pression artérielle systolique est inférieure à 140 mmHg, limite hypertendus pour des valeurs de pression artérielle systolique comprises entre 140mmHg et 159mmHg, hypertendus entre 160 et 179mmHg et sévèrement hypertendus au-dessus de 180mmHg (International Renal Interest Society 2023a).



Il existe des facteurs de variations de la pression artérielle tels que le stress qui modifie largement les valeurs obtenues ou encore la race de l'animal. Les lévriers ont tendance à avoir physiologiquement une pression artérielle plus élevée (Chetboul 2002). L'utilisation de table indiquant les valeurs de pressions artérielles physiologiques spécifiques de la race est donc recommandée (International Renal Interest Society 2023b).

Les animaux atteints de MRC doivent être réévalués à intervalles réguliers et réaffectés à une classe et sous classe IRIS en fonction de leurs analyses.

Afin d'optimiser la prise en charge des animaux atteints de MRC, il est nécessaire de caractériser au mieux leur maladie. Ainsi, la cause étiologique de la perte de fonction rénale doit être recherchée dans un premier temps. Le dosage de la concentration plasmatique en SMDA et en créatinine permet d'établir un diagnostic de MRC et de classer les animaux selon l'avancement de la maladie. La présence, ou non, d'une protéinurie et d'une hypertension systémique permet une sous-classification plus précise de l'affection. Par la suite, cette classification et sous-classification permettent d'adapter les recommandations thérapeutiques et la gestion médicale des patients.

#### IV. Gestion médicale de la MRC

La MRC est associée à l'apparition de signes cliniques dont la sévérité et la fréquence s'accroissent à mesure que les lésions rénales progressent. Ces signes sont généralement présents à partir du stade IRIS 3. Leur manifestation est néanmoins variable : elle peut avoir lieu dès les premiers stades de la maladie chez certains individus ou être discrète même lors de stades avancés chez d'autres (Forrester, Adam, Timothy 2010). Au stade 4, en revanche, les signes cliniques sont marqués et les traitements mis en place permettent davantage une amélioration de la qualité de vie des animaux qu'un ralentissement de l'évolution de la maladie (International Renal Interest Society 2023b ; International Renal Interest Society 2023c).

La classification IRIS permet de définir des stades à partir duquel les différents traitements vont être mis en place. Ils sont résumés dans la figure 8.

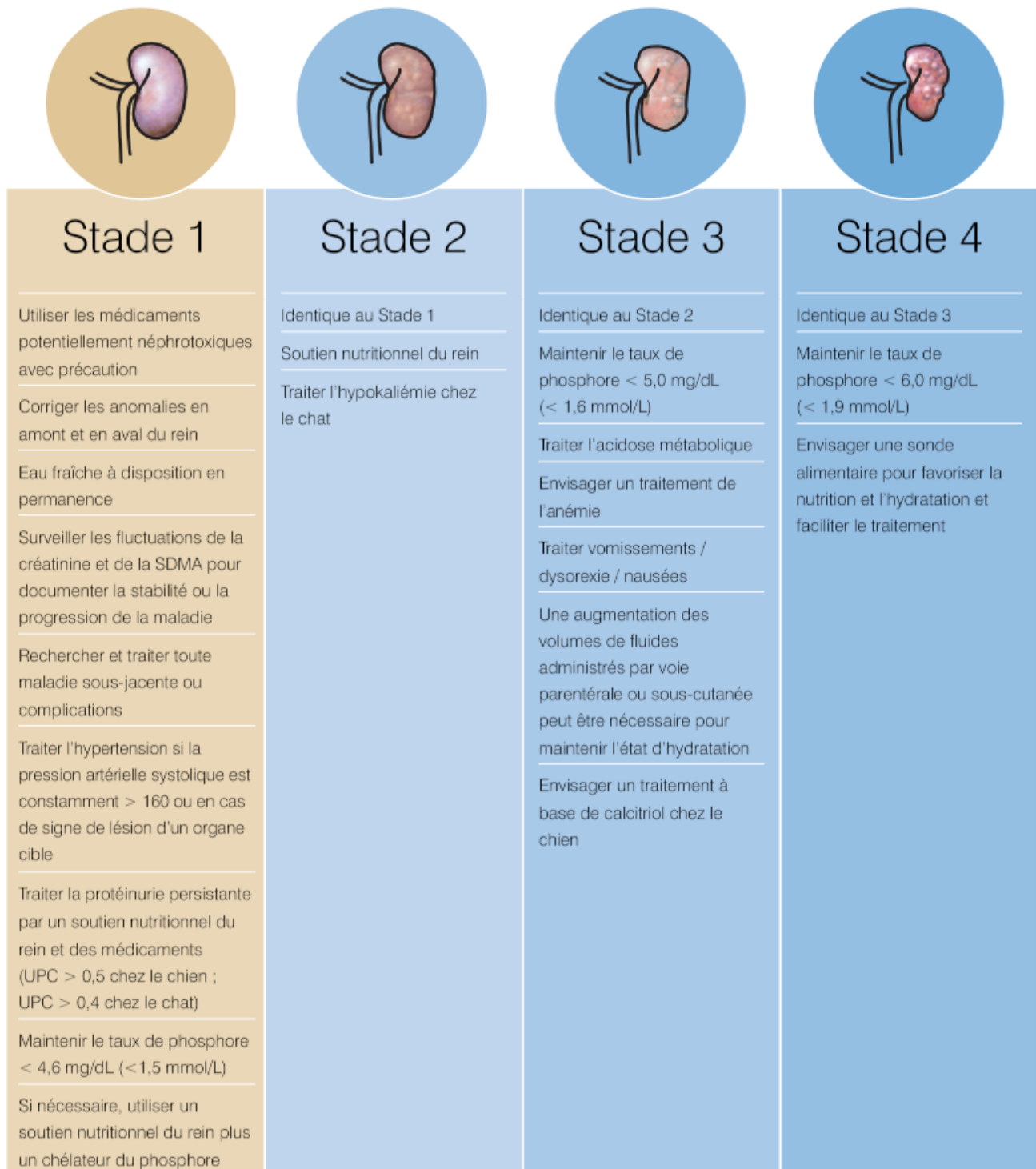


FIGURE 8 : LES RECOMMANDATIONS THERAPEUTIQUES POUR LES ANIMAUX ATTEINTS DE MRC EN FONCTION DU STADE IRIS DE LA MALADIE

La première étape de la prise en charge médicale est la recherche et la résolution d'une affection curable pouvant expliquer l'apparition des lésions rénales telle qu'une pyélonéphrite ou une obstruction urétérale (Polzin 2011).

Ensuite, il convient de traiter les comorbidités telles que l'hypertension artérielle systémique qui est délétère pour les reins, les yeux et les systèmes nerveux et cardio-

vasculaire. Un suivi régulier de la pression artérielle doit donc être mis en place et un traitement hypotenseur peut être nécessaire avec :

- un inhibiteur de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (IECA) tel que le bédazépril ou l'énalapril en première intention chez le chien. Les IECA permettent également de limiter le phénomène d'ultrafiltration (Nelson, Guillermo Couto 2014)
- un inhibiteur calcique comme l'amlodipine, en première intention chez le chat (Nelson, Guillermo Couto 2014).

Lors de protéinurie, un traitement à base d'IECA est à envisager. En cas de protéinurie et d'hypoalbuminémie persistantes, un traitement antithrombotique à base de clopidogrel est préconisé.

Une hyperphosphatémie persistante non gérée par l'alimentation ou l'administration de chélateurs peut nécessiter un traitement à base de calcitriol (voir *III. Apport en phosphore* de la partie 2 du manuscrit). Si elle apparaît, l'hypokaliémie sera traitée par l'administration orale de citrate de potassium ou de gluconate de potassium. L'acidose métabolique sera quant-à-elle gérée par la supplémentation orale en bicarbonates de sodium (voir *VI. Apport en électrolytes* de la partie 2 du manuscrit).

La MRC est le plus souvent idiopathique, auquel cas le traitement d'une cause étiologique est illusoire. En revanche, diverses mesures permettent de ralentir la vitesse de progression des lésions et d'améliorer le confort de vie de l'animal. Elles incluent une stimulation de l'appétit, une réduction des vomissements grâce à des antiémétiques, une gestion des douleurs digestives par des pansements gastriques ou des inhibiteurs de la pompe à protons, ainsi qu'une réhydratation de l'animal par voie veineuse en cas de dégradation de l'état général (Hernandez 2018).

## V. Conclusion partielle de la partie I

La maladie rénale chronique est une affection fréquente chez les chiens et les chats, en particulier chez les animaux âgés. Elle est due à une atteinte des néphrons, les unités fonctionnelles du rein et à la mise en place de mécanismes visant à maintenir la fonction rénale qui sont, à terme, délétères pour les reins.

Or, ces derniers exercent un rôle majeur sur les fonctions métaboliques, excrétoires, régulatrices et endocrines de l'organisme. Les lésions à l'origine de la dégradation de la fonction rénale engendrent donc l'apparition de signes cliniques systémiques.

Une prise en charge précoce permet de retarder la vitesse de progression de la maladie et d'améliorer la durée et la qualité de vie des patients. Pour cela, il est impératif de grader le stade de la MRC afin de pouvoir adapter la prise en charge à l'évolution de l'affection. Les directives IRIS, basées sur l'analyse de paramètres biochimiques et paracliniques, permettent la classification de la MRC en classes et sous-classes, auxquelles sont associées des recommandations thérapeutiques.

La gestion de la maladie ainsi caractérisée se doit d'être multimodale pour être optimale. Elle s'appuie aussi bien sur des mesures médicales qu'alimentaires.

La deuxième partie de ce manuscrit s'attachera à détailler la prise en charge nutritionnelle optimale pour des chiens et des chats atteints de MRC.

## PARTIE 2 : GESTION ALIMENTAIRE DE LA MRC

### I. Apport en calories

Les aliments ingérés par les animaux sont une source d'énergie nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme. Ils permettent le maintien du métabolisme basal, la pratique d'activités physiques ou encore la croissance et la réparation des tissus en fonction du stade physiologique de l'animal (Council et al. 2006 ; Forrester, Adam, Timothy 2010 ; Lefebvre 2020).

#### 1. Intérêt de la gestion de l'apport calorique

Le maintien de la masse musculaire et du poids des animaux atteints de MRC est primordial car la perte de poids et de muscles en cas de maladie rénale est associée à une baisse de l'espérance de vie (Freeman et al. 2016 ; Pedrinelli et al. 2020). Or, les symptômes digestifs tels que la nausée et les vomissements, entraînent fréquemment une baisse de la prise alimentaire (Parker 2021). De plus, l'utilisation des protéines corporelles comme source d'énergie lors d'apport énergétique trop faible entraîne la production accrue de déchets du métabolisme azoté. Parmi ces déchets, on retrouve notamment l'urée, dont la concentration sanguine doit être contrôlée pour limiter l'apparition du syndrome urémique (Laflamme, Hannah 2013).

#### 2. Gestion pratique de l'apport calorique

Il existe plusieurs formules pour calculer l'apport calorique selon les auteurs. Nous avons décidé d'utiliser dans cette étude celles du National Research Council qui sont souvent utilisées comme référence en nutrition des carnivores domestiques (NRC 2006).

Les tableaux 4 et 5 ci-dessous récapitulent les formules utilisables chez les chiens et les chats en fonction de leur stade physiologique.

	Entretien (BEE)	Gestation (BEG)	Lactation (BEL)	Croissance (BEC)
Energie (kcal EM/j)	$130 \times P_i^{0,75}$	$BEE + 26 \times P_i$	$145 \times P_i^{0,75} + P_i \times (24N + 12M) \times L$	<ul style="list-style-type: none"> <li>nouveau-né : <math>250 \times P_{ij}</math></li> <li>jeune : <math>BEE \times [(1,8 - P_{ij}/P_{ia})/0,8]</math></li> </ul>

-  $P_i$  : poids idéal ( $P_{ia}$  : poids idéal à l'âge adulte,  $P_{ij}$  : poids idéal du jeune)

-  $N$  :  $N$  est égal au nombre de chiots de 1 à 4 ;  $M$  est égal au nombre de chiots à partir du 5<sup>ème</sup> chiot

-  $L$  :  $L = 0.75$  la 1<sup>ère</sup> semaine de lactation ;  $L = 0.95$  la 2<sup>ème</sup> ;  $L = 1,1$  la 3<sup>ème</sup> et  $L = 1,2$  la 4<sup>ème</sup>

TABLEAU 4 : LES APPORTS ENERGETIQUES RECOMMANDES CHEZ LE CHIEN EN FONCTION DU STADE PHYSIOLOGIQUE D'APRES (NRC 2006)

	Entretien (BEE)	Gestation (BEG)	Lactation (BEL)	Croissance (BEC)
Energie (kcal EM/j)	$100 \times P_i^{0,67}$	$140 \times P_i^{0,67}$	$100 \times P_i^{0,67} + P_i \times N \times L$	<ul style="list-style-type: none"> <li>nouveau-né : <math>250 \times P_{ij}</math></li> <li>jeune : <math>BEE \times 6,7^{(-0,189 \times P_{ij}/P_{ia}) - 0,66}</math></li> </ul>

-  $P_i$  : poids idéal ( $P_{ia}$  : poids idéal à l'âge adulte,  $P_{ij}$  : poids idéal du jeune)

-  $N$  :  $N=18$  de 1 à 2 chatons ;  $N=60$  de 3 à 4 chatons et  $N=70$  lorsqu'il y a 5 chatons ou plus dans la portée

-  $L$  :  $L = 0.69$  les 2<sup>èmes</sup> semaines de lactation ;  $L = 1,2$  les 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> ;  $L = 1,1$  la 5<sup>ème</sup>,  $L = 1$  la 6<sup>ème</sup> et  $L = 0,8$  la 7<sup>ème</sup>.

TABLEAU 5 : LES APPORTS ENERGETIQUES RECOMMANDES CHEZ LE CHAT EN FONCTION DU STADE PHYSIOLOGIQUE D'APRES (NRC 2006)

Le besoin énergétique est ensuite multiplié par un facteur spécifique à l'animal qui dépend de sa race, de son âge, de son activité, d'une éventuelle pathologie ou encore de son statut sexuel.

En pratique, les animaux atteints de MRC ont souvent peu d'appétit mais des besoins augmentés en lien avec leur pathologie donc le recours aux aliments appétents de forte densité énergétique est nécessaire (Forrester, Adam, Timothy 2010). Cela permet d'assurer un apport énergétique suffisant malgré une prise alimentaire diminuée. Face à un animal qui s'alimente difficilement, il peut être intéressant de lui proposer plusieurs types de nourriture : des croquettes, de la pâtée, des mousses, des chunks ou encore une ration ménagère. Le fait d'humidifier la ration, de la réchauffer, de la délivrer en petites quantités ou d'y ajouter des arômes peut également favoriser la prise alimentaire (Fontaine 2001). En cas d'hyporexie persistante, la mise en place de traitements visant à stimuler l'appétit ou une réalimentation par sonde devront être envisagés (Nelson, Guillermo Couto 2014)

Un suivi du poids et de la masse musculaire est préconisé afin de pouvoir adapter l'apport calorique de la ration aux besoins de l'animal (Parker 2021). En cas d'amaigrissement,

une augmentation initiale de l'apport énergétique de 10% est recommandée, afin que l'animal atteigne progressivement son poids idéal (Groves 2020).

Après avoir abordé la gestion de l'apport calorique pour soutenir les besoins énergétiques des animaux atteints de MRC, il est essentiel de considérer l'importance de l'apport hydrique, un facteur clé pour maintenir la fonction rénale et prévenir les complications liées à la déshydratation.

## II. Apport en eau

La consommation de croquettes ou d'une alimentation humide impacte le degré d'hydratation de l'animal.

### 1. Intérêt de la gestion de l'apport hydrique

La dégradation progressive de la fonction rénale entraîne un déclin de la capacité de concentration des urines. Cette perte d'eau au niveau rénal est à l'origine de l'apparition d'une polydipsie compensatrice de l'équilibre hydrique qui permet, dans une certaine mesure, de limiter la déshydratation des animaux malades (Koeppen, Stanton 2007). Les vomissements et les diarrhées pouvant apparaître lors de crises urémiques sont aussi à l'origine de pertes hydriques (Cotard 1993). Il est primordial de lutter contre cette déshydratation car elle contribue à détériorer davantage la fonction rénale (Polzin 2011).

Les rations contenant des aliments humides sont préférables car elles permettent une consommation totale d'eau généralement plus élevée en comparaison avec la consommation d'aliments secs (Hand, Thatcher, Remillard, Roudebus, Novotny 2010). De plus, même s'ils consomment la même quantité d'eau, un animal mangeant des croquettes à volonté aura un apport en eau moins continu sur la journée qu'un animal mangeant une alimentation humide à volonté. Il sera donc en état de légère déshydratation jusqu'à ce que sa prise de boisson compense le déficit hydrique lié à la prise alimentaire (Cave 2019).

Une étude a montré que des chats consommant un aliment sec ou humide de même composition préféraient l'aliment humide, mais consommaient moins de calories avec cette seconde alimentation. Cela a engendré une perte de poids. En cas d'alimentation humide, il faudra donc veiller à ce que la ration soit particulièrement riche en énergie pour

que les besoins caloriques de l'animal soient couverts même s'il consomme une quantité de matière sèche plus restreinte (Wei et al. 2011).

L'alimentation humide favorise néanmoins l'apparition de tartre, de gingivite et de maladie parodontale ce qui doit amener le vétérinaire à adapter le choix de la ration à la clinique de chaque animal (Buckley et al. 2011).

## 2. Gestion pratique de l'apport hydrique

Une alimentation constituée au moins en partie d'aliments humides est à privilégier chez les animaux souffrant de MRC. Une alternative économique consiste à imbiber les croquettes d'eau mais la quantité de calorie consommée peut être plus difficile à surveiller (Groves 2021).

Par ailleurs, un aliment humide ne doit pas rester plus de quelques heures à température ambiante (Forrester, Adam, Timothy 2010).

Les animaux atteints de MRC doivent avoir un accès permanent à de l'eau fraîche et propre. Même si la polyurie et la polydipsie peuvent être gênantes pour les propriétaires, il est primordial que les chiens et les chats disposent d'eau à volonté.

Les points d'eau doivent être disposés dans des endroits calmes et à distance des litières pour favoriser la prise de boisson, en particulier chez les chats (Groves 2021). La mise en place de fontaines à eau chez le chat est pertinente mais ses effets bénéfiques sur la prise de boisson n'ont pas été démontrés à l'échelle collective (Grant 2010 ; Pachel, Neilson 2010). L'utilisation d'eau enrichie en substance nutritive et d'eau aromatisée permet aussi d'augmenter la prise de boisson des chats (Zanghi, Gerheart, Gardner 2018 ; Zanghi et al. 2018).

En cas de prise de boisson trop faible entraînant une déshydratation, l'administration d'eau grâce à une sonde d'alimentation peut être nécessaire (DVM 2015 ; Sparkes et al. 2016),

Si un apport calorique et hydrique équilibré aide à maintenir une masse grasseuse et musculaire préservatrice de la santé des animaux atteints de MRC, le contrôle du phosphore est primordial pour ralentir la progression de la maladie rénale et améliorer la qualité de vie des animaux.



### III. Apport en phosphore

Le phosphore est un macroélément essentiel pour le métabolisme des animaux. Il participe aux réactions énergétiques et acido-basiques, au transport d'électrolytes de l'organisme, ainsi qu'à la formation des os et des dents. Le corps contrôle la concentration extracellulaire en phosphore grâce à plusieurs mécanismes que sont l'excrétion urinaire, l'absorption intestinale et la résorption ou la fixation du phosphore au niveau de divers tissus tels que les os (Laflamme et al. 2020).

Les aliments industriels pour carnivores domestiques sont fréquemment supplémentés en phosphore pour des raisons techniques telles qu'une modification de la texture, de l'appétence, de la couleur des aliments ou encore pour leur conservation. Cela permet également le contrôle du pH urinaire afin de limiter la formation de certains calculs urinaires ou la prévention de l'accumulation de tartre au niveau des dents (Dobenecker, Kienzle, Siedler 2021).

#### 1. Intérêt de la restriction phosphorée

L'hyperphosphatémie est fréquente en cas de MRC et favorisée par un apport alimentaire trop important en phosphore. Les mécanismes de régulation du phosphore peuvent entraîner l'apparition d'une hyperparathyroïdie, à l'origine de troubles osseux et de précipitations ectopiques de calcium dans différents tissus (Cotard 1993). La diminution des apports en phosphore est donc une mesure diététique et thérapeutique majeure en cas de MRC (Cotard 1993).

Plusieurs études chez le chien et le chat ont montré l'intérêt d'une réduction de l'apport en phosphore alimentaire en cas de MRC. Elles sont rassemblées dans le tableau 6. C'est une mesure majeure pour limiter la progression des lésions rénales, prévenir l'apparition d'une hyperparathyroïdie et augmenter l'espérance et la qualité de vie des patients.

Etude	Sujets d'étude	Régime testé	Résultats
Slatopolsky et al, 1972	7 chiennes adultes à divers stades de réduction néphronique	Apport en phosphore initial de 1200 mg/j diminué progressivement en fonction de l'évolution du DFG jusqu'à 235mg/j	La diminution de l'apport en phosphore alimentaire proportionnellement à celle du DFG permet de prévenir l'apparition d'une hyperparathyroïdie secondaire
Finco et al, 1992	48 jeunes chiens adultes, mâles et femelles, ayant subi une réduction néphronique de 15/16e de leur masse rénale	Régime 1 : 16% MS protéines et 0,4% MS de phosphore Régime 2 : 16% MS de protéines et 1,4% MS de phosphore Régime 3 : 32% MS de protéines et 0,4% MS de phosphore Régime 4 : 32% MS de protéines et 1,4% MS de phosphore	Allongement de la survie des animaux et ralentissement de la progression des lésions rénales lors d'une restriction en phosphore alimentaire, indépendamment de la quantité de protéines de la ration
Dobenecker, Reese, Herbst 2021	8 jeunes chiens adultes en bonne santé	Régime 1 : 0,5% MS de phosphore Régime 2 : 1,7% MS de phosphore issu de farine de volaille Régime 3 : 1,7% MS de phosphore issu de phosphate monosodique Régime 4 : 1,7% MS de phosphore issu de phosphate monopotassique	Hausse dose-dépendante de la phosphatémie et de la concentration plasmatique en PTH des régimes supplémentés avec du phosphate inorganique mais pas avec du phosphore issu de volaille
Dobenecker, Kienzle, Siedler 2021	8 jeunes chiens adultes en bonne santé	8 régimes différents composés de 1,8% MS de phosphore issu de farine de poulet, de farine d'os de bœuf ou de sources inorganiques	Hausse dose-dépendante de la phosphatémie et de la concentration plasmatique en PTH des régimes supplémentés avec du phosphate inorganique (en particulier les ions monophosphates sodiques et potassiques) mais pas avec du phosphore issu de volaille ou d'os de bœuf
Ross, Finco, Crowell 1982	Groupe de chats ayant subi une réduction de leur masse rénale	Régime 1 : 0,24% de MS de phosphore Régime 2 : 1,56% de MS de phosphore	Apparition de minéralisation et de fibrose rénale lors de la supplémentation avec 1,56% de phosphore
King and al. 2007	190 chats atteints de MRC	Etude d'une multitude de facteurs biologiques pouvant influencer l'espérance de vie des chats	Diminution significative de l'espérance de vie lorsque la phosphatémie est supérieure à 4,7mg/dL. Cette réduction est d'autant plus marquée que la phosphatémie est élevée
Dobenecker et al. 2018	26 chats adultes en bonne santé	Régime 1 : 5,6g de phosphore par kg de MS Régime 2 : 16g de phosphore par kg de MS dont 10,4g issu de sels de phosphore monophosphate hautement digestibles	Diminution de la clairance de la créatinine et apparition de signes biochimiques reflétant une souffrance rénale lors de la complémentation avec sels de phosphore monophosphate
Coltherd et al. 2019	20 chats adultes en bonne santé	Régime 1 : 3,79g de phosphore organique/1000kcal Régime 2 : 3,86g de monosodium phosphate /1000kcal Régime 3 : 3,79g de triphosphate de sodium 1000kcal	Hausse de la phosphatémie et de la concentration plasmatique en PTH des régimes supplémentés avec du phosphate inorganique mais pas avec du phosphore organique

**TABLEAU 6 : LES DIFFERENTES ETUDES DES EFFETS DE LA TENUEUR ET DE LA NATURE DU PHOSPHORE DE LA RATION SUR LA FONCTION RENALE DES ANIMAUX ATTEINTS DE MRC, D'APRES (SLATOPOLSKY ET AL. 1972 ; ROSS, FINCO, CROWELL 1982 ; FINCO ET AL. 1992 ; KING ET AL. 2007 ; DOBENECKER ET AL. 2018 ; COLTHERD ET AL. 2019 ; DOBENECKER, KIENZLE, SIEDLER 2021 ; DOBENECKER, REESE, HERBST 2021)**

## 2. Influence de la nature de la source phosphorée

La nature de la source de phosphore a une importance primordiale : l'ajout de phosphore inorganique entraîne une hausse dose-dépendante de la phosphatémie et de la concentration plasmatique en PTH des chiens et chats supplémentés. Ce n'est pas le cas avec du phosphore de source organique (Dobenecker et al. 2018 ; Dobenecker, Kienzle, Siedler 2021 ; Dobenecker, Reese, Herbst 2021). En effet, la littérature fait état d'une biodisponibilité de 40 à 60% pour le phosphate organique contre 80% à 100% pour le phosphate inorganique (Coltherd et al. 2019).

Parmi les sels de phosphates inorganiques, les sels monophosphates seraient davantage absorbés au niveau de l'intestin en comparaison avec des tripolyphosphates qui sont plus aptes à se lier au calcium (Coltherd et al. 2019 ; Dobenecker, Kienzle, Siedler 2021). Il existe aussi une variabilité au sein des sels monophosphates (Laflamme et al. 2020).

Des études approfondies sont nécessaires pour caractériser les différences des effets entre ces sels et déterminer des limites maximales recommandées.

## 3. Autres facteurs de régulation de la phosphatémie

Le rapport phospho-calcique de la ration influence aussi l'élévation de la phosphatémie : elle est maintenue élevée plus longtemps avec un ratio  $Ca/P < 1$  par rapport à une ration dont le  $Ca/P > 1$  (Masuyama et al. 2007). Cela serait dû à la capacité du calcium mais aussi du magnésium à former avec les ions phosphates des cristaux insolubles Ca-Mg-phosphate (Coltherd et al. 2019). Il semblerait d'ailleurs que la formation de ces cristaux soit favorisée quand le calcium est présent sous forme de chlorure de calcium dans la ration par rapport au carbonate de calcium.

Les recommandations d'apports calciques pour des animaux sains varient selon les sources. On peut retenir une valeur de 1,6g/Mcal chez le chien et le chat adultes pouvant varier de 1,2g/Mcal jusqu'à 2g/Mcal chez le chat et de 1,2g/Mcal jusqu'à 2,5 g/Mcal chez le chien en fonction de l'âge et du statut physiologique (Council et al. 2006). Il faudra veiller au maintien du rapport phospho-calcique dans l'intervalle voulu : un rapport trop élevé favorise une hyperparathyroïdie et donc une hyperphosphatémie, un rapport trop faible prédispose à la formation d'urolithes et à la minéralisation des tissus mous. Une

supplémentation en calcium par voie orale est possible chez les individus hypocalcémiques (Fontaine 2001).

#### 4. Gestion pratique de l'apport phosphoré

Une diminution de la teneur en phosphore dans la ration des chiens et des chats atteints de MRC présentant une azotémie ou une hausse de la phosphatémie est primordiale afin de limiter la progression des lésions.

En cas de MRC, on recommande une ration dont le phosphore constitue 0,2 à 0,5%MS chez le chien et 0,3 à 0,6% MS chez le chat, afin de couvrir les besoins phosphorés tout en limitant les risques liés à l'hyperphosphatémie (Forrester, Adam, Timothy 2010). La source de phosphore doit être de préférence organique, son apport compris entre 0,5 et 1g/Mcal et le ratio Ca/P doit être d'au moins 1/1 (Colliard et al. 2007 ; Alexander et al. 2019 ; Parker 2021).

De nombreuses marques vétérinaires commercialisent aujourd'hui des produits « à visée rénale ». Le phosphore représente généralement 0,25 à 0,5% MS dans ces aliments destinés aux chiens et 0,4 à 0,5% MS dans les aliments pour chats (Forrester, Adam, Timothy 2010 ; Nutritional Management of Renal Disease: An Evidence-Based Approach 2014). Une alimentation avec ces produits suffit souvent à ramener la phosphatémie dans l'intervalle ciblé. Une ration ménagère ou mixte est également possible pour nourrir les animaux atteints de MRC. Elle sera tout aussi efficace si elle est correctement équilibrée et qu'elle respecte les apports recommandés en phosphore (Parker 2021).

Il n'existe pas de consensus concernant la mise en place d'une alimentation réduite en phosphore chez les animaux atteints de MRC au stade IRIS I ou en début de stade IRIS II ne présentant pas d'azotémie. En effet, la mise en place trop précoce d'une restriction phosphorée pourrait favoriser l'apparition d'une hypercalcémie ionisée (Groves 2020). Idéalement, un contrôle de la phosphatémie à jeun doit être réalisé afin de décider de la mise en place ou non d'une restriction phosphorée. La classification IRIS mentionne des limites maximales de phosphatémie souhaitables pour chaque stade de la MRC (International Renal Interest Society 2023a ; International Renal Interest Society 2023b). Elles sont récapitulées dans le tableau 7 :

Stade IRIS	Intervalle de phosphatémie recommandé
Stade 1	2.8 à 4.5 mg/dL (0.9 à 1.45mmol/L)
Stade 2	2.8 à 4.5 mg/dL (0.9 à 1.45mmol/L)
Stade 3	2.8 à 5 mg/dL (0.9 à 1.6mmol/L)
Stade 4	2.8 à 6 mg/dL (0.9 à 1.9mmol/L)

TABLEAU 7 : INTERVALLES DE PHOSPHATEMIE CIBLES POUR DES CHIENS ET DES CHATS ATTEINTS DE MRC EN FONCTION DU STADE IRIS DE LA MALADIE D'APRES (INTERNATIONAL RENAL INTEREST SOCIETY 2023A ; INTERNATIONAL RENAL INTEREST SOCIETY 2023B)

Par ailleurs, la mesure du facteur FGF-23 chez un chat dont la phosphatémie est maintenue dans l'intervalle recommandé est un indicateur pertinent : au-delà de 400 pg/ml et en l'absence d'hypercalcémie, d'anémie ou de maladie inflammatoire, une restriction phosphorée pourrait être intéressante (International Renal Interest Society 2023c). Ces recommandations sont néanmoins empiriques et le peu d'études disponibles ne permet pas d'établir de seuil similaire chez le chien à l'heure actuelle (Elliott, Jepson, Geddes 2023).

## 5. Utilisation de chélateurs de phosphore

Si une alimentation pauvre en phosphore ne suffit pas à réduire la phosphatémie en dessous de 6mg/dL, il est conseillé d'ajouter des chélateurs du phosphore dans l'alimentation. Ces derniers se lient au phosphore dans la lumière du tube digestif, entraînant la formation de sels non absorbables (Bartges, Polzin 2011). Les différents chélateurs existants, leur dosage et les critères permettant de choisir le chélateur approprié sont résumés dans le tableau 8 ci-dessous.

Chélateur de phosphore	Dose	Critères de choix
Hydroxyde d'alumine	30 mg/kg/j en 2 prises	Peu appétent Risque de constipation
Acétate de calcium	60 à 90 mg/kg/j	Plus efficace que l'hydroxyde d'alumine Peut favoriser l'hypercalcémie
Carbonate de calcium	90 à 150mg/kg/j	Plus efficace que l'hydroxyde d'alumine Risque important de favoriser l'hypercalcémie
Carbonate de lanthanum	1,5 à 7,5g/kg/j	Meilleure efficacité et effets secondaires moindres par rapport aux autres chélateurs lors d'une étude chez des rats atteints de MRC Pas d'effets indésirables chez le chien et le chat même à 10 fois la dose recommandée Appétent Coût plus élevé que les autres chélateurs

TABLEAU 8 : LES DIFFERENTS CHELATEURS DE PHOSPHORE ET LEUR MODALITES D'UTILISATION CHEZ LE CHIEN ET LE CHAT ATTEINTS DE MRC D'APRES (COTARD 2002 ; BARTGES, POLZIN 2011 ; DAMNENT 2011 ; FEEDAP 2012 ; KING ET AL. 2014 ; FEEDAP ET AL. 2022)

Les chélateurs doivent être administrés au cours du repas pour maximiser leurs effets et la dose est à adapter en fonction du contrôle de la phosphatémie qui doit être réalisé à jeun, 15 jours après la mise en place du traitement (Hébert 2004). On commence généralement par la dose la plus basse qui peut être progressivement augmentée jusqu'à ce que la phosphatémie soit suffisamment diminuée.

Une thérapie combinant des doses réduites d'hydroxyde d'alumine et d'acétate de calcium peut être mise en place pour minimiser l'occurrence des effets indésirables de chaque agent (Cotard 2002).

Nous avons souligné l'importance de la gestion de l'apport en phosphore pour ralentir la progression de la maladie rénale chronique chez les chiens et les chats, intéressons-nous désormais à la gestion de l'apport en protéines, étroitement lié au maintien de la masse musculaire et à la production de déchets azotés.

#### IV. Apport en protéines

En plus d'être une source d'énergie, les protéines jouent un rôle structural au sein de plusieurs tissus et elles participent à de nombreuses réactions métaboliques.

Plus encore que la quantité de protéines, c'est l'apport en acides aminés et notamment en acides aminés essentiels qui est primordial. En effet, ces derniers ne peuvent être synthétisés par l'organisme et doivent obligatoirement être apportés par l'alimentation afin d'éviter des carences. Les acides aminés présents dans les protéines de bonne qualité sont plus digestibles donc plus efficacement absorbés et utilisés par l'organisme que ceux des protéines de mauvaise qualité (Lefebvre 2020 ; Li, Wu 2023).

##### 1. Intérêt de la restriction protéique

Les bénéfices d'une restriction protéique en cas de MRC sont débattus au sein de la profession vétérinaire depuis des années.

Des travaux menés tout d'abord sur des lapins, puis sur des rats, ont montrés les effets délétères d'une alimentation riche en protéines sur la fonction rénale et les effets bénéfiques d'une teneur restreinte en protéines (Newburg 1919 ; Farr, Smadel 1939). Ces observations ont été largement extrapolées aux carnivores domestiques sans qu'aucune preuve n'ait été apportée que ce modèle puisse également leur être appliqué.

La prévalence de la MRC augmentant avec l'âge, il paraît pertinent de s'intéresser au besoin protéique des animaux âgés. Chez le chien comme chez le chat, le vieillissement entraîne une baisse de la digestibilité des protéines mais aussi une baisse de leur synthèse et une hausse de leur dégradation. Les animaux seniors doivent donc être nourris avec des rations qui ne sont pas trop restreintes en protéines et ces dernières devront être préférentiellement hautement digestibles (Frantz, Yamka, Friesen 2007 ; Scherk 2023).

Plusieurs travaux ont été menés sur des chiens et des chats atteints de MRC spontanée ou induite afin d'étudier l'impact de l'apport protéique sur les paramètres rénaux. Les modalités et les résultats de ces études sont résumés dans le tableau 9.

Etude	Sujets d'étude	Régime testé	Résultats
Robertson et al, 1986	21 chiennes âgées de 6 à 12 mois ayant subi une réduction néphronique de 75% de leur masse rénale	Régime 1 : 19% MS de protéines Régime 2 : 27% MS de protéines Régime 3 : 56% MS de protéines	Pas d'effet protecteur significatif de la restriction protéique sur l'apparition de troubles glomérulaires ou sur l'espérance de vie Augmentation du DFG chez ceux mangeant un régime contenant 27% ou 56% de protéines, sans azotémie associée
Fincol et al, 1992	48 jeunes chiens adultes, mâles et femelles, ayant subi une réduction néphronique de 15/16e de leur masse rénale	Régime 1 : 16% MS de protéines, 0,4% MS de P Régime 2 : 16% MS de protéines, 1,4% MS de P Régime 3 : 32% MS de protéines, 0,4% MS de P Régime 4 : 32% MS de protéines, 1,4% MS de P	Pas d'effet protecteur significatif de la restriction protéique sur l'apparition de troubles glomérulaires ou sur l'espérance de vie
Finco et al, 1998	28 jeunes chattes adultes ayant subi une réduction néphronique de 11/12e de leur masse rénale	Régime A : 5g protéines/kg/j et 56 calories/kg/j Régime B : 5g protéines/kg/j et 75 calories/kg/j Régime C : 9,3 protéines/kg/j et 56 calories/kg/j Régime D : 9,3g protéines/kg/j et 75 calories/kg/j	Pas d'effet significatif de l'augmentation de la quantité de protéines dans la ration sur la progression des lésions rénales, la protéinurie ou le débit de filtration glomérulaire
Kirk, Hickman, 2000	10 chats atteints de MRC spontanée et 9 chats sains	Régime 1 : 16% EM de protéines Régime 2 : 20% EM de protéines Régime 3 : 24% EM de protéines	Baisse de l'albuminémie, de l'urémie, de la créatinémie, de l'hématocrite, de l'azotémie mais aussi de la masse maigre et du poids vif lors de la réduction de l'apport protéique
Burkholder et al, 2004	12 chiennes hétérozygotes atteintes de néphropathie héréditaire liée au chromosome X	Régime 1 : 34% MS de protéines Régime 2 : 14% MS de protéines	RPCU plus élevé avec le régime contenant 34% de MS mais hypoalbuminémie et amaigrissement avec le régime contenant 24% de MS

**TABLEAU 9 : LES DIFFERENTES ETUDES SUR LES EFFETS DE LA TENEUR EN PROTEINES DE LA RATION SUR LA FONCTION RENALE DES ANIMAUX ATTEINTS DE MRC D'APRES (ROBERTSON ET AL. 1986 ; FINCO ET AL. 1992 ; FINCO ET AL. 1998 ; KIRK, HICKMAN 2000 ; BURKHOLDER ET AL. 2004)**

A l'heure actuelle, il n'y a pas de consensus au sein de la profession concernant l'apport protéique idéal pour des chiens et des chats souffrant de MRC, mais aucune des études répertoriées dans le tableau 9 ne fait état d'un impact bénéfique de la restriction protéique isolée sur la progression de lésions rénales.

La taille réduite des échantillons pose cependant la question de la représentativité de ces études (Forrester, Adam, Timothy 2010). Par ailleurs, le choix du modèle d'étude est aussi remis en cause par certains auteurs : les chiens néphrectomisés présentent une protéinurie généralement peu marquée et ont des valeurs de créatinémie bien plus basses que celle retrouvées chez des animaux de stades avancés de MRC (Forrester, Adam, Timothy 2010).

Il existe cependant des arguments en faveur d'une restriction modérée de la quantité de protéines. En effet, les résidus protéiques non digérés sont éliminés par catabolisme ce qui contribue à augmenter la production de déchets azotés (Forrester, Adam, Timothy 2010). Les protéines, en particulier les protéines d'origine animale, sont une source majeure de phosphore dont l'effet délétère en cas de MRC est largement prouvé (Bartges, Polzin 2011). Elles sont aussi plus riches que les protéines végétales en acides aminés soufrés tels que la méthionine et la cystéine. Or, ces acides aminés sont acidifiants et les animaux atteints de MRC présentent un risque plus élevé de développer une acidose (Forrester, Adam, Timothy 2010). Enfin, la diminution de l'apport protéique pourrait réduire la synthèse de la cytokine pro-inflammatoire TGF- $\beta$  qui favorise la progression des lésions rénales (Okuda et al. 1991).

## 2. Gestion pratique de l'apport protéique

Les protéines sont présentes dans la viande, le poisson, les œufs, les produits laitiers, les graines ou encore les légumineuses.

La quantité recommandée est de 60 g de protéines/Mcal pour un chien adulte en bonne santé et de 62,5g de protéines/Mcal pour un chat adulte en bonne santé (FEDIAF 2019 ; AAFCO 2024). Aucun apport spécifique n'est indiqué pour les animaux souffrant de troubles rénaux chroniques.

La majorité des études se sont penchées sur la quantité de protéines à incorporer aux rations des animaux atteints de MRC plutôt que sur la nature de la source protéique choisie.



Pourtant, les aliments carnés bas de gammes contenant beaucoup de cartilage et/ou de collagène sont carencés en certains acides aminés essentiels, en plus d'être peu digestibles. A l'inverse, les protéines animales de bonne qualité telles que la viande et certains abats apportent les acides aminés essentiels en quantité suffisante pour le bon fonctionnement de l'organisme. Il existe une grande disparité au sein des protéines végétales, mais elles sont souvent moins digestibles, en particulier par les chats. Elles peuvent aussi être déficientes en certains acides aminés essentiels tels que la lysine, la méthionine ou la taurine (Lefebvre 2020). Une source de protéine hautement digestible telle qu'une protéine animale de bonne qualité doit donc être privilégié pour couvrir le besoin en acides aminés essentiel des animaux.

Plus qu'une restriction protéique, il s'agit d'éviter l'excès de protéines alimentaires, en particulier pour les animaux souffrant de glomérulopathies associées à une protéinurie ou ceux atteints d'azotémie (Forrester, Adam, Timothy 2010). La gestion de la protéinurie repose sur une alimentation diététique et sur un traitement médical. L'alimentation vise à réduire l'excrétion urinaire de protéines sans impacter négativement la masse maigre de l'animal. Lorsqu'une restriction protéique est envisagée, il est essentiel de l'adapter aux divers régimes alimentaires des chiens et des chats. Il est conseillé de réduire initialement l'apport protéique total de 25 à 50 %, en fonction de la gravité de la protéinurie, de l'azotémie et des symptômes cliniques. Une diminution de la protéinurie peut être attendue en un mois (Parker 2021).

Il peut être intéressant de mettre en place la restriction protéique assez précocement pour des raisons d'acceptation de la ration en particulier chez le chat, tout en s'adaptant aux besoins liés à l'âge, à l'activité et au score corporel de l'animal (Quimby, Becvarova 2017).

Il convient de rappeler que si la littérature n'a pas prouvé l'impact bénéfique d'une restriction protéique dans la gestion de la MRC chez les carnivores domestiques, les effets délétères d'une alimentation trop pauvre en protéines sont quant à eux bien connus (Kirk, Hickman 2000 ; Parker, Freeman 2011 ; Pedrinelli et al. 2020).

Nous avons examiné l'importance d'un apport adéquat en protéines hautement digestibles et riches en acides aminés essentiels pour le soutien de la fonction rénale des animaux atteints de MRC. Nous allons désormais voir que le rôle des lipides est crucial pour assurer les besoins énergétiques des malades tout en limitant les facteurs de progression de la maladie tels que l'inflammation et le stress oxydatif.

## V. Apport en matières grasses

Les chiens et les chats ont besoin d'acides gras dans leur alimentation. En effet, ils sont source d'énergie, permettent la solubilisation des vitamines liposolubles, composent les membranes cellulaires et sont des précurseurs des éicosanoïdes (Lenox 2016). Certains acides gras sont qualifiés d'essentiels, c'est-à-dire que l'organisme est incapable de les synthétiser et qu'ils doivent impérativement être apportés par l'alimentation.

### 1. Intérêt de la supplémentation en acides gras

Selon plusieurs études, les acides gras présents dans la ration peuvent influencer la progression de la MRC selon divers mécanismes tels que l'altération de la production rénale d'éicosanoïdes et la modification de la concentration plasmatique en lipides (Bartges, Polzin 2011).

Les éicosanoïdes sont des substances incorporées aux membranes cellulaires dont l'impact majeur sur la fonction rénale a été évoqué dans la première partie de ce manuscrit. Ils sont obtenus à partir d'AGPI (acides gras polyinsaturés)  $\omega 6$  tels que l'acide arachidonique ou d'AGPI  $\omega 3$  tels que l'acide eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA).

L'acide arachidonique, principal précurseur des éicosanoïdes, peut être produit à partir d'acide linoléique chez le chien mais est un AG essentiel chez le chat. De même il existe une synthèse d'EPA et de DHA à partir d'acide alpha-linoléique (ALA) chez le chien qui est absente dans l'espèce féline.

Les principaux éicosanoïdes dérivés de l'acide arachidonique sont les prostaglandines E2 (PGE2), les prostacyclines (PGI2) et le thromboxane A2 (TxA2). Les principaux éicosanoïdes dérivés de l'EPA sont les prostaglandines E3 (PGE3) et le thromboxane A3 (TxA3) (Brown et al. 1996).

Les AG  $\omega 3$  issus de l'alimentation ou synthétisés, et en particulier l'EPA et le DHA, entrent en compétition avec l'acide arachidonique pour la production d'éicosanoïdes et sont à l'origine de la production d'éicosanoïdes PGE3 et TxA3. Ces derniers ont des effets inflammatoires, vasoconstricteurs et coagulants moins puissants que les éicosanoïdes dérivés d'AGPI  $\omega 6$  (LeBlanc et al. 2005). L'origine des différents éicosanoïdes ainsi que leur rôle sur la fonction rénale sont synthétisés sur la figure 9.

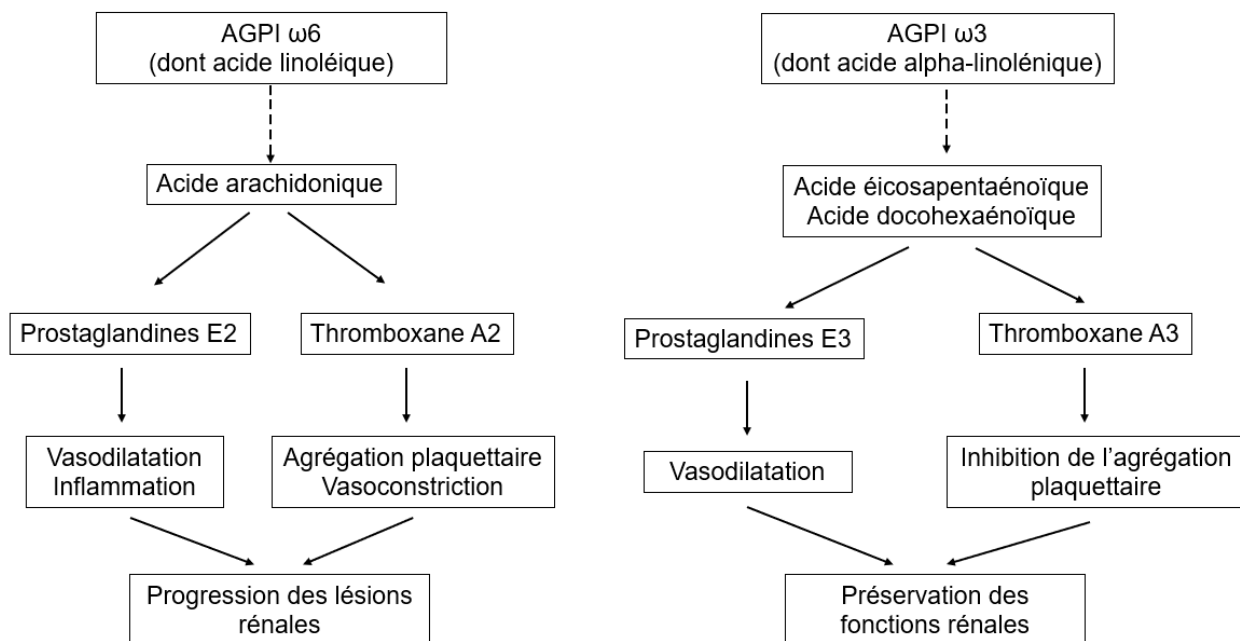


FIGURE 9 : LES EFFETS COMPARES DES SOURCES D'AGPI SUR LES FONCTIONS ET LES STRUCTURES RENALES D'APRES (FONTAINE 2001)

Plusieurs chercheurs ont étudié l'intérêt des AG  $\omega 3$  par rapport aux AG  $\omega 6$  sur la préservation de la fonction rénale. Les résultats et les modalités de ces études sont synthétisés dans le tableau 10.

Ces travaux démontrent un effet bénéfique de la complémentation en AGPI  $\omega 3$  chez les chiens atteints de MRC. Il existe une seule étude chez le chat ayant étudié l'impact isolé de la complémentation en  $\omega 3$  sur la fonction rénale de chats atteints de MRC. Elle conclut qu'une supplémentation en DHA est bénéfique pour les chats malades mais cette étude ne comporte que peu de sujets et pas de groupe témoin.

Etude	Sujets d'étude	Régime testé	Résultats
Brown et al. 1998	21 chiens adultes ayant subi une réduction néphronique de 15/16e de leur masse rénale	3 régimes de même composition supplémentés avec une quantité de lipides égale à 15% de l'apport journalier dont la nature était Régime 1 : du suif de bœuf (mixte AGI/AGS) Régime 2 : de l'huile de menhaden de l'Atlantique (AGPI ω3) Régime 3 : de l'huile de tournesol (AGPI ω6)	Effet rénoprotecteur de la supplémentation en AGPI ω3 : réduction de la créatinémie, de la protéinurie, stabilisation du DFG, survie prolongée, moins de lésions tubulaires et glomérulaires. La cholestérolémie et la triglycéridémie des chiens étaient également diminuées. Les effets les plus délétères ont été observés avec la supplémentation en ω6 tandis que la source mixte avait effets intermédiaires
Brown et al. 2000	18 chiens adultes ayant subi une réduction néphronique de 11/12e de leur masse rénale	3 régimes de même composition supplémentés avec une quantité de lipides égale à 15% de l'apport journalier dont la nature était Régime 1 : du suif de bœuf (mixte AGI/AGS) Régime 2 : de l'huile de menhaden de l'Atlantique (AGPI ω3) Régime 3 : de l'huile de tournesol (AGPI ω6)	Baisse de la cholestérolémie lors de la supplémentation en AGPI ω3. Ces effets sont observés précocement, avant même l'apparition de lésions rénales. Pas d'effet bénéfique significatif de la supplémentation en huile de poisson sur les paramètres hémodynamiques rénaux ou systémiques Hausse de l'hypertension glomérulaire et de l'hypertrophie rénale lors de la supplémentation en AGPI ω6
Kobayashi and al. 2022	5 chats adultes en bonne santé	Supplémentation de la ration en huile de poisson enrichie en DHA (78% AGPI ω3 dont 70% de DHA) à la dose de 250 mg/kg de PV par jour pendant 28j puis de 500mg/kg de PV/jour pendant 28 jours	Aucun effet indésirable n'a été observé sur les paramètres cliniques, biochimiques ou hémodynamiques des animaux hormis un ramollissement des selles durant quelques jours
Kobayashi and al. 2022	5 chats adultes atteints de MRC stade IRIS 1 ou 2	Supplémentation de la ration en huile de poisson enrichie en DHA (78% AGPI ω3 dont 70% de DHA) à la dose de 250 mg/kg de PV par jour pendant 28j	Amélioration significative des paramètres rénaux : diminution du RPCU, de la SDMA et de l'indice urinaire NAG, un marqueur de souffrance aiguë du tube proximal

TABLEAU 10 : LES DIFFERENTES ETUDES SUR LES EFFETS DE LA SUPPLEMENTATION EN AGPI W3 SUR LA FONCTION RENALE DES ANIMAUX ATTEINTS DE MRC D'APRES (BROWN ET AL. 1998 ; BROWN ET AL. 2000 ; KOBAYASHI ET AL. 2022)

Lors d'une étude comparée sur l'effet de l'EPA et du DHA chez des rats atteints de néphrite, seul le traitement avec de l'huile enrichie en DHA a permis une prolongation de la survie, une diminution du taux d'anticorps, de la protéinurie et du dépôt d'immunoglobulines sur les reins des rats malades (Kobayashi et al. 2022). Une autre étude sur des rats souffrant d'hypertension a également montré l'effet bénéfique de l'huile de poisson enrichie en DHA, mais pas en EPA, suggérant que les effets rénoprotecteurs d'une supplémentation en ω3 seraient dus au DHA plutôt qu'à l'EPA (Kawarasaki et al. 2021).

## 2. Gestion pratique de la complémentation en acides gras

Les principales sources d'ALA sont le soja, l'huile de colza ou de lin. L'EPA et le DHA quant à eux sont retrouvés dans les animaux marins, en particulier les poissons gras (hareng, saumon, thon, maquereau...). Les AGPI ω6 sont issus d'huiles végétales

comme celle de maïs, de tournesol ou de soja mais aussi de certaines viandes et d'œufs (ANSES 2022). Les teneurs moyennes en AGPI des principales sources alimentaires sont récapitulées dans le tableau 11.

Aliment	Teneur moyenne en EPA (g/100g)	Teneur moyenne en DHA (g/100g)	Teneur moyenne en ALA (g/100g)
Huile de saumon	13	18,2	/
Huile de sardine	10,1	10,7	
Huile de foie de morue	8,39	11,4	1,79
Foie de morue, cru	6,41	4,76	0,79
Huile de hareng	6,27	4,21	/
Sardine, crue	1,09	1,58	0,47
Maquereau, cru	0,91	1,56	0,12
Oeuf, en poudre	0,28	0,18	0,11
Poulet, cuisse, viande et peau, cru	<0,01	0,022	0,22
Boeuf, steak haché 10% MG, cru	0	0	0,051
Huile végétale (aliment moyen)	0,0043	0,0052	1,06
Huile de lin	0	0	53,3
Huile de noix	0	0	11,9
Huile de colza	0	0	7,54
Huile de soja	0	0	6,89

TABLEAU 11 : LES PRINCIPALES SOURCES D'AGPI W3 D'APRES (ANSES 2020)

La supplémentation de la ration en  $\omega$ 3 et particulièrement en DHA peut donc être bénéfique pour les chiens et les chats atteints de MRC. Elle permet également d'augmenter l'appétence de la ration qui peut être affectée par la restriction protéique (Forrester, Adam, Timothy 2010). Cependant, des effets indésirables peuvent exister si les doses administrées ne sont pas adaptées. Parmi ces potentiels effets, on retrouve :

- Une diminution de la production de thromboxane pouvant altérer la fonction plaquettaire
- Une altération de la fonction immunitaire provoquée par la baisse de production de cytokines et d'éicosanoïdes
- Une perturbation de la glycémie via la modification de la sensibilité des récepteurs de l'insuline à cette dernière
- Des interactions médicamenteuses indésirables encore mal établies
- Des effets gastro intestinaux liés notamment à une modification de la flore intestinale (Lenox, Bauer 2013).

Ces effets sont néanmoins rares et l'un des principaux freins à la supplémentation des rations en  $\omega$ 3 demeure le coût.

Il est important de connaître la composition en AGPI de la ration car une teneur élevée en  $\omega_3$  peut être associée à une forte concentration en ALA plutôt qu'en EPA et DHA. Or, à ratio  $\omega_6/\omega_3$  équivalent, les effets bénéfiques sur la fonction rénale sont plus marqués lors de complémentation avec de l'huile de poisson qu'avec de l'huile de lin (Waldron, Hannah, Bauer 2012).

Le nombre d'études concernant l'effet de la supplémentation en AGPI chez le chat est restreint, mais il semblerait qu'une complémentation quotidienne de la ration avec 250 à 500mg/kg de PV de DHA soit sûre et bénéfique pour la fonction rénale des chats atteints de MRC (Kobayashi et al. 2022).

Une supplémentation quotidienne en EPA + DHA comprise entre 50 et 75 mg/kg de PV semble recommandée chez les chiens atteints de MRC (Lenox 2016), sans recommandation établie en DHA seul. Des effets sur la fonction rénale peuvent être attendus au bout de 2 à 4 semaines (Fontaine 2001). Des doses allant jusqu'à 2,8mg/Mcal d'EPA+DHA soit 0,37g/kg de PV chaque jour sont sans danger chez le chien (NRC 2006).

Les seuils recommandés ne sont pas toujours atteints dans les aliments industriels. En pratique, une alimentation avec un ratio  $\omega_6/\omega_3$  entre 7/1 et 1/1 et dont les AG  $\omega_3$  représentent 0,4 à 2,5% MS de la ration convient à des animaux atteints de MRC (Forrester, Adam, Timothy 2010). Une source de DHA doit être privilégiée.

Les effets bénéfiques des AGPI sont diminués s'ils sont oxydés, or ils possèdent de nombreuses liaisons doubles dans leur chaîne carbonées qui sont des sites privilégiés d'oxydation par les radicaux libres. Le respect strict des conditions de conservation doit être adopté et une supplémentation en vitamine E associée à la complémentation en AG est préconisée (voir *VIII. Apports en vitamines et oligo-éléments*). Le recours aux gélules contenant de l'huile de poisson est préférable aux flacons d'huile pour minimiser l'oxydation des acides gras.

Les acides gras insaturés possèdent des propriétés anti-inflammatoires qui contribuent à améliorer la fonction rénale des animaux atteints de MRC, ce qui rend pertinent un ajout d'AG  $\omega_3$  dans leur ration. D'autres nutriments ont des effets positifs sur la santé des animaux avec une fonction rénale altérée, c'est le cas des fibres, dont la supplémentation est un autre élément important de la gestion diététique de la MRC.

## V. Apport en fibres

Certaines fibres alimentaires sont qualifiées de fermentescibles, c'est-à-dire qu'elles peuvent être dégradées par les bactéries présentes dans le côlon. Lors de ce processus de fermentation, des AG à chaîne courte et des gaz sont produits. Ils entraînent une acidification du contenu caeco-colique ce qui favorise la conversion de l'ammoniac en ammonium, moins absorbé au niveau intestinal (Fontaine 2001). De plus, ces fibres stimulent la croissance et l'activité des bactéries coliques. Ces dernières produisent une uréase qui dégrade l'urée en dioxyde de carbone et en ammoniac, qu'elles utilisent ensuite comme substrat azoté (Mathon 2016).

### 1. Intérêt de la supplémentation en fibres fermentescibles

En cas d'azotémie, l'urée sanguine est utilisée par les micro-organismes du colon et une baisse de la concentration sanguine en urée est observée. Ainsi, une partie des déchets azotés serait utilisée par les bactéries du côlon et donc éliminée par voie fécale plutôt que par voie rénale (Hand, Thatcher, Remillard, Roudebus, Novotny 2010 ; Mathon 2016).

Il existe peu d'études à l'heure actuelle concernant les effets des fibres fermentescibles sur la fonction rénale des chiens et des chats. Un impact sur le métabolisme azoté a été démontré chez le chien sain tandis qu'un effet bénéfique est rapporté chez des chats atteints de MRC. Les résultats de ces études sont repris dans le tableau 12 et suggèrent un potentiel de la supplémentation en fibres fermentescibles de la ration des chiens et des chats atteints de MRC.

Etude	Sujets d'étude	Régime testé	Résultats
Howard and al. 2000	28 chiennes adultes en bonne santé	Supplémentation 1 : 60g/kg MS de pulpe de betterave Supplémentation 2 : 15g/kg MS de fructooligosaccharides à chaîne courte Supplémentation 3 : 60/kg de MS de mélange de fibres (pulpe de betterave, gomme, fructooligosaccharides à chaîne courte) Supplémentation 4 : 60/kg MS de cellulose	Augmentation de la digestibilité alimentaire (hormis pour les protéines), croissance microbienne colique accrue et baisse de l'excrétion urinaire d'azote lors de la complémentation de la ration avec des fibres fermentescibles
Ephraim, Jewell 2023	24 chats atteints de MRC stade IRIS 1	Supplémentation 1 : 0,5 % de bétaine + 0,39 % de bêta-glucane d'avoine + 0,27 % de fructooligosaccharides à chaîne courte Supplémentation 2 : 0,5 % de bétaine + 0,59 % de bêta-glucane d'avoine + 0,41 % de fructooligosaccharides à chaîne courte	Augmentation de la masse maigre, de la minéralisation osseuse et baisse de la concentration sanguine en déchets résultant de la dégradation du collagène, un potentiel marqueur de fibrose rénale lors de la supplémentation avec des fibres fermentescibles et de la bétaine. Pas de modification significative de l'azotémie

TABLEAU 12 : LES DIFFERENTES ETUDES SUR LES EFFETS DE LA SUPPLEMENTATION EN FIBRES SOLUBLES SUR LA FONCTION RENALE DES CHIENS ET DES CHATS D'APRES (EPHRAIM, JEWELL 2023)

## 2. Gestion pratique de l'apport en fibres fermentescibles

Il existe une grande variété de fibres solubles. Le choix de la source de fibres importe : des oligosaccharides à courtes chaînes seraient davantage bénéfiques chez les chats atteints de MRC tandis qu'une source de fibres moins préalablement fermentée telle que les marcs de pommes est préconisée chez les chats sains (Hall et al. 2020).

En pratique, la source la plus utilisée dans l'alimentation des chiens et des chats est le psyllium car sa concentration en fibres est très élevée (Moreno et al. 2022).

Un apport quotidien moyen d'une à deux cuillères à soupe de psyllium pour 25kg de PV chez le chien et une à quatre cuillères à café chez le chat est recommandé pour traiter diverses pathologies intestinales et paraît pertinent en cas de MRC (Plumb 2008).

Davantage d'études sont nécessaires afin de pouvoir établir des recommandations précises concernant la nature et la quantité de fibres idéale chez les patients atteints de MRC (Wernimont et al. 2020).

Après avoir souligné l'importance des fibres dans l'alimentation des animaux atteints de MRC pour améliorer leur santé digestive et soutenir leur fonction rénale, intéressons-nous à la gestion de l'apport électrolytique, un autre aspect de la prise en charge nutritionnelle de ces animaux.



## VI. Apport en électrolytes

Les électrolytes jouent divers rôles au sein du métabolisme. Le sodium participe au maintien de l'équilibre hydrique de l'organisme et agit sur les transmissions nerveuses et les contractions musculaires (Nelson, Guillermo Couto 2014). Le potassium est indispensable au fonctionnement du système nerveux, osseux ou encore musculaire. L'excrétion et la réabsorption de bicarbonates et de protons permet le maintien de l'équilibre acido-basique de l'organisme (Koeppen, Stanton 2007).

La concentration sanguine de ces divers électrolytes est en grande partie régulée par le rein et modifiée en cas de MRC.

### 1. Intérêt de la gestion de l'apport électrolytique

Une restriction sodée a souvent été préconisée chez les patients atteints de MRC en raison du lien potentiel entre la rétention sodée et l'hypertension artérielle systémique. De plus, un rôle néphrotoxique du sodium indépendant des effets sur la pression artérielle est aussi questionné. Il serait dû à la hausse de l'expression du facteur TGF- $\beta$  dans les cellules endothéliales rénales, pouvant favoriser la fibrose rénale. Une augmentation du stress oxydatif et de la protéinurie serait aussi impliquée (Ritz, Koleganova, Piecha 2009).

Le tableau 13 reprend plusieurs études sur l'impact de la quantité de sodium alimentaire chez les animaux atteints de MRC. Aucun effet bénéfique d'une restriction sodée n'a été démontré à ce jour.

Etude	Sujets d'étude	Régime testé	Résultats
Greco et al. 1994	8 chiens adultes à différents stades d'ablation rénale	Régime 1 : 0,18% de MS de NaCL Régime 2 : 1,3% de MS de NaCL	Pas d'effet significatif de la teneur en sodium sur le DFG
Buranakarl, Mathur, Brown 2004	21 jeunes chats adultes dont deux groupes ayant subi une réduction de leur masse rénale	Régime 1 : 50mg de sodium/kg MS Régime 2 : 100mg de sodium/kg MS Régime 3 : 200mg de sodium/kg MS	Pas d'effet sur la pression artérielle Le régime le plus pauvre en sodium a entraîné une activation du SRAA, une baisse du DFG et une excrétion excessive de potassium
Xu, Laflamme, Long 2009	24 chats adultes en bonne santé	Régime 1 : 1,11 % de sodium et 1,78 % de chlorure Régime 2 : 0,55 % de sodium et 1,02 % de chlorure	Pas d'effet de la teneur en sodium sur la prise alimentaire, le poids corporel, le contenu minéral osseux, l'état d'hydratation, la pression artérielle ni les marqueurs de la fonction rénale

**TABLEAU 13 : LES DIFFERENTES ETUDES SUR LES EFFETS DE LA TENEUR EN SODIUM DE LA RATION SUR LA FONCTION RENALE DES CHIENS ET DES CHATS D'APRES (GRECO ET AL. 1994; BURANAKARL, MATHUR, BROWN 2004; XU, LAFLAMME, LONG 2009)**

Un apport en sel trop faible entraîne un risque accru d'hypokaliémie chez le chat, en lien avec une activation du SRAA et une baisse du DFG (Buranakarl, Mathur, Brown 2004). Le sel est enfin un élément clé de la palatabilité des rations qui ne doit pas être négligé puisque les animaux souffrants de MRC sont souvent hyporexiques (Groves 2020).

La concentration sanguine en potassium est en grande partie régulée par les reins. L'hypokaliémie peut entraîner une faiblesse musculaire, de la polyurie, de la polydipsie, de la constipation ainsi qu'une progression des lésions rénales (Phillips, Polzin 1998). La kaliémie des animaux atteints de MRC peut être régulée par leur alimentation comme le montre les études synthétisées dans le tableau 14.

Etude	Sujets d'étude	Supplémentation testée	Résultats
Segev et al. 2010	26 chiens adultes hyperkaliémiques atteints de MRC à divers stade IRIS	Régime 1 : 1.64g de potassium/1000 kcal ME Régime 2 : 0.91g de potassium/1000 kcal ME	Normalisation de la kaliémie chez tous les sujets sauf un chien
Sieberg, Quimby 2020	37 chats hypokaliémiques atteints de MRC	Comprimés de gluconate de potassium : 0,21 à 1,6 mEq/kg/j Granulés de gluconate de potassium : 0,25 à 1,48 mEq/kg/j Granulés de citrate de potassium : 0,04 à 1,34 mEq/kg/j	Augmentation significative de la kaliémie lors de la supplémentation avec l'un des trois compléments Normalisation de la kaliémie chez 34 des 37 chats étudiés.

TABLEAU 14 : LES DIFFERENTES ETUDES SUR LES EFFETS DE LA TENEUR EN POTASSIUM DE LA RATION SUR LA FONCTION RENALE DES CHIENS ET DES CHATS D'APRES (SEGEV ET AL. 2010; SIEBERG, QUIMBY 2020)

Il semblerait que ce soit davantage le rapport sodium/potassium que ces deux électrolytes considérés indépendamment qui influe sur l'hypertension artérielle et le risque de perturbation de la kaliémie (Parker 2021).

Le rein étant un acteur majeur du maintien de l'équilibre acido-basique de l'organisme, l'acidose métabolique est fréquente en cas de MRC. Elle contribue aux déséquilibres phosphocalcique, ioniques, métaboliques et digestifs. Elle peut notamment être à l'origine d'hypokaliémie chez le chat (DiBartola et al. 1987).

## 2. Gestion pratique de l'apport électrolytique

Les différents apports en sodium, en chlorure et en potassium préconisés pour les animaux atteints de MRC sont récapitulés dans le tableau 15. Les animaux atteints de MRC étant particulièrement sensibles aux variations de la teneur en sel, une transition alimentaire progressive est indiquée lors du passage à une alimentation plus restreinte en sodium.

Electrolyte	Apport recommandé en cas de MRC		Apport minimal chez un animal sain à l'entretien	
	Chien	Chat	Chien	Chat
Sodium	<0,3%	<0,4%	0,08%	0,10%
Chlorure	/	/	1,5x apport en sodium	1,5x apport en sodium
Potassium	0,4 à 0,8%	0,7 à 1,2%	0,40%	0,52%

TABLEAU 15 : APPORT ELECTROLYTIQUE RECOMMANDES EN % DE LA MS D'APRES (NRC 2006 ; FORRESTER, ADAM, TIMOTHY 2010 ; HAND, THATCHER, REMILLARD, ROUDEBUS, NOVOTNY 2010)

En cas d'acidose métabolique sévère (concentration sanguine en bicarbonates inférieure 16 mmol/L chez le chat et 18 mmol/L chez le chien), des agents alcalinisants peuvent être ajoutés à la ration (International Renal Interest Society 2023a ; International Renal Interest Society 2023b). En cas d'hypokaliémie, une supplémentation orale à base de potassium doit être mise en place (Sieberg, Quimby 2020). Le tableau 16 récapitule les agents potassiques et alcalinisant utilisables ainsi que les facteurs de choix et les doses utilisables.

Agent alcalinisant	Dose	Choix
Citrate de potassium	40 à 60 mg/kg per os toutes les 8 à 12h	Hypernatrémie ou hypokaliémie
Bicarbonate de sodium	8 à 12mg/kg per os toutes les 8 à 12h	Hyponatrémie ou hyperkaliémie
Supplémentation potassique	Dose	Choix
Citrate de potassium	40 à 60 mg/kg per os toutes les 8 à 12h	Préférable en cas d'acidose métabolique
Gluconate de potassium	2 à 6 mEq toutes les 8 à 12h	/
Chlorure de potassium	/	A éviter, acidifiant et peu appétant

TABLEAU 16 : MODALITES DE SUPPLEMENTATION ELECTROLYTIQUE DE L'ALIMENTATION DES CHIENS ET DES CHATS ATTEINTS DE MRC D'APRES (POLZIN 2011 ; PARKER 2021)

Idéalement, un ionogramme de suivi doit être réalisé dès 10 jours après la mise en place de la supplémentation alcalinisante afin d'adapter le traitement en fonction de la concentration sanguine en bicarbonates. Cette dernière devrait être comprise entre 16 et 24 mmol/L chez le chat et 18 et 24 mmol/L chez le chien (Polzin 2011 ; Nelson, Guillermo Couto 2014).

Lors de supplémentation potassique, une amélioration des signes cliniques est attendue sous 24h à 5 jours. La kaliémie doit ensuite être contrôlée régulièrement et le dosage adapté aux résultats biochimiques, en particulier chez le chien qui peut présenter de l'hypokaliémie comme de l'hyperkaliémie. Lors d'hypokaliémie sévère, une administration de potassium par voie intraveineuse peut être nécessaire.

La perte de fonction rénale est à l'origine de troubles électrolytiques variés qui peuvent être compensés par un apport adapté en potassium, en sodium ou en chlorure. De la même manière, les troubles oxydatifs et immunitaires qui apparaissent lors de MRC peuvent être en partie modulés par l'apport alimentaire d'antioxydants, de vitamines ou encore d'oligo-éléments. Il s'agit de l'objet de la partie suivante.

## VII. Apport en antioxydants, vitamines et oligo-éléments

Nous aborderons dans ce paragraphe la supplémentation alimentaire en antioxydants mais aussi en oligo-éléments qui sont des co-facteurs d'enzymes antioxydantes et qui participent au soutien de la fonction immunitaire (Koeppen, Stanton 2007 ; Beigh et al. 2014). On compte parmi ces derniers le fer, le zinc, le cuivre, le sélénium, l'iode, le manganèse ou encore le chrome. Puisque la MRC peut modifier le métabolisme de plusieurs vitamines comme celles du groupe B et du groupe D, les effets d'un apport exogène en ces deux types de vitamines sera aussi discuté.

### 1. Intérêt de la supplémentation en antioxydants, vitamines et oligo-éléments

L'âge avancé, l'activation chronique du SRAA, l'anémie, l'altération des systèmes de défense oxydatives et les phénomènes inflammatoires multiples qui sont fréquemment présents en cas de MRC constituent un terrain favorable à la production de radicaux libres, qui eux-mêmes entraînent une progression des lésions rénales (Brown 2008).

#### 1. Les antioxydants

L'efficacité de la supplémentation des patients atteints de MRC avec des antioxydants est encore débattue en médecine humaine, mais est source d'intérêt en médecine vétérinaire (Galle, Seibold 2003). Parmi les molécules antioxydantes existantes, les vitamines E, C et les pigments solubles de la famille des caroténoïdes tels que le  $\beta$ -carotène, l'astaxanthine ou la lutéine ont fait l'objet de travaux chez des chiens et des chats. Les résultats de ces études sont résumés dans le tableau 17. Il existe un effet bénéfique de la supplémentation en antioxydants tels que la vitamine E, le  $\beta$ -carotène, l'astaxanthine ou la lutéine sur la fonction immunitaire des chiens et des chats.

Etude	Sujets d'étude	Supplémentation testée	Résultats
Brown, 2008	32 chiens âgés de 6 à 8 ans ayant subi une réduction néphronique	vitamine E + caroténoïde + lutéine à des doses semblables à celle retrouvées dans des aliments commerciaux pour chiens insuffisants rénaux	Effet bénéfique sur le DFG, cumulatifs lors de l'ajout d' $\omega$ 3
Yu, Paetau-Robinson 2006	20 chats atteints de MRC ou sains	vitamine E (742 UI/kg MS) + vitamine C (1680 UI/kg MS) + $\beta$ -carotènes (3500 UI/kg MS)	Diminution de la concentration sanguine de plusieurs marqueurs de stress oxydatif
Timmons, Webb 2016	24 chats adultes atteints de MRC spontanée	vitamine E à la dose de 30 UI/j	Pas d'effet sur les marqueurs de stress oxydatif
Massimino et al. 2003	36 chiens d'âges variables	$\beta$ -carotène à la dose de 17,9mg/kg MS ou 43.7 mg/kg MS	Amélioration de la réponse immunitaire lors de l'ajout de $\beta$ -carotène. Dose optimale de 17,9 mg/j
Chew et al. 2000	56 chiennes âgées de 4 à 5 mois	$\beta$ -carotène à la dose 2, 20 ou 50 mg/jour	Amélioration de la réponse immunitaire cellulaire et humorale lors de l'ajout de $\beta$ -carotène. Dose optimale de 20mg/jour
Chew, Park, Hayek 1998	21 chats adultes	$\beta$ -carotène à la dose 10 ou 20 mg/jour	Pas d'effet de la supplémentation sur la fonction immunitaire
Park et al. 2011	56 chattes âgées de 8 à 9 mois	astaxanthine à la dose de 1, 5 ou 10 mg/j	Amélioration de l'immunité cellulaire et humorale. Dose optimale de 5mg/j
Park et al. 2012	28 chiennes jeunes ou âgées	astaxanthine à la dose de 20 mg/j	Réduction des marqueurs de l'inflammation et d'oxydation cellulaire
Chew et al. 2011	56 chiennes âgées de 9 à 10 mois	astaxanthine à la dose de 10, 20 ou 40 mg/j	Amélioration de l'immunité cellulaire et humorale. Dose optimale de 20mg/j
Kim et al. 2000a	56 chiennes âgées de 17 à 18 mois	lutéine à la dose de 5, 10 ou 20 mg/j	Amélioration de l'immunité cellulaire et humorale. Dose optimale de 20mg/j
Kim et al. 2000b	56 chattes âgées de 10 mois	lutéine à la dose de 1, 5 ou 10 mg/j	Amélioration de l'immunité cellulaire et humorale. Dose optimale de 10mg/j

TABLEAU 17 : RESUME DES ETUDES DE L'IMPACT D'UNE SUPPLEMENTATION EN ANTIOXYDANTS DANS LA RATION DE CHIENS ET DE CHATS SAINS

La formation de vitamine A chez le chien à partir de  $\beta$ -carotène qui est absente chez le chat pourrait expliquer pourquoi la supplémentation en  $\beta$ -carotène ne semble pas bénéfique chez ce dernier (Beynen 2019).

Aucune étude n'a été menée sur des chiens ou des chats atteints de MRC concernant les effets d'une supplémentation orale en astaxanthine mais des travaux menés sur des rats ont démontré un impact bénéfique de celle-ci sur la fonction rénale grâce à la diminution du stress oxydatif et la hausse de la production d'antioxydants au sein du tissu rénal (Augusti et al. 2008 ; Wang et al. 2014 ; Alam et al. 2018). Il en est de même pour la lutéine dont les effets bénéfiques ont été prouvés chez les

chiens et les chats sains mais aussi chez les rats souffrant de lésions rénales (Liu et al. 2015 ; Sharavana, Joseph, Baskaran 2017 ; Bilgiç, Gür, Aktaş 2022).

Les études concernant l'effet du lycopène chez les carnivores domestiques sont encore peu nombreuses, mais des effets antioxydants bénéfiques pour la fonction rénale ont été mis en évidence chez des rats (Atessahin et al. 2005 ; Karahan et al. 2005).

## 2. Les autres vitamines

Les différentes vitamines B étant excrétées et réabsorbées par les reins, les animaux souffrant de MRC pourraient être davantage exposés au risque de carence. Un traitement à base de diurétique pourrait aussi accentuer la perte urinaire en thiamine (Kritikos, Parr, Verbrugghe 2017). Cependant, une étude sur la concentration sanguine de diverses vitamines chez des chiens atteints de MRC a montré des taux de vitamines B plus élevés chez ces derniers en comparaison avec des chiens sains (Galler et al. 2012).

Les animaux atteints de MRC ont un taux circulant de calcitriol, la forme active de la vitamine D, plus faible en raison de la baisse de sa production rénale. Cela entraîne également une production accrue de PTH, qui contribue à la progression des lésions rénales. La restriction phosphorée est le premier pilier de la gestion de la concentration sanguine en calcitriol. Il existe aussi un effet bénéfique de la supplémentation en calcitriol ou en calcifédiol sur la régulation du SRAA des chiens atteints de MRC (de Brito Galvao et al. 2013 ; Miller et al. 2022). Aucune étude ne rapportant cet effet chez le chat n'existe à ce jour (Hostutler et al. 2006 ; de Brito Galvao et al. 2013).

## 3. Les oligo-éléments

L'altération de la fonction rénale semble favoriser les carences en zinc, en sélénium et en manganèse (Paßlack et al. 2014 ; Davenport 2015 ; Filler et al. 2021 ; Cedeño et al. 2020).

## 2. Gestion pratique de l'apport en antioxydants, vitamines et oligo-éléments

Le tableau 11 récapitule les apports recommandés en vitamines et antioxydants pour les chiens et les chats atteints de MRC. Des doses plus élevées notamment en vitamine E pourraient même s'avérer plus efficace chez ces deux espèces mais davantage d'études sont requises pour déterminer l'apport optimal pour le soutien de la fonction rénale.

Nature de l'apport	Dose chez le chien	Dose chez le chat
Vitamine E	>400 UI/kg MS	>500 UI/kg MS
$\beta$ -carotène	20 000 UI/kg MS	Inefficace
Lutéine	20mg/j	10 mg/j
Astaxanthine	20mg/j	5mg/j
Vitamine C	100 à 200 mg/kg MS	100 à 200 mg/kg MS
Calcitriol	2,5 à 3,5ng/kg/j de préférence à jeun le soir ou 9ng/kg/j tous les 3,5 jours. Thérapie à impulsion avec administration de 20ng/kg 2 fois par semaine possible si PTH au moins 10 fois supérieure à la normale	

TABLEAU 18 : APPORTS RECOMMANDES EN ANTIOXYDANTS ET EN VITAMINES CHEZ LES CHIENS ET LE CHATS ATTEINTS DE MRC D'APRES (CUVELIER, DOTREPPE, ISTASSE 2003 ; FORRESTER, ADAM, TIMOTHY 2010 ; DE BRITO GALVAO ET AL. 2013 ; CHEW ET AL. 2011; PARK ET AL. 2011)

Ces composés se retrouvent aussi naturellement dans divers aliments qui peuvent composer des rations industrielles ou ménagères. Les principales sources de vitamines E sont les huiles végétales en particulier l'huile de blé, de tournesol ou encore d'avocat ainsi que les oléagineux. La vitamine C est essentiellement retrouvée dans des fruits et légumes difficilement incorporables dans des rations ménagères.

L'astaxanthine est retrouvée dans les pigments orangés présents dans le saumon (en particulier le saumon sauvage et le saumon rouge), les crevettes, la truite, les carottes ou encore certaines algues. Le  $\beta$ -carotène est présent dans les patates douces, les carottes ou le potiron. La lutéine est retrouvée dans les épinards, les brocolis ou les œufs. Enfin, la tomate est la principale source alimentaire de lycopène (Beynen 2019).

Bien que pouvant présenter des bénéfices, la complémentation des rations en antioxydants ne constitue pas un point critique de la gestion diététique de la MRC par rapport à des mesures primordiales telles que la supplémentation en AGPI ou la restriction phosphorée (Forrester, Adam, Timothy 2010).

Les différents types de vitamine B sont essentiellement présents dans les graines, la levure de bière, les abats ainsi que certains fruits, légumes et produits laitiers. Une supplémentation en vitamines B pourrait être intéressante chez certains animaux atteints de MRC mais le groupe des vitamines B regroupe 8 vitamines différentes aux rôles et aux apports nécessaires différents, ce qui rend particulièrement complexe l'élaboration de recommandations concernant une éventuelle complémentation chez les animaux atteints de MRC.

La supplémentation orale en calcitriol doit se faire à distance des repas pour limiter le risque d'hypercalcémie. La thérapie dite « à impulsion » consistant à administrer 20ng/kg de vitamine D deux fois par semaine permet d'administrer de fortes doses de calcitriol tout en limitant le risque d'hypercalcémie (de Brito Galvao et al. 2013). La complémentation avec du calcifédiol à la dose de 2ng/kg/jour pourrait aussi être intéressante mais la seule étude le justifiant comporte de nombreux biais (Miller et al. 2022). Cette supplémentation par voie orale doit se faire en parallèle d'une restriction de l'apport phosphoré. Un contrôle du calcium ionisé sanguin et de la PTH doit être mis en place afin de pouvoir adapter le traitement à l'animal (de Brito Galvao et al. 2013).

Concernant les oligo-éléments, trop peu d'études existent pour permettre l'élaboration de recommandations d'apports quotidiens chez les patients souffrant de MRC. Aucun rapport ne fait état de troubles liés à des carences ou des excès en oligo-éléments chez les chiens et les chats consommant des aliments vétérinaires thérapeutiques à visée rénale (Forrester, Adam, Timothy 2010). En pratique, les aliments industriels vétérinaires sont souvent largement supplémentés en oligo-éléments (Pereira et al. 2018). Une complémentation en fer est cependant nécessaire lors de la mise en place d'une thérapie de soutien de l'érythropoïèse (Polzin 2013).

## VIII. Conclusion partielle de la partie II

La gestion nutritionnelle de la MRC est un aspect clé de la prise en charge des animaux malades. Une vaste liste de nutriments est à considérer pour nourrir correctement les chiens et chats souffrant de MRC. Une attention particulière doit être apportée à la gestion de l'apport calorique, hydrique, phosphoré et à la supplémentation en acides gras oméga-3 et en fibres fermentescibles qui sont les éléments ayant le plus d'impact sur la fonction rénale. Les aliments vétérinaires destinés aux animaux atteints de MRC intègrent plusieurs recommandations nutritionnelles mais l'effet individuel de chaque modification alimentaire est encore mal connu.

Le tableau 19 reprend les différents apports nutritionnels recommandés pour les chiens et les chats atteints de MRC.



Constituant	Recommandation
Calories	Aliment à forte densité énergétique Mise en place de mesures pour favoriser la prise alimentaire
Eau	Alimentation humide ou mixte Eau fraîche et propre à volonté Mise en place de mesures pour favoriser la prise de boisson
Phosphore	A partir du stade IRIS 2 avec azotémie : 0,2 à 0,5% MS de P chez le chien et 0,3 à 0,6% de MS de P chez le chat Aux stades plus précoces : restriction si la phosphatémie est supérieure à 4.5mg/dL ou FGF-23>400 pg/mL chez le chat Phosphore de préférence organique, ratio Ca/P au moins égal à 1/1 Si la phosphatémie demeure trop haute malgré la restriction phosphorée, ajout de chélateur de phosphore à la ration. En première intention : carbonate de lanthanum à la dose de 1,5 g/kg/j avec suivi de la phosphatémie et augmentation du dosage jusqu'à 7,5g/kg/j en cas d'hyperphosphatémie persistante
Protéines	Couverture des besoins protéiques avec des protéines de fortes valeurs biologiques, sans excès d'apport Restriction de 25 à 50% de l'apport protéique en cas d'excès de protéines alimentaires, en particulier en cas de protéinurie La restriction ne doit pas impacter négativement la masse maigre de l'animal.
Acides gras	Chat : 250 à 500mg/kg de PV de DHA chaque jour Chien : 50 à 75 mg/kg de PV d'EPA+DHA chaque jour Ratio $\omega 6/\omega 3$ entre 7/1 et 1/1, AG $\omega 3$ doivent représenter 0,4 à 2,5% MS Privilégier une source de DHA Utilisation de gélules d'huile de poisson
Fibres fermentescibles	Chien : une à deux cuillères à soupe par jour de psyllium pour 25kg de PV Chat : une à quatre cuillères à café par jour de psyllium
Sodium	Chien : 0,08 à 0,3% MS Chat : 0,1 à 0,4% MS
Potassium	Chien : 0,4 à 0,8% MS Chat : 0,7 à 1,2% MS En cas d'hypokaliémie : ajout de citrate de potassium 40 à 60 mg/kg PO toutes les 8 à 12h ou de gluconate de potassium 2 à 6mEQ toutes les 8 à 12h.
Chlorure	Chien, chat : 1,5x apport en sodium
Bicarbonates/protons	Chien, chat : en cas d'acidose métabolique : ajout de citrate de potassium 40 à 60 mg/kg PO toutes les 8 à 12h ou de bicarbonate de sodium 8 à 12mg/kg PO toutes les 8 à 12h
Vitamine E	Chien : >400 UI/kg MS Chat : >500 UI/kg MS
$\beta$ -carotène	Chien : 20 000 UI/kg MS chez le chien Chat : inefficace
Lutéine	Chien : 20mg/j chez le chien Chat 10 mg/j chez le chat
Astaxanthine	Chien, chat : 100 à 200 mg/kg MS
Vitamine C	Chien, chat : 100 à 200 mg/kg MS
Calcitriol	Chien, chat : 2,5 à 3,5ng/kg/j de préférence à jeun le soir ou 9ng/kg/j tous les 3,5 jours. Thérapie à impulsion avec administration de 20ng/kg 2 fois par semaine possible si PTH au moins 10 fois supérieure à la normale

TABLEAU 19 : RESUME DES APPORTS RECOMMANDES DES DIFFERENTS CONSTITUANTS D'UNE RATION DANS LE CADRE DE L'ALIMENTATION DE CHIENS ET DE CHATS ATTEINTS DE MRC

De nombreuses études ont montré un allongement significatif de l'espérance de vie de chiens et de chats atteints de MRC consommant des aliments diététiques vétérinaires adaptés. Une multiplication de l'espérance de vie par 2,4 (Elliott et al. 2000) associée à une réduction de la fréquence des crises urémiques (Ross et al. 2006) a été observée

chez le chat. Chez le chien, l'espérance de vie était multipliée par 3,2 et les crises urémiques étaient également moins fréquentes (Jacob et al. 2002).

Il est important que l'alimentation rénale soit introduite avant l'apparition de signes cliniques tels que la nausée ou les vomissements qui pourraient compromettre l'acceptation de la nouvelle ration. En l'absence d'azotémie et de protéinurie, une alimentation pour chien ou chat âgé de qualité, fréquemment enrichie en antioxydants, en lipides et contenant des protéines hautement digestibles, sans excès ni restriction protéique ou phosphorée associée est recommandée.

Les recommandations devant être intégrées par le vétérinaire lors de la prise en charge nutritionnelle d'un patient atteint de MRC sont nombreuses. Elles peuvent donc s'avérer difficile à maîtriser. Afin de les mettre en pratique de façon ludique et de faciliter leur apprentissage, des exercices sous la forme de « jeu sérieux » ont été élaborés dans le cadre de cette thèse. Ils ont ensuite été proposés aux élèves de quatrième et de cinquième année de l'école vétérinaire de Toulouse durant leurs séances de travaux dirigés.

Le principe et le développement de ces exercices est l'objet de la troisième partie de ce manuscrit.

## PARTIE 3 : Le jeu sérieux

### I. Définition et perspectives d'utilisation du jeu sérieux

#### 1. Définition et origine du jeu sérieux

Dans notre société, l'apprentissage est souvent considéré comme une tâche contraignante qui requiert un effort de concentration. Il serait donc par nature opposé au jeu qui est lui plaisant, divertissant, amusant. Mais l'acquisition de nouvelles compétences doit-elle nécessairement être fastidieuse ? De plus en plus de travaux soutiennent qu'une activité réjouissante ne serait pas nécessairement dépourvue de tout intérêt pédagogique (Allen 2016).

Les jeux font partie intégrante de notre culture, et ce depuis des millénaires. Certains d'entre eux étaient déjà utilisés à des fins utiles à l'instar du *Mancala*, un jeu élaboré vers 1400 avant J.C utilisé comme outil comptable pour le commerce (Laamarti, Eid, El Saddik 2014). Mais ce n'est que bien plus récemment que l'idée d'un jeu comme moyen d'apprentissage s'est réellement développée et que la notion de *Serious Game* est apparue.

Un "*Serious Game*" ou "jeu sérieux" peut être défini comme une « application informatique, dont l'objectif est de combiner à la fois des aspects sérieux (*serious*) tels que, de manière non exhaustive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (*game*). Une telle association a donc pour but de s'écarter du simple divertissement » (Alvarez 2007).

C'est en 1970 que la notion de *Serious Game* telle que nous l'employons aujourd'hui a été évoquée pour la première fois (Djaouti et al. 2011). Ce concept s'est ensuite développé dans les années 1980, à l'initiative de l'armée américaine, puis s'est étendu à des applications informatives et sociales à la fin de la décennie.

Aujourd'hui, les *Serious Games* sont utilisés dans de nombreux domaines tels que l'éducation, la communication, la santé, la politique, la finance ou encore l'art. En 2010, ils représentaient un marché mondial de 1,5 milliard d'euros (Djaouti et al. 2011).

## 2. Intérêt du jeu sérieux

Cinquante-trois études évaluant l'utilisation d'éléments de jeux comme méthodes éducatives dans la formation des étudiants en soins infirmiers ont été répertoriées et analysées. La synthèse de ces travaux concernait un total de 4612 étudiants répartis dans 16 pays différents. Elle a montré que l'utilisation de jeux sérieux avait un impact bénéfique sur la motivation des étudiants, leur satisfaction, leur niveau de stress ainsi que leurs compétences et leur sens critique (Xu et al. 2021). Des résultats similaires ont été rapportés dans de nombreuses autres études (Kanthan, Senger 2011 ; Backlund, Hendrix 2013). Les jeux sérieux favoriseraient également la mémoire à long terme par rapport à des méthodes d'apprentissage conventionnelle (Ebrahimzadeh, Alavi 2017), mais les études restent peu nombreuses et souvent peu interprétables sur ce dernier point.

Par ailleurs, le jeu sérieux peut servir d'outil de simulation permettant l'apprentissage de compétences sans risquer de nuire à l'objet d'étude. C'est un domaine d'application particulièrement intéressant dans le cadre d'études médicales (Langebæk et al. 2012).

Enfin dans notre cas, les étudiants peuvent télécharger le logiciel de jeu sur leurs ordinateurs personnels et s'entraîner chez eux autant de fois qu'ils le souhaitent, ce qui pourrait les motiver à utiliser cet outil.

## 3. Critères de réussite

Le succès d'un jeu sérieux dépend de sa capacité à susciter l'intérêt du joueur et à lui transmettre une information, qui doit ensuite être intégrée par l'apprenant.

Soixante-trois études centrées sur des jeux sérieux ont été analysées afin d'en extraire les principaux facteurs influençant l'apprentissage des joueurs (Ravyse et al. 2017). Cinq éléments clés ont été mis en évidence :

- La pertinence du contexte narratif
- Le réalisme du jeu
- La présence d'une intelligence artificielle permettant d'adapter le cours du jeu aux performances du joueur
- Le recours à des éléments interactifs

- Un retour critique sur les performances du joueur au cours du jeu mais aussi à posteriori

Ces éléments doivent être pris en compte lors de l'élaboration d'un jeu sérieux afin que ce dernier soit pertinent. L'intégration d'un score ou d'un classement final suscitant l'esprit de compétition du joueur est un autre facteur de réussite. L'interaction entre les joueurs durant le scénario ou lors d'un temps d'échange après le jeu a également un impact positif sur l'apprentissage (Xu et al. 2021). Enfin l'implication émotionnelle du joueur, conditionnée par le réalisme et la qualité du contexte narratif favorise l'ancrage des connaissances chez l'apprenant (Bourgeois 2022).

A l'inverse, une interface de jeu trop sophistiquée ou un jeu trop complexe sont des sources de désintérêt de la part du joueur. Le développeur du jeu devra donc veiller à augmenter graduellement le niveau de difficulté du scénario (Ravyse et al. 2017).

#### 4. Limites du jeu sérieux

L'apprentissage par le biais de jeux sérieux présente néanmoins des faiblesses par rapport à des méthodes traditionnelles.

##### a. Facteurs individuels limitant l'efficacité

Le jeu sérieux n'est pas le mode d'apprentissage le plus approprié pour tous. Une étude menée en 2007 n'a pas mis en évidence d'effet de genre ou de la provenance ethnique sur la formation des joueurs, en revanche l'âge des sujets étaient déterminant. Les joueurs âgés de quarante-et-un an ou plus ne tiraient pas de bénéfices de l'apprentissage par le jeu sérieux contrairement aux joueurs plus jeunes (Blunt 2007). Le niveau académique de l'apprenant peut aussi impacter l'acquisition de compétences par le jeu : tandis que l'apprentissage d'un cours est basé sur la compréhension de principe généraux ensuite appliqués à des cas particuliers, le jeu sérieux suit souvent le schéma inverse. L'apprenant réalise une ou plusieurs actions dont il tire un enseignement particulier. Il doit ensuite comprendre dans quel cadre plus général s'inscrit cet enseignement. Cette dernière étape de généralisation peut s'avérer problématique chez certains apprenants avec des aptitudes académiques plus faibles (Coleman et al. 1973).

#### b. Contraintes liées à la mise en œuvre

Les jeux vidéo nécessitent un temps et un coût de développement généralement importants (Alvarez 2007). A cela s'ajoute la difficulté potentielle pour les enseignants d'identifier ou d'élaborer des jeux pertinents par rapport au programme éducatif. Des problèmes techniques ou un niveau de maîtrise des outils informatiques hétérogène entre les élèves peuvent également être un obstacle à l'utilisation des jeux sérieux. Ces éléments expliquent pourquoi de nombreux professeurs et étudiants sont sceptiques concernant leur utilisation (Backlund, Hendrix 2013).

#### c. Causes d'échec de l'apprentissage par les jeux sérieux

Concernant l'outil en lui-même, son intérêt peut être diminué si l'étudiant se concentre davantage sur le jeu que sur son contenu, en passant rapidement un texte explicatif important afin de se concentrer sur les éléments plus amusants par exemple. Des coupures au cours du jeu, ainsi qu'un temps d'analyse et de réflexion en amont et a posteriori, permettent d'éviter que le jeu ne devienne une fin en soi mais qu'il demeure un outil de mobilisation des connaissances. Il convient aussi de trouver un équilibre afin que le jeu ne soit pas trop aisé et donc source de déconcentration et de divertissement pour l'étudiant, plutôt que d'apprentissage (Xu et al. 2021). La présence d'un enseignant pour approfondir certaines explications ou aider l'étudiant s'il rencontre des difficultés, qu'elle relève des connaissances ou bien des limites techniques du jeu, peut constituer une solution intéressante.

Les *Serious Games* sont des outils de plus en plus utilisés dans le cadre éducatif. Ils permettent de susciter l'enthousiasme et la motivation du joueur et peuvent ainsi impacter positivement l'apprentissage de connaissances. Il existe des facteurs de réussite à prendre en compte lors de l'élaboration et de l'utilisation de tels outils pédagogiques. Leur négligence pourrait expliquer l'absence d'impact positif sur l'apprentissage de certains jeux sérieux (Backlund, Hendrix 2013).

## II. Attentes des étudiants

### 1. Organisation de l'enseignement de nutrition des carnivores domestiques à l'ENVT

L'apprentissage de la nutrition des carnivores domestiques est réparti tout au long du cursus à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT). La physiologie digestive et endocrine est étudiée en première année. Les bases de la nutrition du chien et chat à divers stades physiologiques puis lors d'affections pathologiques sont étudiées en deuxième année. Aucun enseignement spécifiquement dédié à la nutrition n'est dispensé en troisième année. En quatrième année, les étudiants assistent à des consultations de nutrition lors d'une semaine de rotation clinique. Il en est de même en cinquième année pour les étudiants qui choisissent un approfondissement en clinique des animaux de compagnie.

L'enseignement est assez conséquent avec une partie théorique plutôt dense comprenant notamment la réalisation de calculs souvent perçus comme complexes par les étudiants. Par la suite, les étudiants ne sont confrontés qu'à un nombre réduit de cas pratiques lors de leurs deux seules semaines de rotation clinique de nutrition. Ces cas cliniques sont par ailleurs dépendants des consultations et des hospitalisations lors de la présence des élèves au sein du Centre Hospitalier Universitaire de l'école.

### 2. Perception de l'enseignement par les étudiants

Un sondage a été réalisé auprès des étudiants de l'ENVT afin de cerner leurs attentes concernant l'enseignement de la nutrition à l'école (Zwiller 2023). Nous nous sommes intéressés aux résultats concernant les étudiants de quatrième et cinquième année qui travaillent en majorité sur des cas appliqués à des animaux atteints de pathologies et qui sont donc la population cible de notre étude.

Ils ont tout d'abord été interrogés sur la difficulté d'apprentissage de la nutrition des carnivores. Sur 147 votants ayant évalué sur une échelle de 1 à 10 leur difficulté à assimiler la matière, on retrouve une allure de courbe gaussienne centrée sur 7 avec 7,5% des votants qui estiment cette difficulté maximale. La difficulté est plus prononcée lorsqu'il s'agit d'étudier les rations destinées aux animaux malades par rapport à celles pour les animaux sains. Pour les animaux atteints de pathologies, 21,8 % des répondants jugent cette tâche extrêmement difficile, et 92,5 % ont donné des notes de difficulté

égales ou supérieures à 5. Cette difficulté est également plus marquée chez les étudiants de quatrième année.

La plupart des étudiants pense que l'enseignement de nutrition des carnivores domestiques devrait être modernisé. Interrogés sur l'intérêt d'un jeu sérieux composé de cas cliniques, la grande majorité des étudiants ont manifesté un intérêt pour un tel outil avec un intérêt moyen scoré à 9/10 et 61,2% des réponses atteignant 10.

Ces constatations ont poussé l'équipe de nutrition à s'intéresser à l'élaboration de jeux sérieux en nutrition des carnivores domestiques à l'intention des élèves. L'objectif était de créer une banque d'exercices en ligne au sein desquels l'étudiant incarne ou assiste un vétérinaire qui reçoit un propriétaire en consultation de nutrition. Au cours de ces exercices, les connaissances de l'étudiant lui permettent de proposer une ration ménagère, industrielle ou mixte adaptée à la clinique de l'animal. Un échange est mis en scène afin que l'étudiant s'entraîne à conseiller le propriétaire.

Une première thèse a permis l'élaboration de cas cliniques informatisés portant sur la réalisation de rations à destination de chiens en bonne santé, à divers stades physiologiques (Zwiller 2023). Une deuxième thèse a été réalisée par Lucille Garcia sur ce même sujet, mais avait cette fois pour objet d'étude des chats sains (Garcia 2024). Cette présente thèse a permis la construction de scénarios dans le cas de MRC chez les deux espèces.

### III. Logiciel VTS editor

#### 1. Présentation de l'outil

Le logiciel utilisé pour l'élaboration des jeux sérieux de nutrition de cette thèse est VTS (Virtual Training Suite) Editor ®. Développé par Serious Factory TM, il permet de créer facilement du contenu pédagogique sans que des compétences de codage soient nécessaires. Par ailleurs, de nombreux tutoriels vidéo ainsi que des webinaires sont proposés par les développeurs du jeu pour faciliter sa prise en main.

Il fonctionne avec des ensembles de blocs de nature variée qui sont connectés entre eux par des liens logiques, le tout permettant la formation de scénarios non linéaires. Chaque type de bloc a son propre fonctionnement. Les blocs s'enchaînent différemment selon les réponses faites par le joueur, ce qui permet le déroulement d'un scénario avec des personnages virtuels qui interagissent.



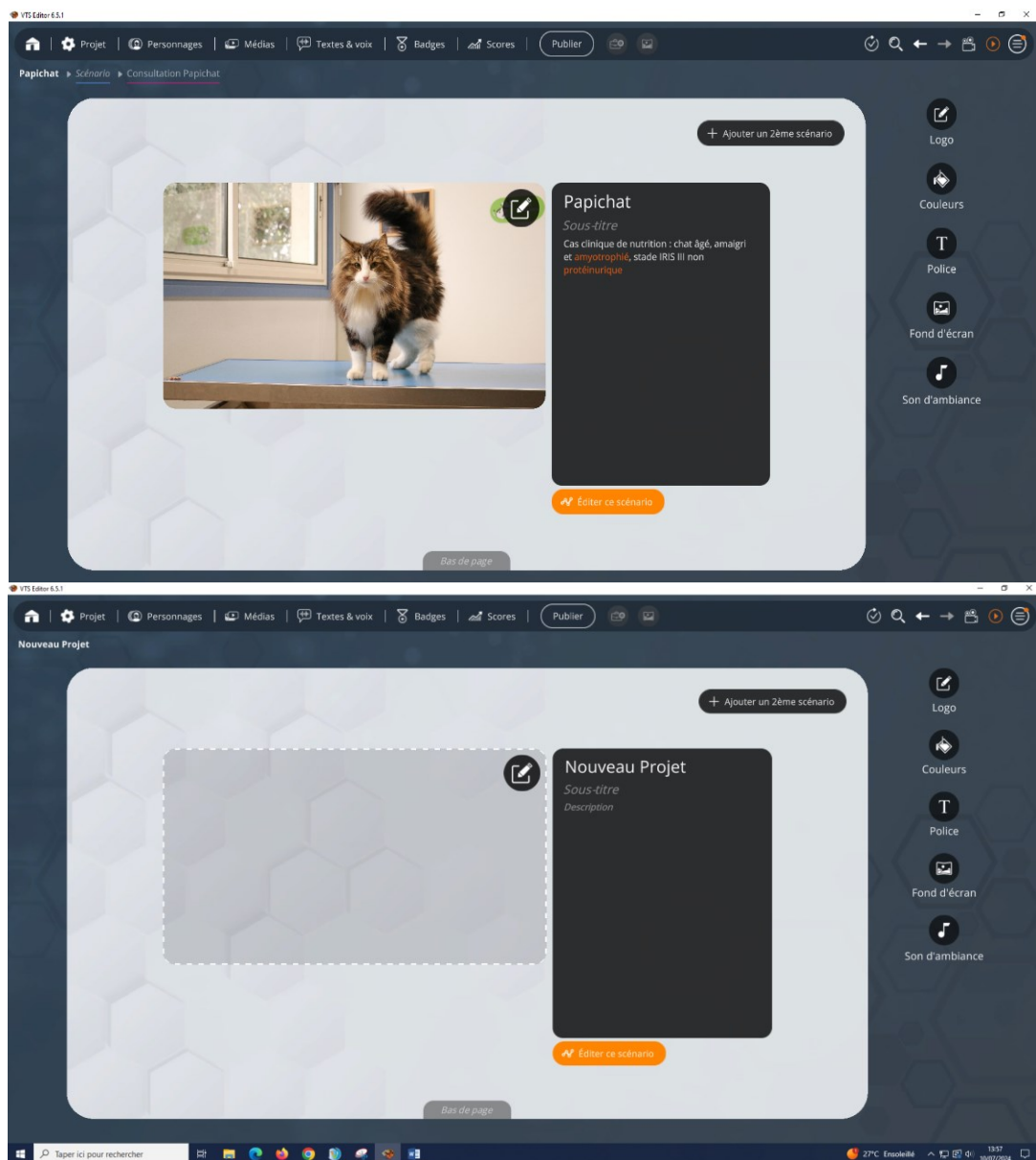
Les dialogues, les décors et les personnages sont personnalisables.

## 2. Conception d'un scénario

Trois scénarios ont été développés dans le cadre de cette thèse. Nous allons prendre celui de *Papichat* comme exemple pour illustrer les différentes étapes de la création d'un scénario sur VTS.

### a. Création d'un scénario

La première étape de la réalisation du jeu est la création d'un nouveau projet dans le menu du logiciel. Un titre et éventuellement un sous-titre, une description et une image peuvent être attribués au projet.



CAPTURE D'ECRAN 1 : D'UN PROJET VIERGE A L'ELABORATION DE CELUI DE PAPICHAT

## b. Création d'une scène avec des personnages

La seconde étape est la création des personnages. L'éditeur sélectionne les avatars qu'il veut faire participer à la scène. Un vaste choix est offert. Des personnages de toute apparence, de tout style vestimentaire et de tout genre peuvent être sélectionnés. Une personnalisation de leurs émotions en fonction du contexte du dialogue et de leur voix est possible et contribue au réalisme du scénario qui sera proposé.



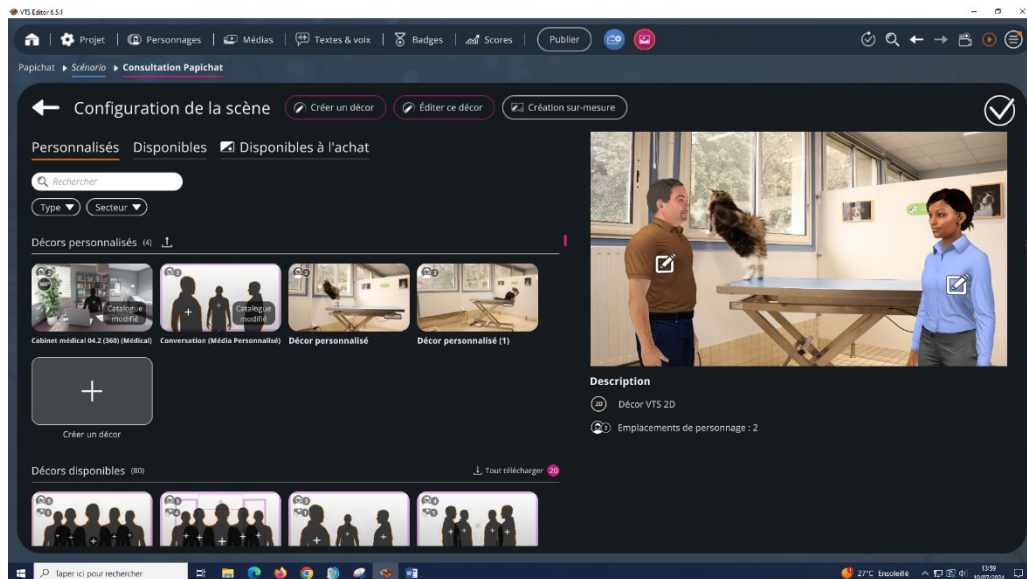
CAPTURE D'ECRAN 2 : CHOIX ET PERSONNALISATION DU PERSONNAGE

Il faut ensuite élaborer le décor dans lequel vont évoluer les personnages. Selon la licence achetée par le créateur du jeu, des dizaines voire des centaines de décors sont proposés par le logiciel. La création d'un décor personnalisé est également possible. Il suffit alors de fournir une photo qui servira de fond à la scène en cours de création. L'intelligence artificielle du logiciel permet de générer des décors en 2D et à 360°.

Il est même possible de faire une demande auprès de l'entreprise pour qu'ils recréent un décor personnalisé en 3D immersive d'un bureau, d'une salle de consultation ou d'un local.

Pour la réalisation de nos trois scénarios, nous avons alterné entre les scènes issues de décors personnalisés utilisant des photos des salles de consultations des cliniques de l'ENVT et des décors de cabinets médicaux proposés par le logiciel. L'objectif était d'apporter du réalisme mais aussi de la diversité au jeu.

Une configuration de scène avec un certain positionnement des personnages dans l'espace est ensuite choisie.



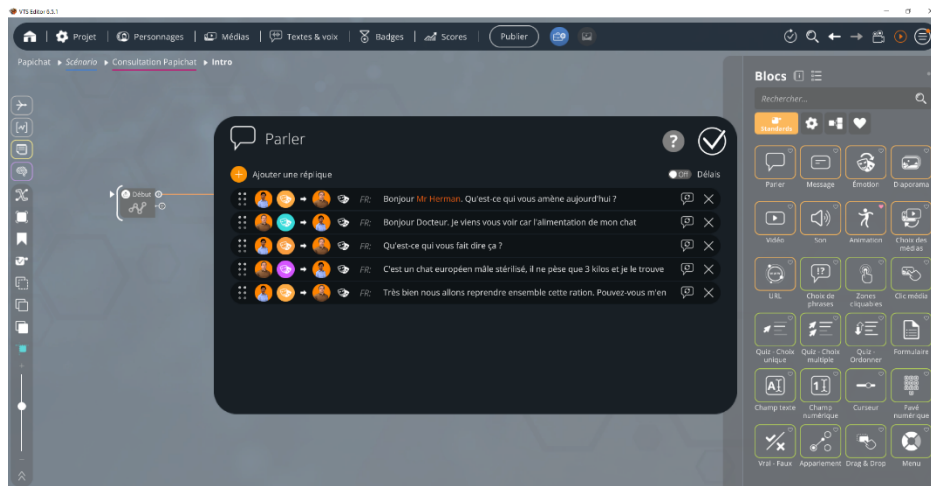
CAPTURE D'ECRAN 3 : CHOIX DU DECOR ET DU POSITIONNEMENT DES PERSONNAGES

### c. Création du graphe

Le créateur du jeu passe ensuite à l'édition du graphe, c'est-à-dire la structure du jeu à proprement parlé. Il est constitué d'un ensemble de blocs de différents, reliés entre eux par des liens logiques. Chaque type de bloc a un fonctionnement qui lui est propre, permettant d'enrichir le déroulement du scénario. Il existe une multitude de blocs différents. Nous allons détailler uniquement ceux que nous avons utilisés dans la réalisation de nos scénarios.

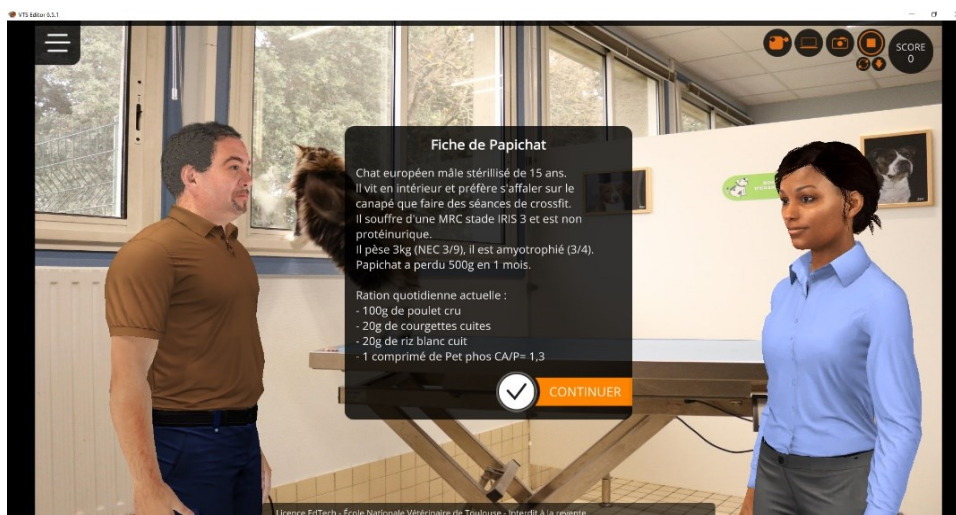
Les blocs d'information (orange) permettent d'apporter une information à l'utilisateur ou de modifier l'environnement du jeu.

- Parler : fait échanger les personnages entre eux et permet aussi de s'adresser directement à l'apprenant. Il nous a permis de reproduire des échanges entre le vétérinaire, l'étudiant joueur et le propriétaire venant en consultation.



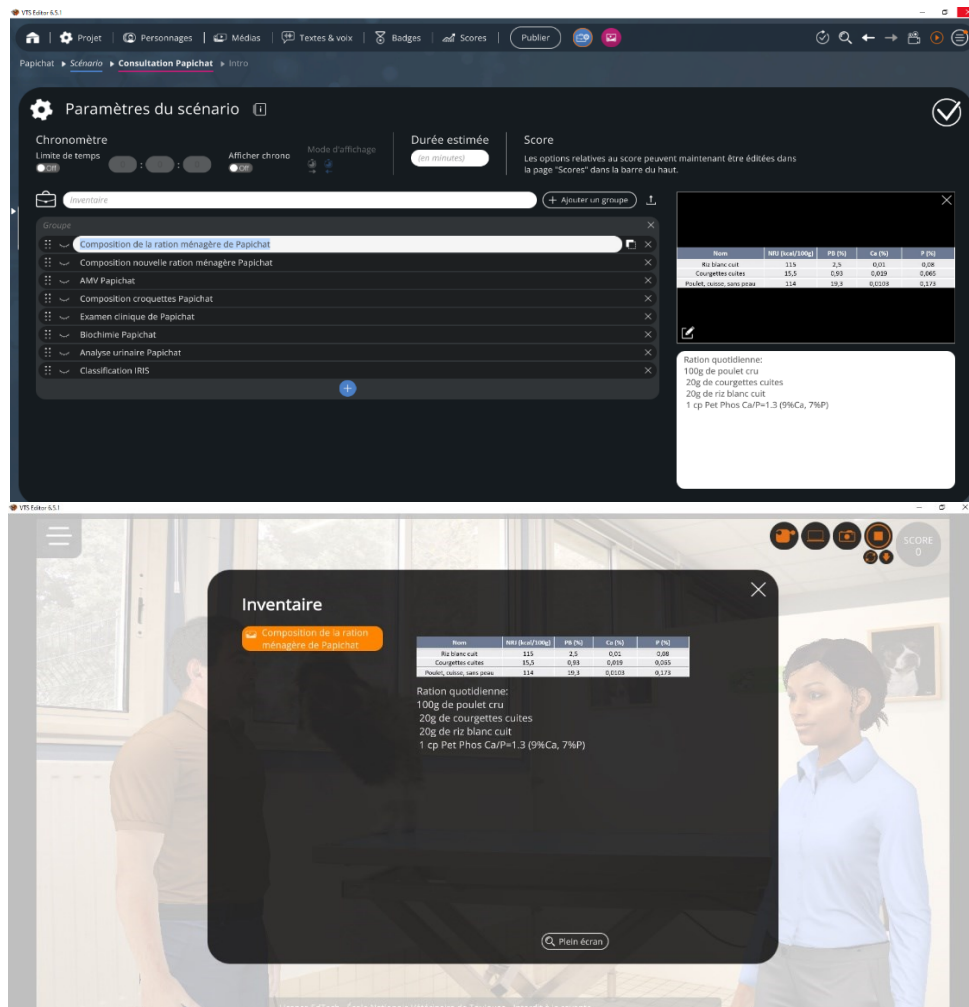
CAPTURE D'ECRAN 4 : APERÇU DU BLOC PARLER SUR L'INTERFACE DE CREATION (IMAGE DU HAUT) ET SUR L'INTERFACE DE JEU (IMAGE DU BAS)

- Message : fait afficher un message à destination du joueur dans une fenêtre. Cela nous a été utile pour communiquer des informations supplémentaires sur certains éléments à l'étudiant, sans les intégrer dans le dialogue. Cela permet également d'apporter de l'aide ou une solution à l'étudiant en cas de difficulté.



CAPTURE D'ECRAN 5 : APERÇU DU BLOC MESSAGE SUR L'INTERFACE DE CREATION

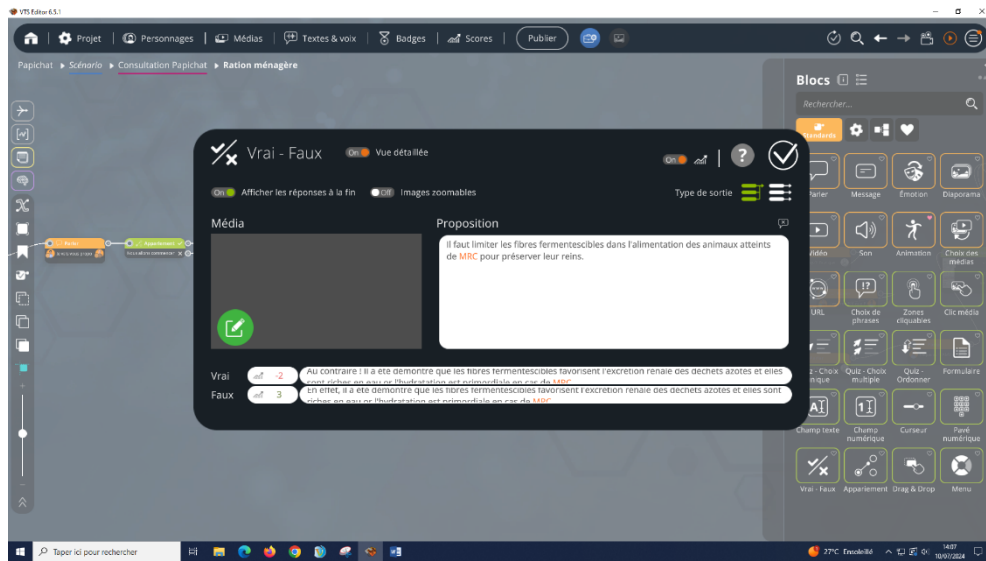
- Inventaire : ce bloc force l'ouverture d'un inventaire qui est mis à disposition du joueur tout au long du scénario. L'éditeur peut y ranger divers documents qui, une fois rendus disponibles au cours du scénario, sont accessibles à tout moment au joueur s'il clique sur l'icône inventaire. Cela permet par exemple à l'étudiant de faire apparaître le détail de la composition des croquettes d'une ration lorsqu'il doit réaliser des calculs.



CAPTURE D'ÉCRAN 6 : APERÇU DU BLOC INVENTAIRE SUR L'INTERFACE DE CREATION (IMAGE DU HAUT) ET SUR L'INTERFACE DE JEU (IMAGE DU BAS) UNE FOIS QUE LE JOUEUR A CLIQUÉ SUR « VOIR MON INVENTAIRE »

Les blocs d'interactions (verts) impliquent directement l'utilisateur dans le jeu en lui proposant plusieurs choix. En fonction de la décision du joueur, diverses sorties de blocs sont possibles amenant à plusieurs configurations du scénario. Un score et un commentaire peuvent aussi être associés à la réponse du joueur.

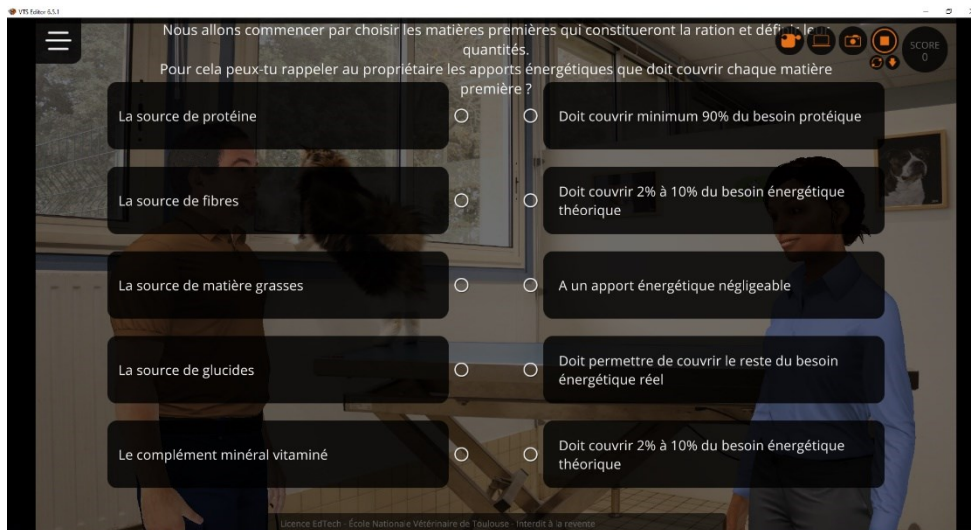
- Vrai / Faux : une question formulée par l'éditeur est posée à l'apprenant qui peut y répondre uniquement par « vrai » ou par « faux ».



CAPTURE D'ECRAN 7 : APERÇU DU BLOC VRAI/FAUX SUR L'INTERFACE DE CREATION

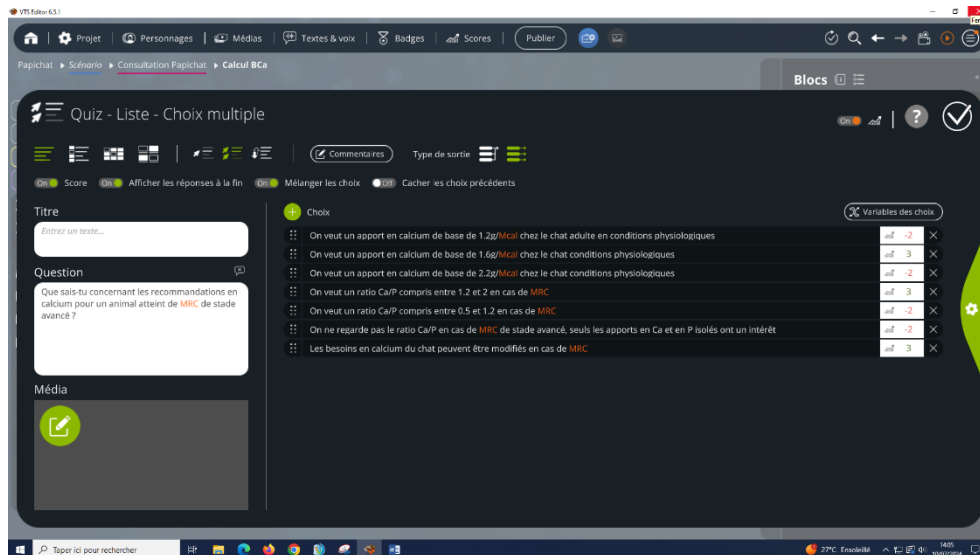
SUR LE BAS DU BLOC, ON PEUT VOIR QU'UN SCORE ET QU'UN COMMENTAIRE SONT ASSOCIES A CHAQUE REPONSE.

- Appariement : plusieurs éléments répartis en deux colonnes distinctes sont proposés à l'apprenant, qui doit relier les propositions de la colonne de gauche avec celle de droite.



CAPTURE D'ECRAN 8 : APERÇU DU BLOC APPARIEMENT SUR L'INTERFACE DE JEU

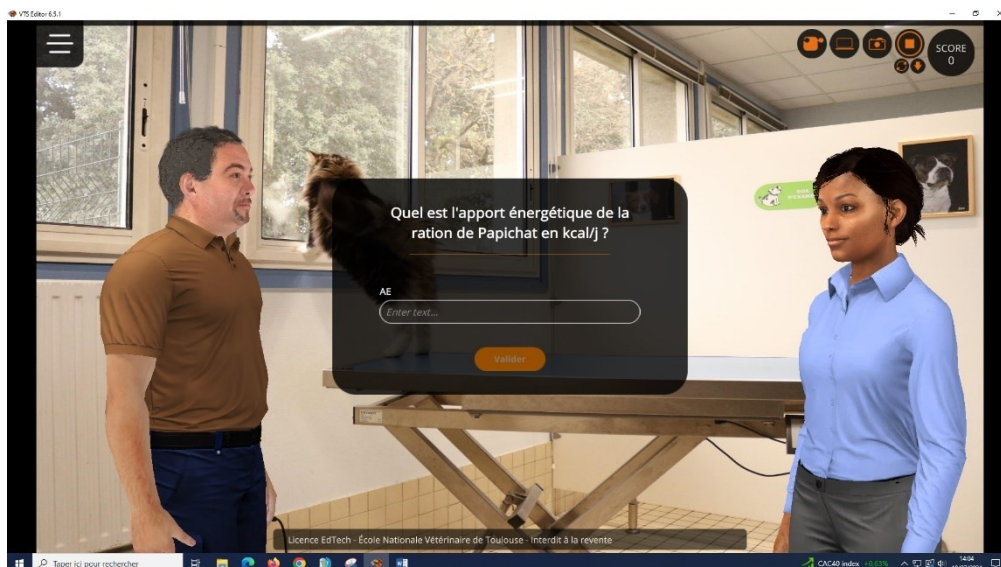
- Quizz : un quizz à réponse unique, multiples, ou ordonnées apparaît à l'écran. Les choix peuvent être mélangés. L'apprenant doit ensuite choisir une ou plusieurs réponses à la question posée.



CAPTURE D'ECRAN 9 : APERÇU DU BLOC QUIZZ SUR L'INTERFACE DE CREATION

ON OBSERVE SUR LA DROITE DU BLOC QUE DES SCORES POSITIFS (EN VERT) OU NEGATIFS (EN ROUGE) SONT ATTRIBUES AUX BONNES OU AUX MAUVAISES REPONSES

- Formulaire : une question ouverte est posée à l'apprenant qui peut y répondre avec un mot, une phrase ou un nombre. Dans notre cas il permet notamment de demander les résultats des différents calculs.



CAPTURE D'ECRAN 10 : APERÇU DU BLOC FORMULAIRE SUR L'INTERFACE DE JEU

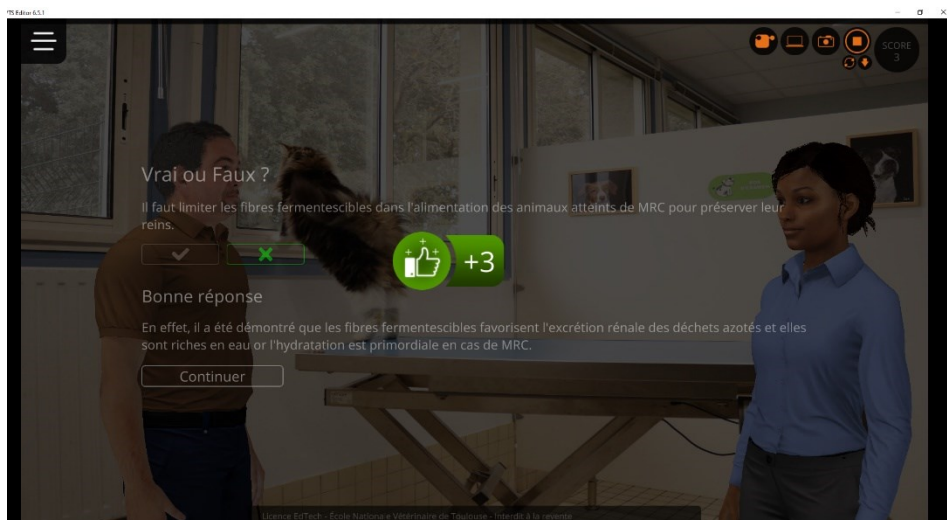
- Zone cliquable : l'utilisateur doit cliquer sur une zone du décor. Dans notre scénario, il nous a été utile pour présenter des photos de différents types d'aliments ou de compléments afin que le joueur clique sur celui qui lui paraît le plus adapté.



CAPTURE D'ECRAN 11 : APERÇU DU BLOC ZONE CLIQUABLE SUR L'INTERFACE DE JEU

Les blocs techniques (bleus) n'ont pas d'impact visuels mais permettent de structurer le jeu et de le rendre plus élaboré.

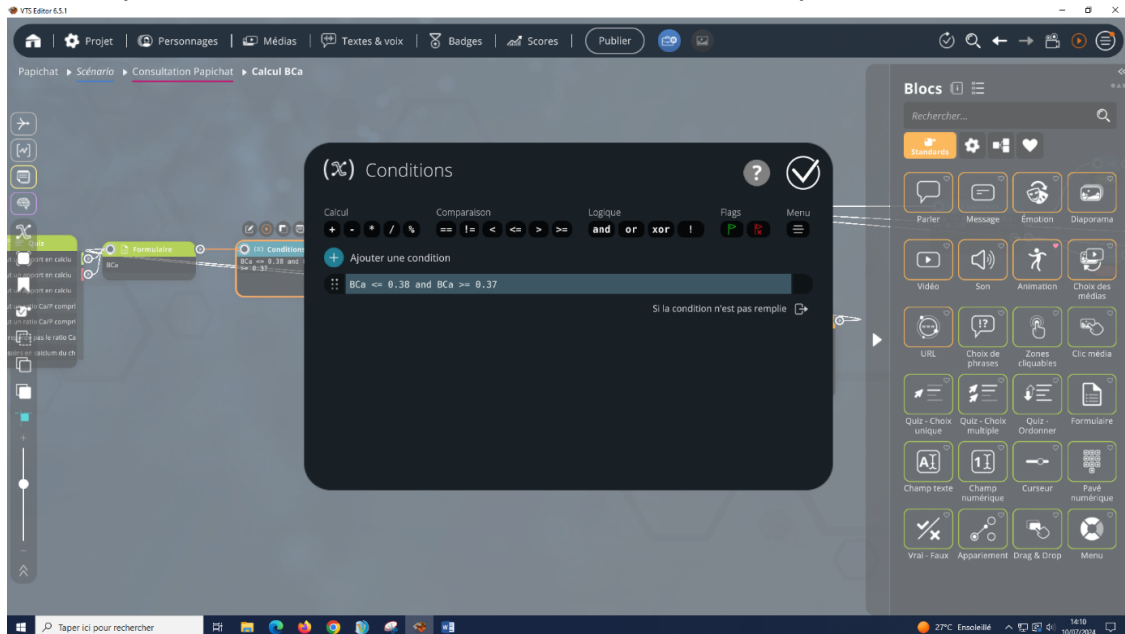
- Score : ces blocs permettent d'ajouter ou de retirer des points au score total du joueur en fonction des réponses énoncées. A la fin du jeu, un nombre d'étoiles compris entre 0 et 5 est attribué au joueur en fonction de son score final accompagné d'un commentaire. Cela permet de susciter l'esprit de compétition de l'étudiant et de le motiver tout au long du scénario, mais également de lui donner une idée de son niveau de maîtrise de l'exercice à la fin du jeu. Il pourra ensuite rejouer s'il se désire pour essayer de s'améliorer.



CAPTURE D'ECRAN 12 : APERÇU DU BLOC SCORE LORS D'UNE BONNE REPOSE SUR L'INTERFACE DE JEU

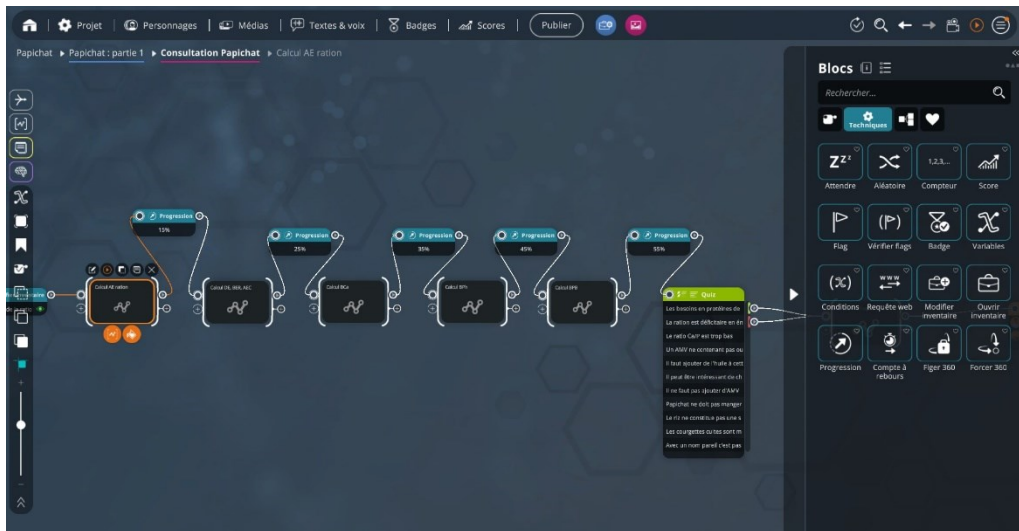


- Condition : l'éditeur définit une condition écrite à base de variables. Selon si cette condition est remplie ou non, le scénario suivra des blocs différents. Dans notre cas, ce bloc est utilisé pour regarder si le résultat donné par le joueur dans le bloc formulaire est correct ou non. Par exemple ici, si le BCa (besoin en calcium) et compris entre 0,37 et 0,38 alors la condition est remplie.



CAPTURE D'ECRAN 13 : APERÇU DU BLOC CONDITION SUR L'INTERFACE DE CREATION

- Bloc progression : l'éditeur peut ponctuer le graphe de blocs progression au sein desquels il indique l'avancement global de l'apprenant dans le scénario, en pourcentage. Tout au long du jeu, une barre de progression est présente en haut de l'écran et avance à chaque bloc progression d'un pourcentage défini. Cela permet au joueur de se rendre compte du travail qu'il a fourni, et de ce qui lui reste à faire.



CAPTURE D'ECRAN 14 : APERÇU DE PLUSIEURS BLOCS PROGRESSION PONCTUANT LE JEU SUR L'INTERFACE DE CREATION

- Compteur : l'éditeur définit un nombre cible à atteindre dans les paramètres du bloc, par exemple, 3. Chaque fois que le bloc est atteint, son compteur interne initialisé à 0 augmente de 1. Si le compteur est inférieur ou égal à la cible, la première sortie est déclenchée, sinon, c'est la seconde sortie qui est empruntée. Cela permet notamment de laisser le joueur tenter de répondre à une question plusieurs fois sans le laisser bloquer : s'il passe plus de trois fois par le compteur, la solution lui est donnée pour qu'il puisse continuer d'avancer.



CAPTURE D'ECRAN 15 (AVEC ANNOTATIONS) : APERÇU DU D'UNE SCENE DU GRAPHE RELIANT DIFFERENTS TYPES DE BLOCS

La capture d'écran 15 permet de montrer comment s'articulent les différents blocs au sein d'un graphe. On observe que le déroulement du graphe n'est pas forcément linéaire. Le formulaire demande ici le calcul de l'apport énergétique (AE). Selon le résultat fourni, le bloc condition va faire progresser le scénario vers un bloc score positif qui aboutira à la sortie de la scène ou vers un bloc négatif débouchant sur le bloc compteur. Plusieurs cas de figure apparaissent alors : si cela fait trois fois ou moins que le joueur se trompe, il va aboutir au bloc quizz qui lui posera la question suivante « as-tu besoin d'aide pour calculer l'apport énergétique de Papichat ? ». Le joueur pourra alors choisir la première réponse « je veux bien qu'on décompose le calcul ensemble » ou bien la deuxième réponse « je vais réessayer seul ». Les deux réponses permettent un retour au bloc formulaire afin que le joueur retente de donner la bonne valeur d'apport énergétique. S'il demande de l'aide, le scénario empruntera d'abord le bloc message qui affichera une note d'aide pour l'aider à réaliser le calcul avant de rejoindre le bloc formulaire. A chaque fois que le joueur se trompe, le bloc compteur augmente de 1. A partir du chiffre 4, la deuxième sortie sera empruntée et le bloc parler sera activé : il communiquera directement la réponse à l'apprenant avant de sortir de la scène.

#### d. Caractéristiques des jeux

Comme nous l'avons vu précédemment, les bénéfices du jeu sérieux sont conditionnés, entre autres, par sa durée et sa structure. Nous avons ainsi choisi de scinder les deux scénarios les plus longs, celui de Papichat et celui de Guizmo en deux parties. Le joueur peut décider de s'arrêter après la première partie du scénario, ou de poursuivre son apprentissage sur la deuxième partie de l'exercice. Cela peut également permettre à l'étudiant de fractionner son temps d'apprentissage en travaillant sur la deuxième moitié de l'exercice plus tard, par exemple chez lui.

Le temps dédié aux enseignements cliniques de nutrition lors de la quatrième et cinquième année du cursus vétérinaire à Toulouse ne permet pas nécessairement aux élèves de tester tous les scénarios en présence d'un enseignant. Cependant, ils peuvent tester au moins un des scénarios au cours de leur séance de travaux dirigés ce qui leur permet de pouvoir poser des questions supplémentaires, de solliciter de l'aide ou d'approfondir certains points avec l'enseignant présent, s'ils le désirent.

## IV. Construction des cas

Trois scénarios ont été créés à l'occasion de cette thèse :

- *Jeu sérieux n°1 : Papichat, chat âgé, amaigri et modérément amyotrophié, stade IRIS 3, non protéinurique*

Ce scénario se compose de deux parties. Une première partie au cours de laquelle l'apprenant analyse la ration ménagère que mange Papichat avant d'en proposer une autre plus adaptée à ses besoins. Une seconde partie qui consiste en l'élaboration d'une ration industrielle à base de croquettes. L'étudiant doit ensuite calculer la durée nécessaire pour que Papichat atteigne son poids idéal. Il est enfin invité à interpréter des résultats d'une biochimie sanguine et d'une analyse urinaire dans un contexte de suivi de MRC, ainsi qu'à gérer une déshydratation clinique, qui est une complication fréquemment rencontrée chez les malades.

- *Jeu sérieux n°2 : Duracell, chien en croissance atteint de dysplasie rénale congénitale, stade IRIS 2, protéinurique*

L'apprenant doit dans un premier temps analyser la ration à base de croquettes du chien puis lui proposer une ration industrielle mixte contenant des croquettes et des friandises. La mise en situation d'une visite de suivi invite ensuite l'étudiant à analyser une courbe de croissance.

- *Jeu sérieux n°3 : Guizmo, chat européen mâle stérilisé de 11 ans, atteint de MRC stade IRIS 1, non protéinurique*

Ce scénario se compose de deux parties. Une première partie au cours de laquelle l'apprenant analyse la ration mixte composée de pâtée et de croquettes du chat avant de lui proposer une autre ration industrielle mixte à base de pâtée et de croquettes également. Dans une seconde partie, l'étudiant élabore cette fois une ration ménagère pour l'animal et doit déterminer le temps qu'il faudra pour que Guizmo atteigne son poids idéal. Enfin, des résultats d'analyses sanguines dans un contexte de suivi de MRC doivent être interprétés au cours d'une visite de suivi. L'étudiant doit également conseiller le propriétaire face à un cas de constipation, une complication fréquente chez les malades.

L'objectif lors de l'élaboration de ces trois scénarios était de balayer des situations variées, afin que les étudiants sachent s'adapter à la diversité des cas cliniques qu'ils rencontreront dans leur pratique. Nous avons ainsi choisi d'étudier un chien et deux chats, à des stades différents de la maladie. Les étudiants doivent travailler sur l'élaboration de rations aussi bien ménagères qu'industrielles, constituées d'un seul aliment ou bien mixtes. Nous avons inclus dans les scénarios des visites de suivi qui sont l'occasion de relier la nutrition à des notions de médecine plus générale. C'est intéressant d'une part pour que l'étudiant fasse un lien entre les différentes disciplines, mais aussi parce que cela contribue à ancrer le jeu dans un contexte plus réel, ce qui est source de motivation pour lui. C'est enfin une manière de diluer les calculs de rations perçus comme laborieux dans une prise en charge plus globale.

Les scripts détaillés de chacun des trois scénarios sont disponibles en annexe.

## V. Conclusion partielle de la partie III

La nutrition est un élément clé de la prise en charge des animaux atteints de maladie rénale chronique. Cette discipline est néanmoins dense et son apprentissage s'avère souvent problématique pour les élèves vétérinaires. Cette constatation a poussé l'équipe pédagogique à chercher des manières innovantes de l'enseigner.

Le jeu sérieux constitue un outil pédagogique de choix pour favoriser l'apprentissage de la nutrition des carnivores domestiques. Il existe des critères de conception et d'utilisation qui permettent d'optimiser les impacts bénéfiques de cet outil d'apprentissage et qui doivent être pris en compte lors de l'élaboration du jeu.

Trois scénarios portant sur deux chats et un chien atteints de MRC à différents stades d'évolution de la maladie ont été créés sur le logiciel VTS dans le cadre de cette thèse afin d'être proposé aux élèves de quatrième et cinquième année de l'école nationale vétérinaire de Toulouse.

Certains défis ont été rencontrés lors de leur élaboration. Ces points ainsi que les perspectives d'évaluation et d'amélioration des scénarios seront discutés dans le paragraphe suivant.

# Discussion

## I. Difficultés rencontrées lors de l'élaboration du jeu

### 1. Recommandations nutritionnelles pour la prise en charge de la MRC

Une première difficulté apparue lors de l'étude de la prise en charge alimentaire de la MRC, est d'identifier des recommandations nutritionnelles fiables et précises. En effet, une grande part des études de référence ont recours au modèle de réduction néphronique qui consiste en une ablation très importante de la masse rénale des sujets. La pertinence de ce modèle est toutefois débattue car il ne permet pas d'explorer toutes les causes ni toutes les étapes de la progression de la MRC. Ces études sont par ailleurs souvent anciennes, ce qui peut s'expliquer par le durcissement de la législation sur le bien-être animal des animaux de laboratoires.

Même dans les travaux n'ayant pas recours au modèle de réduction néphronique, il est difficile d'avoir des sujets d'étude représentatifs de la population malade. En effet, la MRC est typiquement une maladie gériatrique rencontrée chez des animaux atteints d'affections concomitantes telles qu'une maladie endocrinienne, cardiaque ou encore gastro-intestinale.

Les effectifs d'études sont aussi souvent réduits ce qui renforce le problème de la pertinence des conclusions tirées.

Nombre des recommandations nutritionnelles diffèrent selon les sources ou ne sont validées que par quelques rares ouvrages, parfois même un seul. Un consensus existe concernant les bénéfices d'une alimentation spécifique pour les animaux atteints de MRC mais les études portent majoritairement sur des rations dont plusieurs paramètres sont modifiés, aussi l'impact individuel de chaque constituant nutritionnel est-il difficile à établir.

### 2. Limites du jeu sérieux

Bien que le logiciel soit intuitif et bien structuré, la création d'un scénario d'environ une heure représente une quinzaine d'heures de travail, sans compter le temps supplémentaire dédié à l'élaboration du script, à la prise de photos pour créer des décors

ou la personnalisation des voix pour renforcer le réalisme des scénarios. Cela représente un volume horaire conséquent pour les enseignants voulant avoir recours à un tel outil. Une fois le logiciel pris en main, la création des scénarios suivant est en revanche plus rapide et il est envisageable de réutiliser la trame d'un exercice en changeant quelques valeurs, les décors et les dialogues pour en produire d'autres plus rapidement.

Bien que les joueurs puissent télécharger gratuitement le logiciel VTS Player pour jouer aux différents jeux, la licence de VTS Editor nécessaire pour créer un scénario est quant à elle payante et doit être renouvelée tous les deux ans. Elle n'est de plus disponible que sur un seul ordinateur présent au sein de l'école ce qui impose de devoir se rendre sur place pour pouvoir créer ou modifier un scénario et qu'une seule personne ne peut utiliser le logiciel à la fois. D'autres licences sont cependant en cours d'achat par l'école et devraient permettre de résoudre ce problème.

## II. Retour d'expérience et perspectives de développement

### 1. Avis sur les scénarios développés

Ce projet ayant vu le jour plus tard que les deux thèses portant sur les animaux en conditions physiologiques, les scénarios n'étaient pas opérationnels au moment du passage des élèves en rotation clinique de nutrition. Quelques élèves ont pu tester des ébauches de scénarios mais ces derniers présentaient encore des dysfonctionnements. Le faible effectif ayant pu les tester et les problèmes encore présents dans la conception des jeux au moment du test ont compromis la réalisation de sondage de satisfaction auprès des étudiants. Il serait en revanche pertinent de recueillir l'avis des élèves de la promotion suivante lorsqu'ils testeront les scénarios, afin de voir s'ils en sont satisfaits et si certains éléments de jeu gagneraient à être modifiés. Il serait aussi intéressant de voir si les aptitudes des étudiants, que ce soit lors des partiels ou dans leur activité au sein des cliniques, sont améliorées par la pratique de ces jeux sérieux.

### 2. Perspectives de développement

Des scénarios similaires sur d'autres maladies comme par exemple les affections du bas appareil urinaire, l'insuffisance cardiaque ou encore les atteintes gastro-intestinales pourraient être proposés. L'idéal serait de pouvoir créer un scénario de base avec quelques variables à initialiser et qui permettrait ensuite de générer une multitude de cas différents ce qui représenterait un gain de temps conséquent.

L'usage des *Serious Games* se généralise à divers enseignements au sein de l'ENVT tels que l'anatomie, l'hygiène des aliments ou encore les urgences et il pourrait être intéressant de l'étendre à encore davantage de disciplines. Il serait aussi intéressant de créer davantage de jeux sérieux multidisciplinaires. Plus largement, le développement des méthodes d'enseignement alternatives et des outils de simulation est un argument de modernité et de qualité pédagogique. Cela démontre une volonté du corps enseignant de s'adapter aux besoins des étudiants.



## Conclusion

Ce manuscrit se situe dans la continuité de deux autres thèses. Tout d'abord, celle de Zia Zwiller, qui a porté sur l'élaboration d'un jeu sérieux à but pédagogique pour l'apprentissage de la nutrition du chien en conditions physiologiques. Ensuite, celle de Lucille Garcia qui a développé sur le même modèle, un jeu centré cette fois sur le chat en conditions physiologiques. Ces jeux ont été créés à la demande du service de nutrition de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, afin de faciliter l'apprentissage de la nutrition des chiens et des chats par les étudiants.

Le jeu sérieux est un moyen de susciter la motivation des élèves dans le contexte d'une matière dense telle que la nutrition clinique, que les étudiants trouvent difficile à maîtriser. Cette difficulté est encore plus marquée face à des cas pathologiques. Les retours positifs des étudiants ayant testé les scénarios portant sur les animaux sains ont motivé l'équipe pédagogique à élargir leur application à des cas pathologiques. Parmi les différentes affections étudiées, la maladie rénale chronique est apparue comme un objet d'étude pertinent pour l'élaboration d'un jeu pédagogique.

La maladie rénale chronique est une affection fréquente chez les chiens et les chats et l'alimentation est un facteur clé de sa prise en charge. La nutrition permet d'améliorer la qualité de vie des patients en prévenant ou limitant la fréquence des crises urémiques, ainsi que d'allonger leur espérance de vie. La gestion nutritionnelle de la maladie se base sur une restriction de l'apport en phosphore et en protéines, une supplémentation en acides gras insaturés oméga-3 et en fibres solubles ou encore sur des mesures favorisant la prise alimentaire et de boisson. Ces recommandations nutritionnelles ont été illustrées au travers de trois jeux informatiques sérieux. Ils portent sur trois stades de maladies rénales différents afin que les élèves puissent avoir une vision assez globale de la maladie et s'exercer sur des situations variées.

Bien que des outils similaires aient fait leurs preuves auprès des étudiants de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, il n'a pas encore été possible, au moment de la rédaction de ce manuscrit, d'évaluer le degré de performance et de satisfaction des élèves sur ces différents jeux sérieux. Une telle évaluation devra être mise en place pour juger de la pertinence des scénarios et mettre en lumière d'éventuelles améliorations possibles.



## Bibliographie

AGARWAL, Ajiv, 2022. Proinflammatory effects of oxidative stress in chronic kidney disease: role of additional angiotensin II blockade. *American Journal of Physiology-Renal Physiology* [en ligne]. 2022. Disponible à l'adresse : <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/ajprenal.00385.2002> [Consulté le 24 avril 2024].

ALEXANDER, Janet, STOCKMAN, Jonathan, ATWAL, Jujhar, BUTTERWICK, Richard, COLYER, Alison, ELLIOTT, Denise, GILHAM, Matthew, MORRIS, Penelope, STAUNTON, Ruth, RENFREW, Helen, ELLIOTT, Jonathan et WATSON, Phillip, 2019. Effects of the long-term feeding of diets enriched with inorganic phosphorus on the adult feline kidney and phosphorus metabolism. *British Journal of Nutrition*. février 2019. Vol. 121, n° 3, pp. 249-269. DOI 10.1017/S0007114518002751.

ALVAREZ, J, 2007. *DU JEU VIDÉO AU SERIOUS GAME : Approches culturelle, pragmatique et formelle. Multimédia*. Université de Toulouse.

ANSES, 2020. Table de composition nutritionnelle des aliments Ciqual. [en ligne]. 2020. Disponible à l'adresse : <https://ciqual.anses.fr/#/cms/la-table-ciqual-2020/node/19> [Consulté le 7 août 2024].

BARTGES, Joe et POLZIN, David J., 2011. *Nephrology and Urology of Small Animals*. Iowa : Wiley-Blackwell.

BETTS, J. Gordon, YOUNG, Kelly A., WISE, James A., JOHNSON, Eddie, POE, Brandon, KRUSE, Dean H., KOROL, Oksana, JOHNSON, Jody E., WOMBLE, Mark et DESAIX, Peter, 2013. Ch. 25 Introduction - Anatomy and Physiology. . 2013.

BLANCHARD, T, 2024. Maladie rénale chronique et alimentation. . 2024.

BOURGEOIS, Charlotte, 2022. *Réalisation d'un Serious Game pour l'apprentissage de la nutrition animale par les étudiants vétérinaires de A2*. Thèse Vétérinaire. ENVT.

BRAFF, J., OBARE, E., YERRAMILI, M., ELLIOTT, J. et YERRAMILI, M., 2014. Relationship between Serum Symmetric Dimethylarginine Concentration and Glomerular Filtration Rate in Cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2014. Vol. 28, n° 6, pp. 1699-1701.

BRENNER, B. M., LAWLER, E. V. et MACKENZIE, H. S., 1996. The hyperfiltration theory: a paradigm shift in nephrology. *Kidney International*. 1996. Vol. 49, n° 6, pp. 1774-1777.

BROWN, S. A., CROWELL, W. A., BROWN, C. A., BARSANTI, J. A. et FINCO, D. R., 1997. Pathophysiology and management of progressive renal disease. *Veterinary Journal (London, England: 1997)*. septembre 1997. Vol. 154, n° 2, pp. 93-109. DOI 10.1016/s1090-0233(97)80048-2.

BROWN, S. A., FINCO, D. R., CROWELL, W. A., CHOAT, D. C. et NAVAR, L. G., 1990. Single-nephron adaptations to partial renal ablation in the dog. *American Journal of Physiology-Renal Physiology*. 1 mars 1990. Vol. 258, n° 3, pp. F495-F503. DOI 10.1152/ajprenal.1990.258.3.F495.

BROWN, Scott A., 2008. Oxidative Stress and Chronic Kidney Disease. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2008. Vol. 38, n° 1, pp. 157-166. DOI 10.1016/j.cvsm.2007.11.001.

BROWN, Scott A., BROWN, Cathy A., CROWELL, Wayne A., BARSANTI, Jeanne A. et FINCO, Delmar R., 1996. Does Modifying Dietary Lipids Influence the Progression of Renal Failure? *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 1 novembre 1996. Vol. 26, n° 6, pp. 1277-1285. DOI 10.1016/S0195-5616(96)50128-2.

- BURANAKARL, Chollada, MATHUR, Sheerin et BROWN, Scott, 2004. Effects of dietary sodium chloride intake on renal function and blood pressure in cats with normal and reduced renal function. *American journal of veterinary research*. 1 juin 2004. Vol. 65, pp. 620-7. DOI 10.2460/ajvr.2004.65.620.
- BURKHOLDER, William J., LEES, George E., LEBLANC, Amy K., SLATER, Margaret R., BAUER, John E., KASHTAN, Clifford E., MCCRACKEN, Barbara A. et HANNAH, Steven S., 2004. Diet Modulates Proteinuria in Heterozygous Female Dogs with X-Linked Hereditary Nephropathy. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. mars 2004. Vol. 18, n° 2, pp. 165-175. DOI 10.1111/j.1939-1676.2004.tb00157.x.
- CARONE, Frank A., PETERSON, Darryl R., OPARIL, Suzanne et PULLMAN, Theodore N., 1979. Renal tubular transport and catabolism of proteins and peptides. *Kidney International*. 1979. Vol. 16, n° 3, pp. 271-278.
- CARVIL, Phil et CRONIN, John, 2010. Magnesium and Implications on Muscle Function. *Strength & Conditioning Journal*. février 2010. Vol. 32, n° 1, pp. 48. DOI 10.1519/SSC.0b013e3181c16cdc.
- CHETBOUL, V., 2002. Mesure de la pression artérielle chez le chien et chez le chat. *Le Point Vétérinaire* n° 223 [en ligne]. 2002. Disponible à l'adresse : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article/n-223/mesure-de-lapression-arterielle-chez-le-chien-et-chez-le-chat.html> [Consulté le 5 juin 2024].
- CHEW, Boon P., MATHISON, Bridget D., HAYEK, Michael G., MASSIMINO, Stefan, REINHART, Gregory A. et PARK, Jean Soon, 2011. Dietary astaxanthin enhances immune response in dogs. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 15 avril 2011. Vol. 140, n° 3, pp. 199-206. DOI 10.1016/j.vetimm.2010.12.004.
- CHRYSOPOULOU, Maria et RINSCHEN, Markus M., 2024. Metabolic Rewiring and Communication: An Integrative View of Kidney Proximal Tubule Function. *Annual Review of Physiology*. 2024. Vol. 86, n° Volume 86, 2024, pp. 405-427.
- CIANCIOLO, Rachel, HOKAMP, Jessica et NABITY, Mary, 2016. Advances in the evaluation of canine renal disease. *The Veterinary Journal*. 1 septembre 2016. Vol. 215, pp. 21-29. DOI 10.1016/j.tvjl.2016.04.012.
- COCKCROFT, Donald W. et GAULT, Henry, 1976. Prediction of Creatinine Clearance from Serum Creatinine. *Nephron*. 1976. Vol. 16, n° 1, pp. 31-41. DOI 10.1159/000180580.
- COLLIARD, L, DESFONTIS, J-C, MEDAILLE, C et PECHEREAU, D, 2007. L'insuffisance rénale chronique en questions. *Le Point Vétérinaire* n° 275. 2007.
- COLTHERD, Jennifer C., STAUNTON, Ruth, COLYER, Alison, THOMAS, Gâelle, GILHAM, Matthew, LOGAN, Darren W., BUTTERWICK, Richard et WATSON, Phillip, 2019. Not all forms of dietary phosphorus are equal: an evaluation of postprandial phosphorus concentrations in the plasma of the cat. *British Journal of Nutrition*. 14 février 2019. Vol. 121, n° 3, pp. 270-284. DOI 10.1017/S0007114518003379.
- CORTADELLAS, O., FERNÁNDEZ DEL PALACIO, M.J., TALAVERA, J. et BAYÓN, A., 2010. Calcium and Phosphorus Homeostasis in Dogs with Spontaneous Chronic Kidney Disease at Different Stages of Severity. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. janvier 2010. Vol. 24, n° 1, pp. 73-79. DOI 10.1111/j.1939-1676.2009.0415.x.
- COTARD, Jean-Pierre, 1993. *Néphrologie Et Urologie Du Chien Et Du Chat*. . 1993.
- COTARD, Jean-Pierre, 2002. *Vade-mecum d'uro-néphrologie Vétérinaire*. Paris : Med'com.

- CUVELIER, C, DOTREPPE, O et ISTASSE, L, 2003. Vitamine E : état des connaissances chez les carnivores domestiques. Métabolisme, besoins et apports. In : . pp. 367-382. Méd. Vet.
- DE BRITO GALVAO, Joao F., NAGODE, Larry A., SCHENCK, Patricia A. et CHEW, Dennis J., 2013. Calcitriol, calcidiol, parathyroid hormone, and fibroblast growth factor-23 interactions in chronic kidney disease. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*. 2013. Vol. 23, n° 2, pp. 134-162. DOI 10.1111/vec.12036.
- DIBARTOLA, S. P., BUFFINGTON, C. A., CHEW, D. J., MCLOUGHLIN, M. A. et SPARKS, R. A., 1993. Development of chronic renal disease in cats fed a commercial diet. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1 mars 1993. Vol. 202, n° 5, pp. 744-751.
- DIBARTOLA, S. P., RUTGERS, H. C., ZACK, P. M. et TARR, M. J., 1987. Clinicopathologic findings associated with chronic renal disease in cats: 74 cases (1973-1984). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1 mai 1987. Vol. 190, n° 9, pp. 1196-1202.
- DOBENECKER, Britta, KIENZLE, Ellen et SIEDLER, Stephanie, 2021. The Source Matters—Effects of High Phosphate Intake from Eight Different Sources in Dogs. *Animals*. 2021. Vol. 11, n° 12, pp. 3456. DOI 10.3390/ani11123456.
- DOBENECKER, Britta, REESE, Sven et HERBST, Sarah, 2021. Effects of dietary phosphates from organic and inorganic sources on parameters of phosphorus homeostasis in healthy adult dogs. *PLOS ONE*. 2021. Vol. 16, n° 2, pp. e0246950. DOI 10.1371/journal.pone.0246950.
- DOBENECKER, Britta, WEBEL, Anna, REESE, Sven et KIENZLE, Ellen, 2018. Effect of a high phosphorus diet on indicators of renal health in cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2018. Vol. 20, n° 4, pp. 339-343. DOI 10.1177/1098612X17710589.
- EPHRAIM, Eden et JEWELL, Dennis E., 2023. Betaine and Soluble Fiber Improve Body Composition and Plasma Metabolites in Cats with Chronic Kidney Disease. *Frontiers in Bioscience-Elite*. 4 avril 2023. Vol. 15, n° 2, pp. 8. DOI 10.31083/j.fbe1502008.
- EVANS, H.E, HERMANSON, J.W et DE LAHUNTA, A, 2020. *Miller and Evan's anatomy of the dog*. 5th.
- FARR, L. E. et SMADEL, J. E., 1939. THE EFFECT OF DIETARY PROTEIN ON THE COURSE OF NEPHROTOXIC NEPHRITIS IN RATS. *The Journal of Experimental Medicine*. 30 novembre 1939. Vol. 70, n° 6, pp. 615-627. DOI 10.1084/jem.70.6.615.
- FINCH, N.c., SYME, H.m. et ELLIOTT, J., 2016. Risk Factors for Development of Chronic Kidney Disease in Cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2016. Vol. 30, n° 2, pp. 602-610.
- FINCO, D. R., BROWN, S. A., BROWN, C. A., CROWELL, W. A., SUNVOLD, G. et COOPER, T. L., 1998. Protein and calorie effects on progression of induced chronic renal failure in cats. *American Journal of Veterinary Research*. mai 1998. Vol. 59, n° 5, pp. 575-582.
- FINCO, D. R., BROWN, S. A., CROWELL, W. A., DUNCAN, R. J., BARSANTI, J. A. et BENNETT, S. E., 1992. Effects of dietary phosphorus and protein in dogs with chronic renal failure. *American Journal of Veterinary Research*. décembre 1992. Vol. 53, n° 12, pp. 2264-2271.
- FONTAINE, Edith, 2001. *Diététique palliative de l'insuffisance rénale chronique chez les carnivores domestiques (étude bibliographique)*. Thèse Vétérinaire. ENVT.
- FONTAINE-VERDIER, E et PRIYMENKO, Nathalie, 2003. Physiopathologie de l'insuffisance rénale chronique chez les carnivores domestiques : les différentes théories. . 2003.

FORRESTER, S. Dru, ADAM, Larry G. et TIMOTHY, A. Allen, 2010. Small animal clinical nutrition. In : *Small animal clinical nutrition*. 5th. Mark Morris Institute.

GALLE, Jan et SEIBOLD, Stefan, 2003. Has the time come to use antioxidant therapy in uraemic patients? *Nephrology Dialysis Transplantation*. 1 août 2003. Vol. 18, n° 8, pp. 1452-1455. DOI 10.1093/ndt/gfg212.

GALLER, A., TRAN, J. L., KRAMMER-LUKAS, S., HÖLLER, U., THALHAMMER, J. G., ZENTEK, J. et WILLMANN, M., 2012. Blood vitamin levels in dogs with chronic kidney disease. *The Veterinary Journal*. 1 mai 2012. Vol. 192, n° 2, pp. 226-231. DOI 10.1016/j.tvjl.2011.06.026.

GARCIA, Lucille, 2024. *Elaboration d'un jeu sérieux à but pédagogique pour l'apprentissage vétérinaire de la nutrition du chat, à destination des élèves de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse*.

GRECO, Deborah S., LEES, George E., DZENDZEL, Gerald S., KOMKOV, Andrea et CARTER, Alice B., 1994. Effect of dietary sodium intake on glomerular filtration rate in partially nephrectomized dogs. . 1 janvier 1994. DOI 10.2460/ajvr.1994.55.01.152.

GROVES, Ellie, 2020. Dietary management of the cat with early chronic kidney disease. *Companion Animal*. 2 juillet 2020. Vol. 25, n° 6, pp. 168-174. DOI 10.12968/coan.2020.0013b.

HALL, Jean A., 2016. Serum concentrations of symmetric dimethylarginine and creatinine in dogs with naturally occurring chronic kidney disease. . J. Vet. Intern. Med. 2016.

HALL, Jean A., JACKSON, Matthew I., JEWELL, Dennis E. et EPHRAIM, Eden, 2020. Chronic kidney disease in cats alters response of the plasma metabolome and fecal microbiome to dietary fiber. *PLOS ONE*. 2 juillet 2020. Vol. 15, n° 7, pp. e0235480. DOI 10.1371/journal.pone.0235480.

HÉBERT, Fabrice, 2004. *Guide pratique d'uro-néphrologie vétérinaire*. Paris : Éd. Med'com. [Guide pratique]. ISBN 978-2-914738-28-6.  
S.07.04-HEB-G

HERNANDEZ, Juan, 2018. Quel traitement lors de maladie rénale chronique féline ? La Semaine Vétérinaire n° 1765. . 2018.

HOSTUTLER, Roger A., DIBARTOLA, Stephen P., CHEW, Dennis J., NAGODE, Larry A., SCHENCK, Patricia A., RAJALA-SCHULTZ, Päivi J. et DROST, W. Tod, 2006. Comparison of the Effects of Daily and Intermittent-Dose Calcitriol on Serum Parathyroid Hormone and Ionized Calcium Concentrations in Normal Cats and Cats with Chronic Renal Failure. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2006. Vol. 20, n° 6, pp. 1307-1313. DOI 10.1111/j.1939-1676.2006.tb00743.x.

HOWARD, M.D, KERLEY, M.S, SUNVOLD, G.D et REINHART, J.A, 2000. Source of dietary fiber fed to dogs affects nitrogen and energy metabolism and intestinal microflora populations. *Nutrition Research*. 2000. Vol. 20, n° 10, pp. 1473-1484. DOI 10.1016/S0271-5317(00)80028-7.

IDEXX LABORATORIES, 2017. Use of the IDEXX SDMA Test to assess kidney function in puppies and kittens. *SDMA reference interval update*. 2017.

INOUE, Mai et SUGIURA, Katsuaki, 2022. Analysis of Life Expectancy and Causes of Death of Dogs and Cats in Japan Based on Veterinary Medical Record Data. *Journal of the Japan Veterinary Medical Association*. 2022. Vol. 75, n° 6. DOI 10.12935/jvma.75.e128.

INTERNATIONAL RENAL INTEREST SOCIETY, 2023a. IRIS staging of CKD. . 2023.

INTERNATIONAL RENAL INTEREST SOCIETY, 2023b. Treatment recommendations for CKD in dogs. . 2023.

INTERNATIONAL RENAL INTEREST SOCIETY, 2023c. Treatment recommendations for CKD in cats. . 2023.

KAWARASAKI, Masataka, CHIBA, Yosuke, KAMATA, Akira, HASHIMOTO, Tomoaki et SHIRAHAMA, Yoichiro, 2021. *Renal function maintenance and protection agent, and method for evaluating effect thereof*. Brevet déposé le 19 juillet 2019 et publié le 2021. United States US20210275486A1. US17254256

KING, Jonathan N., TASKER, Séverine, GUNN-MOORE, Danielle A. et STREHLAU, Günther, 2007. Prognostic Factors in Cats with Chronic Kidney Disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2007. Vol. 21, n° 5, pp. 906-916. DOI 10.1111/j.1939-1676.2007.tb03042.x.

KIRK, Claudia A. et HICKMAN, MA, 2000. Dietary protein requirement of cats with spontaneous renal disease. [en ligne]. 2000. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1939-1676.2000.tb01174.x> [Consulté le 16 avril 2024].

KOBAYASHI, Saori, KAWARASAKI, Masataka, AONO, Ayami, CHO, Junko, HASHIMOTO, Tomoaki et SATO, Reeko, 2022. Renoprotective effects of docosahexaenoic acid in cats with early chronic kidney disease due to polycystic kidney disease: a pilot study. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 1 décembre 2022. Vol. 24, n° 12, pp. e505-e512. DOI 10.1177/1098612X221136815.

KOEPPEN, B.M et STANTON, B. A, 2007. *Renal physiology*. The Mosby Physiology Monograph Series.

KRITIKOS, Georgia, PARR, Jacqueline M. et VERBRUGGHE, Adronie, 2017. The Role of Thiamine and Effects of Deficiency in Dogs and Cats. *Veterinary Sciences*. décembre 2017. Vol. 4, n° 4, pp. 59. DOI 10.3390/vetsci4040059.

LAFLAMME, Dottie, BACKUS, Robert, BROWN, Scott, BUTTERWICK, Richard, CZARNECKI-MAULDEN, Gail, ELLIOTT, Jonathan, FASCETTI, Andrea et POLZIN, David, 2020. A review of phosphorus homeostasis and the impact of different types and amounts of dietary phosphate on metabolism and renal health in cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2020. Vol. 34, n° 6, pp. 2187-2196. DOI 10.1111/jvim.15961.

LAVABRE, T et TRUMEL, C, 2019. Le rapport protéines sur créatinine urinaires (RPCU). *Le Point Vétérinaire n°400* [en ligne]. 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article-rural/n-400/etape-7-le-rapport-proteines-sur-creatinine-urinaires-rpcu.html?rememberme=1> [Consulté le 5 juin 2024].

LAVOUE, Rachel, 2024. Cours de médecine interne d'uro-néphrologie aux élèves de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse. . 2024.

LEBLANC, Casey, BAUER, John, HOSGOOD, Giselle et MAULDIN, Glenna, 2005. Effect of dietary fish oil and vitamin E supplementation on hematologic and serum biochemical analytes and oxidative status in young dogs. *Veterinary therapeutics : research in applied veterinary medicine*. 1 février 2005. Vol. 6, pp. 325-40.

LEFEBVRE, H, 2024. *Physiologie rénale*. Cours de physiologie aux élèves de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse.

LEFEBVRE, Hervé-Pierre, BRAUN, J. P. et WATSON, David, 2005. Évaluation du débit de filtration glomérulaire chez le chien. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*. 2005. Vol. 158, n° 3, pp. 283-288. DOI 10.4267/2042/47778.

- LEFEBVRE, Sebastien, 2020. *Bases de la nutrition du chien et du chat*. France.
- LEMIEUX, G., LEMIEUX, C., DUPLESSIS, S. et BERKOFKY, J., 1990. Metabolic characteristics of cat kidney: failure to adapt to metabolic acidosis. *The American Journal of Physiology*. août 1990. Vol. 259, n° 2 Pt 2, pp. R277-281. DOI 10.1152/ajpregu.1990.259.2.R277.
- LENOX, C.e., 2016. Role of dietary acids in dogs and cats. *Today's Veterinary Practice*. octobre 2016.
- LOCATELLI, Francesco, CANAUD, Bernard, ECKARDT, Kai-Uwe, STENVINKEL, Peter, WANNER, Christoph et ZOCCALI, Carmine, 2003. Oxidative stress in end-stage renal disease: an emerging threat to patient outcome. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 1 juillet 2003. Vol. 18, n° 7, pp. 1272-1280. DOI 10.1093/ndt/gfg074.
- LOTE, C. J. et HAYLOR, J., 1989. Eicosanoids in renal function. *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids*. juin 1989. Vol. 36, n° 4, pp. 203-217. DOI 10.1016/0952-3278(89)90134-8.
- LUND, Elizabeth, ARMSTRONG, Jane, KIRK, Claudia, KOLAR, Linda et KLAUSNER, Jeffrey, 1999. Health status and population characteristics of dogs and cats examined at private veterinary practices in the United States. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1999. Vol. 214, pp. 1336-41. DOI 10.2460/javma.1999.214.09.1336.
- MICHEL, Jean-Baptiste, 2004. Système rénine-angiotensine et remodelage vasculaire. *médecine/sciences*. 1 avril 2004. Vol. 20, n° 4, pp. 409-413. DOI 10.1051/medsci/2004204409.
- MILLER, Gregory D. et ANDERSON, John J.B., 1999. The Role of Calcium In Prevention of Chronic Diseases. *Journal of the American College of Nutrition*. 1 octobre 1999. Vol. 18, n° sup5, pp. 371S-372S. DOI 10.1080/07315724.1999.10718900.
- MOGICATO, G, 2024. *L'appareil urinaire des Mammifères domestiques*. Cours d'anatomie aux élèves de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse.
- MORENO, Adam A., PARKER, Valerie J., WINSTON, Jenessa A. et RUDINSKY, Adam J., 2022. Dietary fiber aids in the management of canine and feline gastrointestinal disease. [en ligne]. 1 décembre 2022. DOI 10.2460/javma.22.08.0351. [Consulté le 22 août 2024].
- NABITY, M.B., LEES, G.E., BOGGESE, M.M., YERRAMILI, M., OBARE, E., YERRAMILI, M., RAKITIN, A., AGUIAR, J. et RELFORD, R., 2015. Symmetric Dimethylarginine Assay Validation, Stability, and Evaluation as a Marker for the Early Detection of Chronic Kidney Disease in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2015. Vol. 29, n° 4, pp. 1036-1044.
- NELSON, Richard. W. et GUILLERMO COUTO, C., 2014. *Small animal internal medicine*. 5th.
- NEWBURG, L. H., 1919. THE PRODUCTION OF BRIGHT'S DISEASE BY FEEDING HIGH PROTEIN DIETS. *Archives of Internal Medicine*. 1 octobre 1919. Vol. 24, n° 4, pp. 359-377. DOI 10.1001/archinte.1919.00090270003001.
- NRC, 2006. *Nutrient Requirements of Dogs and Cats*. National Academies Press. ISBN 978-0-309-08628-8.
- Nutritional Management of Renal Disease: An Evidence-Based Approach, 2014. *Today's Veterinary Practice* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://todaysveterinarypractice.com/nutrition/nutritional-management-of-renal-disease-an-evidence-based-approach/> [Consulté le 13 octobre 2023]. Successful treatment of CKD in dogs and cats involves a multimodal approach, including implementation



of veterinary therapeutic renal diets.

O'NEIL, 2013. Chronic Kidney Disease in Dogs in UK Veterinary Practices: Prevalence, Risk Factors, and Survival. *Journal of Veterinary Internal Medicine* [en ligne]. 2013. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jvim.12090> [Consulté le 26 septembre 2023].

PARK, Jean Soon, MATHISON, Bridget D., HAYEK, Michael G., MASSIMINO, Stefan, REINHART, Gregory A. et CHEW, Boon P., 2011. Astaxanthin stimulates cell-mediated and humoral immune responses in cats. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 15 décembre 2011. Vol. 144, n° 3, pp. 455-461. DOI 10.1016/j.vetimm.2011.08.019.

PARKER, 2017. Association of Vitamin D Metabolites with Parathyroid Hormone, Fibroblast Growth Factor-23, Calcium, and Phosphorus in Dogs with Various Stages of Chronic Kidney Disease. [en ligne]. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2017. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jvim.14653> [Consulté le 4 juin 2024].

PARKER, Valerie J., 2021. Nutritional Management for Dogs and Cats with Chronic Kidney Disease. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 1 mai 2021. Vol. 51, n° 3, pp. 685-710. DOI 10.1016/j.cvsm.2021.01.007.

PELANDER, Lena, HÄGGSTRÖM, Jens, LARSSON, Anders, SYME, Harriet, ELLIOTT, Jonathan, HEIENE, Reidun et LJUNGVALL, Ingrid, 2019. Comparison of the diagnostic value of symmetric dimethylarginine, cystatin C, and creatinine for detection of decreased glomerular filtration rate in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2019. Vol. 33, n° 2, pp. 630-639.

PÉPION, Cédric, 2007. Troubles de l'hémostase et insuffisance rénale. In : JACOB, Laurent (éd.), *L'insuffisance rénale aiguë* [en ligne]. Paris : Springer Paris. pp. 265-270. Le point sur .... ISBN 978-2-287-71151-0. [Consulté le 5 juin 2024].

PHILLIPS, S. L. et POLZIN, D. J., 1998. Clinical disorders of potassium homeostasis. Hyperkalemia and hypokalemia. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*. mai 1998. Vol. 28, n° 3, pp. 545-564. DOI 10.1016/s0195-5616(98)50055-1.

PLUMB, Donald C., 2008. *Plumb's Veterinary Drug Handbook*. 6th Edition. Blackwell Publishing.

POLZIN, D. J., OSBORNE, C. A., ADAMS, L. D. et O'BRIEN, T. D., 1989. Dietary management of canine and feline chronic renal failure. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*. 1989. Vol. 19, n° 3, pp. 539-560. DOI 10.1016/s0195-5616(89)50060-3.

POLZIN, David J., 2011. Chronic Kidney Disease in Small Animals. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*. 1 janvier 2011. Vol. 41, n° 1, pp. 15-30. DOI 10.1016/j.cvsm.2010.09.004.

POLZIN, David J., 2013. Evidence-based step-wise approach to managing chronic kidney disease in dogs and cats. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*. 2013. Vol. 23, n° 2, pp. 205-215. DOI 10.1111/vec.12034.

PONGS, O., 1992. Molecular biology of voltage-dependent potassium channels. *Physiological Reviews*. octobre 1992. Vol. 72, n° suppl\_4, pp. S69-S88. DOI 10.1152/physrev.1992.72.suppl\_4.S69.

RITZ, Eberhard, KOLEGANOVA, Nadezda et PIECHA, Grzegorz, 2009. Role of Sodium Intake in the Progression of Chronic Kidney Disease. *Journal of Renal Nutrition*. 1 janvier 2009. Vol. 19, n° 1, pp. 61-62. DOI 10.1053/j.jrn.2008.10.007.

- ROBERTSON, John L., GOLDSCHMIDT, Michael, KRONFELD, David S., TOMASZEWSKI, John E., HILL, Gary S. et BOVEE, Kenneth C., 1986. Long-term renal responses to high dietary protein in dogs with 75% nephrectomy. *Kidney International*. 1 février 1986. Vol. 29, n° 2, pp. 511-519. DOI 10.1038/ki.1986.29.
- SARGENT, H. J., ELLIOTT, J. et JEPSON, R. E., 2021. The new age of renal biomarkers: does SDMA solve all of our problems? *Journal of Small Animal Practice*. 2021. Vol. 62, n° 2, pp. 71-81. DOI 10.1111/jsap.13236.
- SCHERK, Margie, 2023. *MEETING THE NUTRITIONAL NEEDS OF SENIOR CATS*. DVM. Canada.
- SEGEV, G., FASCETTI, A.j., WEETH, L.p. et COWGILL, L.d., 2010. Correction of Hyperkalemia in Dogs with Chronic Kidney Disease Consuming Commercial Renal Therapeutic Diets by a Potassium-Reduced Home-Prepared Diet. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2010. Vol. 24, n° 3, pp. 546-550. DOI 10.1111/j.1939-1676.2010.0488.x.
- SEGEV, Gilad, 2011. Outcome prediction of acute kidney injury in dogs and cats. *Israel Journal of Veterinary Medicine*. 2011.
- SIEBERG, Liberty G et QUIMBY, Jessica M, 2020. Retrospective study of the efficacy of oral potassium supplementation in cats with kidney disease. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 1 juin 2020. Vol. 22, n° 6, pp. 539-543. DOI 10.1177/1098612X19862084.
- TRUMEL, Cathy, 2022. Exploration du métabolisme phospho-calcique. *Cours de physiologie aux élèves de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse*. 2022.
- WERNIMONT, Susan M., RADOSEVICH, Jennifer, JACKSON, Matthew I., EPHRAIM, Eden, BADRI, Dayakar V., MACLEAY, Jennifer M., JEWELL, Dennis E. et SUCHODOLSKI, Jan S., 2020. The Effects of Nutrition on the Gastrointestinal Microbiome of Cats and Dogs: Impact on Health and Disease. *Frontiers in Microbiology* [en ligne]. 25 juin 2020. Vol. 11. DOI 10.3389/fmicb.2020.01266. [Consulté le 23 avril 2024].
- WHITE, Jd, NORRIS, Jm, BARAL, Rm et MALIK, R., 2006. Naturally-occurring chronic renal disease in Australian cats: a prospective study of 184 cases. *Australian Veterinary Journal*. 2006. Vol. 84, n° 6, pp. 188-194. DOI 10.1111/j.1751-0813.2006.tb12796.x.
- WORWAG, Stefanie et LANGSTON, Cathy E., 2008. Acute intrinsic renal failure in cats: 32 cases (1997–2004). [en ligne]. 1 mars 2008. DOI 10.2460/javma.232.5.728. [Consulté le 2 juillet 2024].
- XU, Hui, LAFLAMME, Dorothy P. L. et LONG, Grace L., 2009. Effects of dietary sodium chloride on health parameters in mature cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2009. Vol. 11, n° 6, pp. 435-441. DOI 10.1016/j.jfms.2008.10.001.
- ZWILLER, Z, 2023. *Elaboration d'un jeu sérieux à but pédagogique pour l'apprentissage vétérinaire de la nutrition du chien en conditions physiologiques, à destination des élèves de Toulouse*. Thèse Vétérinaire. ENVT.

## Annexes

Annexe 1 : jeu sérieux - Papichat, chat âgé, amaigri et modérément amyotrophié, stade IRIS 3 non protéinurique

### Scénario 1 : analyse de ration et proposition de ration ménagère

#### **PARTIE 1 : ANALYSE DE LA RATION ACTUELLE**

[Décor n°1]

##### Message introductif

« Durant toute la durée du scénario, tu peux cliquer sur la barre espace pour accélérer les dialogues. Si tu te trompes plus de trois fois sur une valeur, la correction sera automatiquement affichée et tu pourras passer à la suite de l'exercice. Durant le scénario, certains documents vont apparaître. Ils resteront à ta disposition durant tout le scénario dans ton inventaire. Tu peux cliquer sur le bouton pause pour stopper le jeu et sur l'icône de petite valise pour ouvrir ton inventaire. Une barre de progression matérialisant ton avancée dans le scénario se trouve en haut de l'écran. »

##### Introduction du scénario

Dialogue entre la vétérinaire et le propriétaire :

- Bonjour Mr Herman. Qu'est-ce qui vous amène aujourd'hui ?
- Bonjour Docteur. Je viens vous voir car l'alimentation de mon chat Papichat ne semble pas lui convenir.
- Qu'est-ce qui vous fait dire ça ?
- C'est un chat européen mâle stérilisé, il ne pèse que 3 kilos et je le trouve maigre. Mon ancien vétérinaire m'a recommandé une ration ménagère mais il maigrit avec cette alimentation. Pourtant je respecte à la lettre ce qu'il m'a recommandé !
- Très bien nous allons reprendre ensemble cette ration. Pouvez-vous m'en dire plus sur l'état de santé de Papichat ?

Message : « Dossier médical de Papichat

Chat européen mâle stérilisé de 15 ans.

Il vit en intérieur et préfère s'affaler sur le canapé que de faire des séances de crossfit.

Il souffre d'une MRC stade IRIS 3 et est non protéinurique.

Il pèse 3kg (NEC 3/9), il est modérément amyotrophié (3/4). Papichat a perdu 500g en 1 mois.

Ration quotidienne actuelle :

- 100g de poulet cru
- 20g de courgettes cuites
- 20g de riz blanc cuit
- 1 comprimé de 1g de Pet phos CA/P= 1,3 »

A l'apprenant : « Nous allons essayer de comprendre pourquoi Papichat perd du poids. Calculons pour cela son besoin énergétique que nous allons comparer à l'apport énergétique fourni par sa ration. »

### Calcul du besoin énergétique théorique

**Bloc formulaire** : Quelle est la valeur du besoin énergétique théorique de Papichat en kcal/j ?

**Bloc condition** :  $BE_{th} \leq 236$  and  $BE_{th} \geq 235$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du  $BE_{th}$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée :

- Aide : Pour calculer le besoin énergétique théorique d'un chat, on utilise la formule  $BE_{th} = 100 \times Pi^{0.67}$ .

Or ici Papichat est trop maigre, il faut donc d'abord calculer son poids idéal.

Le joueur a le choix de retenter le calcul du  $BE_{th}$  seul ou d'avoir de l'aide pour le calcul du  $Pi$ .

- Aide : Pour calculer le poids idéal d'un chat, on utilise la formule  $Pi = PV \times [1 - (NEC - NEC_{réf})/10]$ .

**Bloc formulaire** : Calcul de la valeur de  $Pi$

**Bloc condition** :  $Pi = 3.6$  (+5 points)

Sinon (-2 points)

En cas de mauvaise réponse le message :

« Je vais t'aider un peu :  $Pi = 3 \times [1 - (3 - 5)/10] = 3.6$  » apparaît.

Le joueur peut alors retenter le calcul du  $BE_{th}$  mais via un autre formulaire qui ne lui proposera pas de calculer le  $Pi$  en cas de mauvaise réponse, mais lui apportera seulement de l'aide ou la solution au calcul du  $BE_{th}$  s'il se trompe plus de deux fois.

- Solution : Ce calcul du  $BE_{th}$  a l'air de te poser problème. Je vais te donner la réponse pour que tu ne restes pas bloqué :

$BE_{th} = 100 \times 3.6^{0.67} = 235.9$  kcal/j.

Continuons nos calculs avec cette valeur !

**Bloc progression** : 10%

A l'apprenant : « Très bien, nous savons maintenant quel est le besoin énergétique de Papichat.

A présent, calculons l'énergie apportée par sa ration pour évaluer son déficit énergétique. »

Message « Voici les informations dont tu as besoin concernant les constituants de sa ration, elles sont accessibles à tout moment dans ton inventaire. »

Bloc ouvrir inventaire puis modifier inventaire :

Nom	NRJ (kcal/100g)	PB (%)	Ca (%)	P (%)
Riz blanc cuit	115	2,5	0,01	0,08
Courgettes cuites	15,5	0,93	0,019	0,065
Poulet, cuisse, sans peau	114	19,3	0,0103	0,173

→ le document « Composition de la ration ménagère de Papichat » est rendu visible pour le reste de la scène

#### Calcul de l'apport énergétique de la ration

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport énergétique de la ration de Papichat en kcal/j ?

**Bloc condition** :  $AE \geq 140$  and  $AE \leq 141$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'AE entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour calculer l'apport, il faut que tu sommes les apports énergétiques de chaque aliment de la ration : le poulet, le riz et les courgettes. Souviens-toi que l'apport énergétique  $AE = EM \times \text{quantité de l'aliment dans la ration}$
- Solution : Ne reste pas bloqué. La valeur de l'AE de la ration est :  
 $EM_{px}Q_{ttép} + EM_{cx}Q_{ttéc} + EM_{rx}Q_{ttér}$   
 $= 114 \times 1 + 15.5 \times 0.2 + 115 \times 0.2 = 140,1 \text{ kcal/j}$   
Continuons notre analyse avec cette valeur !

**Bloc progression** : 15%

#### Calcul du déficit énergétique

A l'apprenant : « Nous allons maintenant pouvoir déterminer le déficit énergétique de Papichat, sachant qu'il a perdu 500g en 30 jours. »

**Bloc formulaire** : Quel est le déficit énergétique quotidien de Papichat en kcal/j ?

**Bloc condition** :  $DE \geq 130$  and  $DE \leq 135$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du DE entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour obtenir le DE, il te faut calculer d'une part la variation de poids de Papichat que tu vas exprimer en kcal et ensuite regarder la durée sur laquelle a eu lieu cette perte de poids.  
Rappel : 1 kg = 8000 kcal

Il est proposé au joueur de retenter le calcul du DE ou d'avoir une deuxième aide avant de réessayer de faire le calcul.

- Aide : On sait que Papichat a perdu 500g en 30 jours et que 1000g représentent 8000 kcal. Donc ta variation énergétique quotidienne est égale à :  
 $DE = (\text{variation de poids} \times 8000) / \text{durée perte de poids}$   
N'oublie pas d'exprimer ta variation de poids en kg et ta durée en jours.
- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais te donner la réponse.  
 $DE = 133 \text{ kcal/j}$  (en prenant 1 mois = 30 jours)

A l'apprenant : « Maintenant on peut connaître le besoin réel de Papichat. »

#### Calcul du besoin énergétique réel

**Bloc formulaire** : Calcul du besoin réel de Papichat (en kcal/j) :

**Bloc condition** :  $BER \leq 275$  and  $BER \geq 270$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BER entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Puisque Papichat perd du poids avec cette ration, son besoin énergétique réel correspond à l'apport énergétique fournit par sa ration + le déficit énergétique à l'origine de sa perte de poids.
- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais t'aider.  
 $BER = AERation + DEquotidien = 140 + 133 = 273 \text{ kcal/j}$

A l'apprenant : « Ce besoin énergétique réel va permettre une stabilisation du poids de Papichat qui ne perdra plus de poids. Cependant il faut corriger l'apport énergétique pour que Papichat ne fasse pas que se stabiliser mais reprenne du poids pour atteindre son poids idéal. »

#### Calcul de l'apport énergétique corrigé de la ration

**Bloc formulaire** : Calcul de l'apport énergétique corrigé à fournir à Papichat (en kcal/j) :

**Bloc condition** :  $AEC \leq 302$  and  $AEC \geq 298$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'AE entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour faire grossir un animal trop maigre, on augmente dans un premier temps de 10% l'apport énergétique pour que la prise de poids soit progressive.

- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais t'aider.  
 $AEC = BER \times 1.1$  car on veut faire grossir Papichat mais progressivement  
 $= 273.1 \times 1.1 = 300,4 \text{ kcal/j}$

Bloc progression : 25%

Calcul du besoin, de l'apport et du déficit en calcium de la ration

A l'apprenant : « Nous avons mis en évidence que la ration ménagère actuelle de Papichat ne couvrirait pas ses besoins énergétiques mais ce n'est pas le seul paramètre à regarder. Intéressons-nous maintenant aux apports en calcium, en phosphore et en protéines de la ration. »

**Bloc Quizz** : Que sais-tu concernant les recommandations en calcium pour un animal atteint de MRC de stade avancé ?

- « On veut un apport en calcium de base de 1.2g/Mcal chez le chat adulte en conditions physiologiques » (-2 points)
- « On veut un apport en calcium de base de 1.6g/Mcal chez le chat adulte en conditions physiologiques » (+3 points)
- « On veut un ratio Ca/P compris entre 1.2 et 2 en cas de MRC » (+3 points)
- « On veut un ratio Ca/P compris entre 0.5 et 1.2 en cas de MRC » (-2 points)
- « On ne regarde pas le ratio Ca/P en cas de MRC de stade avancé, seuls les apports en Ca et en P isolés ont un intérêt » (-2 points)
- « Les besoins en calcium du chat peuvent être modifiés en cas de MRC » (+3 points)

**Bloc formulaire** : A présent, calcule le besoin en Ca de Papichat (en g/j) :

**Bloc condition** :  $BCa \leq 0.4$  and  $BCa \geq 0.3$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BCa entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Le besoin en calcium réel d'un animal dépend du besoin d'entretien et du besoin énergétique théorique selon la formule :  
 $BCa = BCa \text{ entretien} \times (BE_{th}/1000)$
- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais t'aider.  
 $BCa = BCa \text{ d'entretien} \times (BE_{théorique}/1000)$   
 Or on a dit que le besoin en Ca d'entretien d'un chat atteint de MRC restait identique à celui d'un chat sain à savoir 1.6g/Mcal donc  $BCa = 1.6 \times (236/1000) = 0.38 \text{ g/j}$

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en calcium de la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $ACa \geq 0.09$  and  $ACa \leq 0.11$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'ACa entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il faut que tu sommes les apports calciques de chaque aliment et que tu rajoutes celui de l'AMV. Pour les aliments de la ration, il faut procéder comme pour le calcul de l'apport énergétique en faisant la somme des produits de la quantité des aliments et de leur teneur en Ca. Pense à tout mettre en grammes.  
Pour l'AMV, on donne un comprimé de 1g contenant 9% de calcium.

- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué je vais t'expliquer la solution.  

$$\begin{aligned} \text{ACa} &= \text{ACap} + \text{ACac} + \text{ACar} + \text{ACaPetphos} \\ &= \% \text{CAp} \times \text{quantité poulet} + \% \text{CAC} \times \text{quantité courgettes} + \% \text{CAR} \times \text{quantité riz} + \\ &\quad \% \text{Caamv} \times \text{qtté AMV} \\ &= 0.0103 \times 1 + 0.019 \times 0.2 + 0.01 \times 0.2 + 9 \times 0.01 \\ &= 0.101 \text{g/j} \end{aligned}$$

A l'apprenant : « On dirait bien que la ration de Papichat est carencée en calcium... »

**Bloc formulaire :** A combien évalues-tu le déficit d'apport en calcium (en g/j) ?

**Bloc condition :**  $\text{DCa} \leq 0.3$  and  $\text{DCa} \geq 0.2$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

En cas d'erreur sur la valeur du Dca, la solution est directement affichée.

- Solution : « Le déficit est la différence entre le besoin en Ca de Papichat et la quantité de Ca apportée par sa ration soit 0.28 g/j. »

**Bloc progression :** 35%

Calcul du besoin, de l'apport et du déficit en phosphore de la ration

A l'apprenant : « Qu'en est-il du phosphore maintenant ? »

**Bloc Quizz :** Que sais-tu concernant les recommandations en phosphore pour un animal atteint de MRC de stade avancé ?

- « On veut un apport en phosphore de base de 1.2g/Mcal chez le chat adulte en conditions physiologiques » (+3 points)

- « On veut un apport en phosphore de base de 1.6g/Mcal chez le chat adulte en conditions physiologiques » (-2 points)

- « Il est primordial de réduire la teneur en phosphore dans la ration d'un animal atteint de MRC de stade avancé » (+3 points)

- « Il est primordial de réduire la teneur en phosphore dans la ration d'un animal atteint de MRC de stade débutant » (-2 points)

- « Les matières premières animales sont riches en phosphore en particulier les os » (+3 points)

- « Les matières premières végétales sont riches en phosphore en particulier les légumes verts » (-2 points)

- « Le phosphore issu de sources inorganiques est moins absorbé par l'organisme et a moins d'impact sur la phosphatémie que celui issu de sources organiques » (-2 points)

- « L'hyperphosphatémie peut entraîner une hyperparathyroïdie secondaire à l'origine d'une ostéofibrose rénale et/ou de la précipitation ectopique de calcium dans divers tissus de l'organisme » (+3 points)

A l'apprenant : « Le phosphore est un minéral essentiel pour le chat car il entre en jeu dans de nombreuses réactions métaboliques mais un excès de phosphore peut avoir des conséquences graves. Comme il est essentiellement éliminé par voie urinaire, on retrouve souvent une



hyperphosphatémie chez les animaux atteints de MRC de stade avancé. On cherche donc à réduire l'apport alimentaire en phosphore. »

« Le phosphore qui pose le plus problème est celui sous forme de phosphate inorganique qui n'est apporté que par l'AMV. Il ne faut pas dépasser 1g Pi/Mcal chez un chat atteint de MRC et dans l'idéal on veut même 0.5g Pi/Mcal. »

**Bloc formulaire** : Avant de s'intéresser au Pi, nous allons vérifier qu'il n'y a pas de phosphore en excès dans la ration de Papichat. Calculons pour cela le besoin en phosphore de Papichat (en g/j) :

**Bloc condition** :  $BPh \leq 0.3$  and  $BPh \geq 0.275$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BPh entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Le besoin en phosphore réel d'un animal dépend du besoin d'entretien et du besoin énergétique théorique selon la formule :  
 $BPh = BPh \text{ entretien} \times (BEth/1000)$
- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais t'aider.  
 $BPh = BPh \text{ d'entretien} \times (BEthéorique/1000)$   
Or on a dit que le besoin en Ph d'entretien d'un chat atteint de MRC restait identique à celui d'un chat sain à savoir 1.2g/Mcal donc  $BPh = 1.2 \times (236/1000) = 0.280 \text{ g/j}$

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en phosphore de la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $APh \leq 0.3$  and  $APh \geq 0.25$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'APh entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il faut que tu procèdes comme pour le calcium ! Fais la somme des produits de la quantité des aliments et de leur teneur en P. Pense à tout mettre en grammes.  
Pour l'AMV, on donne un comprimé de 1g contenant 7% de phosphore.
- Solution : Il faut que tu procèdes comme pour le calcium.  
 $A_{Ph} = A_{Php} + A_{Phc} + A_{Phr} + A_{PhPetphos}$   
 $= \%Php \times \text{quantité poulet} + \%Phc \times \text{quantité courgettes} + \%Phr \times \text{quantité riz} +$   
 $\%Phamv \times \text{qtté AMV}$   
 $= 0.173 \times 1 + 0.08 \times 0.2 + 0.065 \times 0.2 + 7 \times 0.01$   
 $= 0.272 \text{ g/j}$

A l'apprenant : « Il n'y a pas d'excès de phosphore dans la ration de Papichat mais un léger déficit qui ne pose pas problème puisque l'on veut plutôt restreindre le phosphore chez un chat atteint de MRC de stade avancé. On ne va pas chercher à réduire davantage l'apport en

phosphore alimentaire dans un premier temps mais nous allons vérifier qu'il n'y a pas trop de phosphore inorganique. »

**Bloc Vrai/Faux :** Il y a plus de 0.5g/Mcal de phosphore inorganique dans la ration de Papichat

Vrai (-2 points)

Faux (+3 points)

A l'apprenant : « La seule source de phosphore inorganique est l'AMV. Si on considère par excès que tout le P présent dans l'AMV est inorganique, on a 0.07g de Pi/140,1 kcal soit maximum 0.5g Pi/1000 kcal donc c'est sans risque pour Papichat, à condition que le rapport Ca/P de la ration soit correct. »

**Bloc formulaire :** Quelle est la valeur du rapport phospho-calcique de la ration ?

**Bloc condition :** CaP  $\leq$  0.39 and CaP  $\geq$  0.37 (+10 points)

Sinon (-3 points)

A l'apprenant : « Même si l'apport en phosphore est correct, le rapport phospho-calcique est de 0.38 ce qui beaucoup trop bas. C'est très mauvais pour Papichat ! »

**Bloc progression :** 45%

#### Calcul du besoin et de l'apport protéique

A l'apprenant : « Il nous reste une dernière chose à vérifier concernant la ration de Papichat, c'est la couverture des besoins protéiques. »

**Bloc Quizz :** Que sais-tu concernant les recommandations en protéines pour un animal atteint de MRC de stade avancé ?

- « Il faut absolument réduire la teneur en protéine de la ration chez un animal atteint de MRC même débutante pour protéger au maximum ses reins » (-2 points)

- « Le besoin en protéines d'un chat adulte en condition physiologique est de minimum 65g/Mcal » (+3 points)

- « Le besoin en protéines d'un chat adulte en condition physiologique est de minimum 90g/Mcal » (-2 points)

- « La restriction protéique pourrait être bénéfique en cas de protéinurie » (+3 points)

- « Les protéines sont une source mineure de phosphore » (-2 points)

- « La restriction protéique est à adapter en fonction de la clinique de l'animal, de sa masse musculaire et du suivi de son azotémie » (+3 points)

A l'apprenant : « Aucune étude n'a prouvé que réduire la quantité de protéines dans la ration d'un chat atteint de MRC limitait l'évolution de la maladie même si un excès pourrait entraîner une hausse de l'azotémie. En plus, les vieux chats métabolisent moins bien les protéines donc il leur faut une teneur correcte et des protéines de qualité.

Etant donné que Papichat est non protéinurique, nous allons dans un premier temps recommander une ration qui couvre son besoin protéique sans excédent et nous restreindrons davantage la teneur en protéines par la suite si nécessaire. »

**Bloc formulaire :** A présent, calcule le besoin en protéines de Papichat en (g/j) :

**Bloc condition :** BPB  $\leq$  16 and BPB  $\geq$  15 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BPB entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de

proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour calculer le besoin en protéines brutes de Papichat, il faut que tu utilises la formule suivante :

$$\text{BPB} = 65 \times \text{BEth}/1000 \text{ avec } 65 \text{ g/Mcal le besoin protéique minimal}$$

- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais t'aider.

$$\text{BPB} = 65 \times 236/1000 = 15.3 \text{ g/j}$$

A l'apprenant : « Calculons l'apport en protéines de la ration pour voir si le besoin de Papichat est correctement couvert. »

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en protéines brutes de la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $\text{APB} \leq 21$  and  $\text{APB} \geq 19$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'APB entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Procède comme pour le calcul des apports en Ca et P ! Il te suffit de faire la somme des produits de la quantité des aliments et de leur teneur en protéines. Pense à tout mettre en grammes.
- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué.  
 $\text{APB} = \text{APpoulet} + \text{APcourgettes} + \text{APriz}$   
 $= 19.3 \times 1 + 0.93 \times 0.2 + 2.5 \times 0.2 = 20 \text{ g/j}$

**Bloc progression** : 55%

### Conclusion

**Bloc Quizz** : Félicitations pour cette analyse des constituants de la ration de Papichat !

Finally, quelles remarques peux-tu faire concernant son alimentation actuelle ?

- « Les besoins en protéines de Papichat sont couverts mais on ne veut pas d'excédent de protéines or ici l'apport protéique de la ration est supérieur au besoin » (+3 points)
- « Le ratio Ca/P est trop bas » (+3 points)
- « Un AMV ne contenant pas ou très peu de phosphore serait préférable pour augmenter le ratio Ca/P » (+3 points)
- « Il faut ajouter de l'huile à cette ration pour couvrir le besoin en AG de Papichat » (+3 points)
- « Il peut être intéressant de choisir une viande plus énergétique que le poulet » (+3 points)
- « Il ne faut pas ajouter d'AMV à cette ration » (-2 points)
- « Papichat ne doit pas manger de ration ménagère mais obligatoirement une ration industrielle » (-2 points)
- « Le riz ne constitue pas une source de glucides intéressante » (-2 points)
- « Les courgettes cuites sont mal digérées par les chats : il vaut mieux donner des haricots verts à Papichat » (-2 points)
- « Avec un nom pareil c'est pas étonnant qu'il n'arrive pas à prendre de poids » (+3 points)

## **PARTIE 2 : PROPOSITION DE NOUVELLE RATION MENAGERE**

### Choix des constituants de la ration

La vétérinaire au propriétaire :

- Je vais vous proposer une nouvelle ration ménagère qui conviendra mieux à Papichat et lui permettra de reprendre du poids.

**Bloc appariement** : Nous allons commencer par choisir les matières premières qui constitueront la ration et définir leur quantité.

Pour cela peux-tu rappeler au propriétaire les apports énergétiques que doit couvrir chaque matière première ?

La source de protéine ⇔ Doit couvrir minimum 90% du besoin protéique

Les sources de matière grasses et de fibres ⇔ Doivent couvrir 2% à 10% du besoin énergétique théorique

La source de glucides ⇔ Doit permettre de couvrir le reste de l'AEC calculé plus tôt

Le complément minéral vitaminé ⇔ A un apport énergétique négligeable

Si tous les appariements sont bons (+ 3 points), sinon (-2 points)

A l'apprenant : « Commençons par choisir la source de protéines. Les animaux souffrant de MRC sont souvent maigres et mangent peu, il vaut donc mieux choisir une source de protéines à forte densité énergétique qui soit appétante. On ne veut pas d'os dans la ration pour limiter l'apport en phosphore. »

« Comme nous l'avons dit précédemment, nous allons couvrir le besoin protéique de Papichat sans le restreindre dans un premier temps mais nous ne voulons pas d'excès protéique. La source de protéines couvrira donc 90% du besoin protéique de Papichat. »

« Si cela te convient, on peut choisir du steak haché à 10% de MG, plus riche en énergie et en calcium mais pas beaucoup plus riche en phosphore que le poulet. »

« Pour les fibres, on peut rester sur les courgettes cuites que mangeaient Papichat. Penses-tu qu'il en faille beaucoup à Papichat ? »

**Bloc Vrai/Faux** : Il faut limiter les fibres fermentescibles dans l'alimentation des animaux atteints de MRC pour préserver leurs reins.

Vrai (-2 points) : message « Au contraire ! Il a été démontré que les fibres fermentescibles favorisent l'excrétion rénale des déchets azotés et elles sont riches en eau or l'hydratation est primordiale en cas de MRC »

Faux (+3 points) : message « En effet, il a été démontré que les fibres fermentescibles favorisent l'excrétion rénale des déchets azotés et elles sont riches en eau or l'hydratation est primordiale en cas de MRC »

A l'apprenant : « On peut donc choisir une quantité de courgettes qui couvrira par exemple 5% du BETH de Papichat. »

**Bloc QCM** : Maintenant concernant le choix de la source de matière grasse, quelle huile recommanderais-tu pour Papichat ?

- De l'huile de saumon (+3 points)
- De l'huile de colza (-2 points)
- De l'huile d'olive (-2 points)

Message suite au QCM : « Les régimes riches en acides gras saturés aggravent l'hyperlipidémie

souvent présente en cas de MRC alors que les régimes riches en acides gras insaturés (w3 et w6) ont l'effet inverse. La supplémentation en huile de saumon particulièrement riche en w3 paraît ici la plus indiquée. Il a été montré que l'huile de poisson limite l'étendue des lésions rénales. »

### Bloc progression : 65%

A l'apprenant : « Puisqu'il faut que la ration de Papichat soit riche en énergie, je te propose de couvrir 5% du BEth de Papichat avec l'huile de saumon. »

Echange entre la vétérinaire et le propriétaire :

- Il me semble que l'huile de saumon coûte cher Docteur et avec tous les frais médicaux déjà engendrés pour Papichat, je n'aurai qu'un budget limité à dédier à son alimentation...
- Pas de soucis je comprends tout à fait, nous allons plutôt utiliser de l'huile de lin dans la ration qui est moins chère mais reste une source intéressante d'oméga-3.

A l'apprenant : « Nous allons compléter le reste de l'apport énergétique avec du riz blanc. Je préfère donner les quantités au propriétaire en cru pour éviter les variations liées au mode de cuisson. »

« Bien sûr, nous avons fixé des valeurs de couverture du BEth ensemble mais tant que tu restes dans les intervalles de couverture dont nous avons parlé tout à l'heure, d'autres choix sont possibles ! Tu aurais par exemple très bien pu choisir que ta source de fibres et de MG couvrent chacune 3% du BEth. »

### Choix de l'Aliment Minéral Vitaminé

« Clique sur l'AMV que tu recommanderais pour Papichat : »

Bloc zones cliquables :



- Vit'i5 bleu (+10 points)
- Vit'i5 orange (-5 points)

Message suite au bloc : « En effet, le mieux est de choisir un AMV qui n'apporte quasiment que du calcium puisque l'on ne veut pas apporter trop de phosphore à Papichat. C'est le cas du viti5 bleu (qui n'apporte qu'1% de P). »

A l'apprenant : « A présent, calculons les quantités pour chaque aliment. Je te rappelle que nous avons calculé : BPB = 15.3 g/j et AEC= 300 kcal/j. Tu peux trouver la composition des différents constituants de la ration dans ton inventaire. »

Bloc modifier inventaire :



Nom	NRJ (kcal/100g)	PB (%)	Ca (%)	P (%)
Steak hâché 10%	171	20	0,012	0,184
Courgettes cuites	15,5	0,93	0,019	0,065
Riz blanc cru	350	7,4	0,033	0,118

→ les deux documents « AMV Papichat » et « Composition nouvelle ration ménagère » sont rendus visibles dans l'inventaire jusqu'à la fin de la scène

### Calcul de la quantité de boeuf

**Bloc formulaire** : Quelle quantité de boeuf faut-il distribuer à Papichat (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $Q_b \leq 70$  and  $Q_b \geq 65$  (+10 points)  
Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_b$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : On veut que le steak haché couvre 90% du BPB de Papichat sachant qu'il est constitué à 20% de PB.
- Solution : On veut calculer la quantité de bœuf à distribuer sachant qu'elle doit couvrir 90% du besoin protéique :  
Quantité prot =  $90\% \times \text{BPB} = 0.9 \times 15.3 = 13.8\text{g}$   
Quantité boeuf =  $(\text{Quantité prot} \times 100) / \% \text{PB bœuf} = (13.8 \times 100) / 20 = 69\text{g/j}$

A l'apprenant : « Il est bien sûr possible pour plus de facilité d'arrondir les quantités finales car le propriétaire préférera sans doute peser 70g que 69g. Sauf si c'est un fan de l'OL. »

Bloc progression : 75%

### Calcul de la quantité de courgettes

**Bloc formulaire** : Quelle quantité de courgettes faut-il distribuer à Papichat (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $Q_c \leq 78$  and  $Q_c \geq 75$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_c$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : On veut que les courgettes couvrent 5% du BEth de Papichat. Ensuite on procède comme pour le bœuf mais cette fois en se basant sur les valeurs énergétiques.
- Solution : On calcule la quantité de courgettes sachant qu'elles doivent couvrir 5% du BEth de Papichat soit un apport énergétique de  $0.05 \times 236 = 11.8$  kcal/j.  
Ensuite pour avoir la quantité de courgettes, on regarde l'apport énergétique fourni par les courgettes par rapport à leur densité énergétique :  
Quantité =  $(AEx100)/NRJ = (11.8 \times 100)/15,5 = 76$  g/j

### Calcul de la quantité d'huile

**Bloc formulaire** : Quelle quantité d'huile faut-il ajouter à la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $Q_h \leq 2$  and  $Q_h \geq 1$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_h$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : On veut que l'huile couvre 5% du BEth de Papichat. Ensuite on procède comme pour les courgettes.  
On rappelle que toutes les huiles apportent 9000kcal/kg
- Solution : Pas de panique, reprenons ensemble la solution. On calcule la quantité d'huile sachant qu'elle doit couvrir 5% du BEth de Papichat soit un apport énergétique de  $0.05 \times 235.9 = 11.8$  kcal/j.  
Ensuite pour avoir la quantité d'huile, on regarde l'apport énergétique fourni l'huile par rapport à sa densité énergétique :  
Quantité =  $(AEx100)/NRJ = (11.8 \times 100)/900 = 1.3$  g/j

**Bloc progression** : 85%

### Calcul de la quantité de riz

**Bloc formulaire** : Combien de riz cru faudra-t-il à Papichat ? (en g/j):

**Bloc condition** :  $Q_r \leq 50$  and  $Q_r \geq 40$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_r$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de

proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Le riz doit compléter l'apport énergétique nécessaire pour couvrir les besoins de Papichat liés à son entretien et sa prise de poids. Il te faut donc sommer tous les apports énergétiques liés aux autres aliments de la ration et regarder le nombre de kilocalories qu'il manque pour atteindre l'AEC de Papichat : cela correspond à l'apport énergétique que doit fournir le riz. Tu pourras ensuite calculer sa quantité sur le même modèle que pour l'huile et les courgettes.
- Solution : Voyons ce qui a pu te poser problème. On calcule l'apport énergétique qui doit être fourni par le riz en regardant ce qu'il manque à la ration pour combler le besoin énergétique de Papichat :  
 $AE_{\text{riz}} = BEC - AE_{\text{boeuf}} - AE_{\text{courgettes}} - AE_{\text{huile}} = 300.4 - 118 - 11.8 - 11.8 = 162.4 \text{ kcal/j}$   
Ensuite pour avoir la quantité de riz, on regarde l'apport énergétique fourni par le riz par rapport à sa densité énergétique :  
 $Quantité = (AE \times 100) / NRJ = (162.4 \times 100) / 350 = 46 \text{ g/j}$

Blog progression : 90%

Calcul de la quantité d'AMV

**Bloc formulaire** : Quelle est la quantité d'AMV nécessaire pour équilibrer la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $Q_{\text{amv}} \leq 3.6$  and  $Q_{\text{amv}} \geq 3.4$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_{\text{amv}}$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il faut que tu calcules la quantité de calcium apportée par chaque aliment de la ration pour en déduire l'apport global et le comparer au besoin de Papichat.  
La quantité d'AMV à distribuer sera ensuite :  $(\text{besoin en Ca} \times 100) / \%Ca$  dans l'AMV
- Solution : Reprenons ensemble la solution.  
Apport Ca boeuf = quantité boeuf x %Ca boeuf =  $0.69 \times 0.012 = 0.008 \text{ g/j}$   
Apport Ca courgettes =  $0.76 \times 0.019 = 0.0014 \text{ g/j}$   
Apport Ca huile =  $0 \text{ g/j}$   
Apport Ca riz =  $0.46 \times 0.033 = 0.015$   
Manque Ca = Besoin Ca - Apports Ca ration =  $0.377 - 0.195 = 0.353 \text{ g/j}$   
Quantité AMV =  $(0.353 \times 100) / 10 = 3.5 \text{ g/j}$

**Bloc QCM** : Que penses-tu de l'apport en phosphore de cette ration ?

- Il est correct ! (+3 points)

- Aïe, il y a trop de phosphore... (-2 points)

- Papichat va manquer de phosphore ! (-2 points)

Message suite au QCM : « En effet ! Ici, si tu sommes les apports en phosphore de tous les aliments et que tu prends en compte que l'AMV fournit tout de même 1% de phosphore, tu trouves un apport de  $0.270 \text{ g/j}$  qui n'excède pas le besoin recommandé. C'est inférieur au besoin



de Papichat mais ce n'est pas gênant vu qu'on cherche à restreindre l'apport en phosphore dans le cas d'animaux atteint de MRC. Le phosphore est ici majoritairement de source organique. Cette fois-ci on a Ca:P = 1.4 donc on est bon ! »

Blog progression : 95%

### Conclusion

**Bloc Quizz** : Quelles recommandations peux-tu faire au propriétaire concernant cette ration ménagère ?

- « Ne pas congeler le riz cuit car cela forme des cristaux non digestibles » (+3 points)
- « Il faut conserver l'AMV et l'huile à température ambiante » (+3 points)
- « Ne pas faire cuire l'huile et l'AMV » (+3 points)
- « Ajouter un peu de sel à la ration pour augmenter son appétence » (-2 points)
- « Quand on utilise de l'huile de poisson, il faut préférer des capsules pour éviter qu'elle ne s'oxyde » (+3 points)
- « Pocher la viande à minima pour éviter la transmission de salmonelles » (+3 points)
- « Faire un suivi des selles de Papichat » (+3 points)
- « Mixer l'ensemble de la ration pour proposer quelque chose d'homogène afin d'éviter que Papichat ne trie sa ration » (+3 points)
- « S'il n'a plus de courgettes, il vaut mieux les remplacer par des brocolis que pas des haricots » (-2 points)

Dialogue entre la vétérinaire et le propriétaire :

- La ration ménagère est une option, cependant cela reste contraignant en termes de coût, de durée de préparation et de conservation des aliments. Sachez qu'une alimentation industrielle peut aussi très bien convenir à Papichat, par exemple à base de croquettes. Si vous souhaitez que nous discutons d'une ration à base de croquettes ou de pâtée, n'hésitez pas à revenir me voir !
- Très bien Docteur, merci beaucoup !

\*Fin du scénario\*

Affichage du score :

★ : de 0 à 50 points, commentaire « *Ce n'était pas facile mais tu es arrivé au bout du scénario ! N'hésite pas à le refaire pour améliorer ton score !* »

★★ : de 51 à 120 points, commentaire « *Ce n'est pas mal du tout, n'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score !* »

★★★ : de 121 à 199 points, commentaire « *C'est bien ! N'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score ou bien à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★ : de 200 à 250 points, commentaire « *Super ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★★ : de 251 à 300 points, commentaire « *Ouah, tu es vraiment à l'aise en calcul de ration ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios !* »

Le jeu sérieux portant sur Papichat a été scindé en deux scénarios distincts pour éviter que le jeu ne soit trop long. L'apprenant peut ainsi cesser sa partie suite au premier scénario ou poursuivre sur le deuxième scénario.

## Scénario 2 : proposition de ration industrielle et suivi

### **PARTIE 1 : PROPOSITION DE RATION INDUSTRIELLE**

[Décor n°2]

#### Message introductif

« Durant toute la durée du scénario, tu peux cliquer sur la barre espace pour accélérer les dialogues. Si tu te trompes plus de trois fois sur une valeur, la correction sera automatiquement affichée et tu pourras passer à la suite de l'exercice. Durant le scénario, certains documents vont apparaître. Ils resteront à ta disposition durant tout le scénario dans ton inventaire. Tu peux cliquer sur le bouton pause pour stopper le jeu et sur l'icône de petite valise pour ouvrir ton inventaire. Une barre de progression matérialisant ton avancée dans le scénario se trouve en haut de l'écran. »

#### Introduction du scénario

Dialogue entre la vétérinaire et le propriétaire :

- Bonjour Docteur, je reviens vous voir car j'ai changé de travail et j'ai de moins en moins de temps libre pour cuisiner. J'aimerais donc bien que Papichat mange des croquettes. Vous m'aviez dit que le mieux était qu'il mange aussi de la pâtée mais j'ai regardé un peu les prix, ce n'est vraiment pas donné...
- Pas de problème. Nous allons commencer par proposer des croquettes à Papichat et nous verrons ensuite si sa prise de boisson suffit à se passer de pâtée. Il existe une multitude de gammes et de marques de croquettes, y compris au sein des gammes vétérinaires.

A l'apprenant : « Compare les RPC des trois types de croquettes suivantes et clique sur le type de croquettes qui te paraît le plus adapté pour Papichat :

## Bloc zones cliquables :

The screenshot shows a virtual veterinary clinic environment. In the background, a woman in a blue uniform and a man are visible. A dog is sitting on a table. Three data panels are overlaid on the scene:

Nutriments	Teneur / 100 g	Teneur / 1000 kcal
Energie métabolisable (kcal)	416	-
Protéines brutes (g)	23,0	55,3
Matières grasses brutes (g)	22,5	54,1
Glucides ENA (g)	38,2	91,8
Cellulose brute (g)	4,0	9,6
Calcium (g)	0,68	1,63
Phosphore (g)	0,39	0,94
Magnésium (g)	0,070	0,168
Sodium (g)	0,17	0,41
Potassium (g)	1,27	3,05
Cuivre (mg)	0,79	1,90
Taurine (g)	0,290	0,625
L-carnitine (mg)	8	17
Acides gras Oméga-3 (g)	2,00	4,81
EPA (g)	0,68	1,63
DHA (g)	0,87	2,09
Ratio n-3:n-6	1,2	-
Eau (g)	6,8	-

Analyses nutritionnelles	Sec*
Humidité	6,5%
Protéine	26%
Matières grasses	12%
- Acides gras oméga-6	1,36%
- Acides gras oméga-3	0,3%
Glucides	47%
Cellulose brute	3%
Calcium	0,7%
Phosphore	0,4%
Potassium	0,9%
Sodium	0,2%
Taurine	1 400 mg/kg
Vitamine E	560 UI/kg

CONSTITUANTS ANALYTIQUES	
Protéine	34.5%
Teneur en matières grasses	15.0%
Cendres brutes	8.9%
Cellulose brute	2.9%
Sodium	1.3%
Chlorure	2.26%
INGRÉDIENTS	
COMPOSITION : riz, gluten de blé*, protéines de volaille déshydratées, farine de maïs, graisses animales, hydrolysat de protéines animales, gluten de maïs, sels minéraux, fibres végétales, huile de poisson, huile de soja, fructo-oligo-saccharides, extrait de rose d'Inde (source de lutéine). ADDITIFS (au kg) : Additifs nutritionnels : Vitamine A : 21500 UI, Vitamine D3 : 800 UI, E1 (Fer) : 37 mg, E2 (Iode) : 3,7 mg, E4 (Cuivre) : 11 mg, E5 (Manganèse) : 48 mg, E6 (Zinc) : 136 mg, E8 (Sélénium) : 0,06 mg - Conservateurs - Antioxydants. CONSTITUANTS ANALYTIQUES : Protéine : 34,5 % - Matières grasses brutes : 15 % - Cendres brutes : 8,9 % - Cellulose brute : 2,9 % - Calcium : 0,9 % - Phosphore : 0,9 % - Sodium : 1,3 % - Chlorures : 2,26 % - Potassium : 1 % - Magnésium : 0,05 % - Soufre : 0,7 % - Taurine totale : 0,23 % *Substances acidifiant l'urine : Sulfate de calcium : 1,25 %, DL-méthionine : 0,39 % - EPA & DHA : 0,3 % *L.I.P. protéine sélectionnée pour sa très haute digestibilité.	

- Si l'apprenant clique sur les croquettes de gauche : (-5 points)
- Si l'apprenant clique sur les croquettes du centre : (+10 points)
- Si l'apprenant clique sur les croquettes de droite : (-5 points)

## Blog progression : 15%

Message suite au bloc : « Papichat a un kréel de 1.16 (pour l'obtenir, il faut diviser son BER par son BEth). On veut donc un aliment dont le RPC soit d'au minimum 65/1.16 soit 56g/Mcal. On a :

- un RPC de 55g/Mcal pour les premières croquettes ce qui est trop faible
- un RPC de 68g/Mcal pour les deuxièmes croquettes ce qui est correct
- un RPC de 89g/Mcal pour les dernières croquettes ce qui est trop élevé pour un chat atteint de MRC (on ne veut pas trop dépasser 65g/Mcal)

Le bon choix est donc le deuxième type de croquettes, qui appartient à une gamme rénale. »

« La composition des nouvelles croquettes choisies est disponible à tout moment dans ton inventaire. »

## Bloc modifier inventaire :

Analyses nutritionnelles	Sec*
Humidité	6,5%
Protéine	26%
Matières grasses	12%
- Acides gras oméga-6	1,36%
- Acides gras oméga-3	0,3%
Glucides	47%
Cellulose brute	3%
Calcium	0,7%
Phosphore	0,4%
Potassium	0,9%
Sodium	0,2%
Taurine	1 400 mg/kg
Vitamine E	560 UI/kg
Énergie métabolisable (EM)*	3,80 kcal/g

→ le document « Composition croquettes Papichat » est rendu visible dans l'inventaire jusqu'à la fin de la scène

#### Calcul de la quantité de croquettes

**Bloc formulaire :** On rappelle qu'il faut un apport énergétique de 300kcal/j à Papichat. Calculons la quantité de croquettes à distribuer (en g/j) :

**Bloc condition :**  $Q_{tté} \leq 80$  and  $Q_{tté} \geq 75$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de la  $Q_{tté}$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : La quantité à distribuer se calcule de la manière suivante :  
Quantité =  $(AEC \times 1000) / EM$
- Solution : Ce n'est pas très compliqué,  
Quantité à distribuer =  $(AEC \times 1000) / EM = (300 \times 1000) / 3800 = 79g/j$

A l'apprenant : « Cette quantité de croquettes à distribuer est à relativiser car un chat doit pouvoir se nourrir à volonté. »

**Bloc progression :** 30%

## Apports et besoins en minéraux

A l'apprenant : « Intéressons-nous maintenant aux minéraux de la ration. »

**Bloc Vrai/Faux** : L'apport en calcium de la ration couvre les besoins de Papichat

Vrai (+3 points)

Faux (-2 points)

Message suite au bloc : « L'apport en calcium de la ration est de 0.553g/j et le besoin en Ca de Papichat est de 0.377g/j. Rappel : Apports Ca = (%Ca x quantité croquettes)/100 »

**Bloc Vrai/Faux** : L'apport en phosphore de la ration dépasse la valeur recommandée pour Papichat.

Vrai (+3 points)

Faux (-2 points)

Message suite au bloc : « L'apport en phosphore de la ration est de 0.316g/j et on veut au plus 0.280g/j pour Papichat. Rappel : Apports P = (%P x quantité croquettes)/100 »

**Bloc Vrai/Faux** : Le rapport Ca/P de la ration trop bas

Vrai (-2 points)

Faux (+3 points)

Message suite au bloc : « On a Ca/P = 1.75 et on veut un rapport entre 1.2 et 2 pour un chat souffrant de MRC. »

**Bloc progression** : 40%

A l'apprenant : « Ces croquettes apportent un peu trop de phosphore. Cependant 0.4% reste un taux faible pour des croquettes pour chat et le plus important est le rapport Ca/P qui est ici correct. On peut donc prescrire ces croquettes à Papichat et si on observe des signes d'hyperphosphatémie, des chélateurs de phosphore peuvent être ajoutés à sa ration ou bien on pourra lui prescrire des croquettes plus pauvres en phosphore. »

« Pour des raisons pratiques et économiques, nous avons élaboré une ration uniquement à base de croquettes mais idéalement pour un chat atteint de MRC il faudrait une ration mixte ou entièrement humide pour favoriser son hydratation. »

La vétérinaire au propriétaire :

- Pensez à réaliser une transition alimentaire sur 15 jours entre son alimentation actuelle et ses nouvelles croquettes pour éviter qu'il n'ait des troubles digestifs.

## Calcul du délai pour atteindre le poids idéal

Le propriétaire à la vétérinaire :

- Très bien Docteur merci pour vos conseils. En changeant l'alimentation de Papichat, combien de temps faudra-t-il pour qu'il atteigne le poids qu'il devrait faire idéalement ?

**Bloc progression** : 50%

**Bloc formulaire** : Calculons le délai nécessaire pour la prise de poids de Papichat (en jours) :

**Bloc condition** : Durée <= 180 and Durée >= 170 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de la Durée entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de

proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour calculer la durée on divise le nombre de kcal que doit gagner Papichat par l'excès énergétique apporté par la ration. Cet excès énergétique est la différence entre l'apport énergétique de la ration (AEC) et le besoin énergétique réel (BER) de Papichat.
- Solution : Pas de panique ! Reprenons en détail le calcul :  
Papichat doit gagner 600g or 1 kg correspond à 8000kcal donc il doit gagner 4800kcal.  
L'excès énergétique de sa ration se calcule de la manière suivante :  
Excès = AEC-BER = 300 – 273 = 27 kcal/j  
Donc la durée nécessaire = Nb de calories à gagner/ excès quotidien = 4800/27 = 175 jours

#### Bloc progression : 65%

Dialogue entre la vétérinaire et le propriétaire :

- D'accord donc il faudra attendre environ 6 mois. Merci beaucoup pour vos précieux conseils Docteur, j'espère que Papichat ira mieux.
- J'espère aussi ! Je vous propose de nous revoir d'ici un mois pour faire un point sur son état de santé, voir s'il a bien accepté sa nouvelle ration et regarder s'il a commencé à prendre du poids. Évidemment, si d'ici-là son état de santé se dégrade ou si vous rencontrez des difficultés avec sa nouvelle alimentation, n'hésitez pas à me recontacter !
- Très bien, merci. A dans un mois alors !

#### Bloc progression : 70%

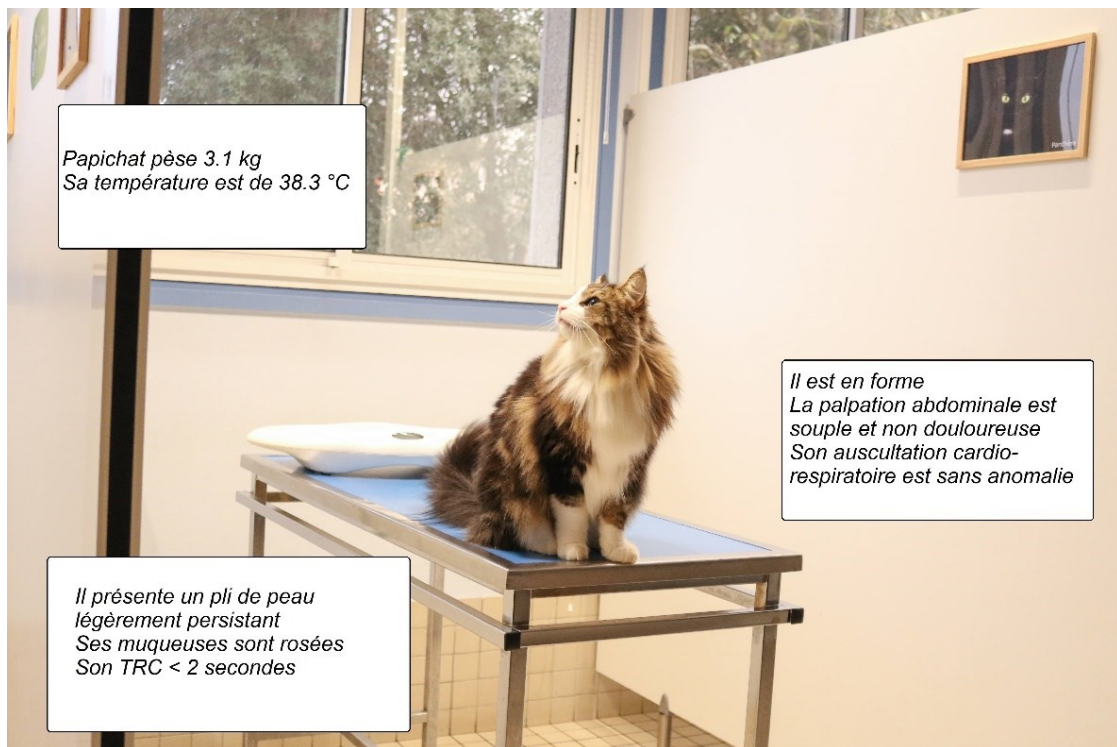
## PARTIE 2 : CONSULTATION DE SUIVI

[Décor n°3]

Dialogue entre la vétérinaire et le propriétaire :

- Bonjour Docteur, je vous ramène Papichat pour la consultation de suivi que nous avons planifié lors du dernier rendez-vous.
- Bonjour, Monsieur Herman. Posez Papichat sur la table je vais l'examiner.

Bloc ouvrir inventaire et modifier inventaire :



→ le document « Examen clinique de Papichat » est rendu visible dans l'inventaire jusqu'à la fin de la scène

Bloc progression : 80%

A l'apprenant : Voici les résultats de l'analyse d'urines faite sur Papichat ainsi que son bilan biochimique rénal :


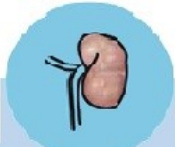


Bloc ouvrir inventaire et modifier inventaire :

<b>REIN</b> : Analyses du mois précédent			
SDMA (EIA)	31	0-14	µg/dL
Créatinine	40	9-23	mg/L
Urée	1.35	0,34-0,81	g/L
<b>REIN</b> : Analyses du jour			
SDMA (EIA)	32	0-14	µg/dL
Créatinine	40	9-23	mg/L
Urée	1.4	0,34-0,81	g/L

## BIOCHIMIE URINAIRE :

### Intervalle de référence

Nitrites	négatif	négatif	
pH	6	5,5-7,0	
Protéines	négatif	négatif	
Glucose	négatif	négatif	
Corps cétoniques	négatif	négatif	
Urobilinogène	négatif	nég. à +	
Bilirubine	négatif	nég. à +	
Sang/hémoglobine	négatif	négatif	
Densité urinaire	1023	>1035	
Ratio Prot./Créat.	0.20	<0,33	
Protéines urinaires	30	2-63	mg/dl
Créatinine urinaire	150		mg/dl

		 <b>Stade 1</b> Pas d'azotémie (Créatinine normale)	 <b>Stade 2</b> Légère azotémie (Créatinine normale ou légèrement élevée)	 <b>Stade 3</b> Azotémie modérée	 <b>Stade 4</b> Azotémie sévère
<b>Créatinine en mg/L</b>	Stade reposant sur une créatinine stable	Inférieure à <b>14</b> (125 µmol/L)	<b>14-28</b> (125 - 250 µmol/L)	<b>29-50</b> (251 - 440 µmol/L)	Supérieure à <b>50</b> (440 µmol/L)
		Inférieure à <b>16</b> (140 µmol/L)	<b>16-28</b> (140 - 250 µmol/L)	<b>29-50</b> (251 - 440 µmol/L)	Supérieure à <b>50</b> (440 µmol/L)
<b>SDMA* en µg/dL</b>	Stade reposant sur une SDMA stable	Inférieure à <b>18</b>	<b>18-35</b>	<b>36-54</b>	Supérieure à <b>54</b>
		Inférieure à <b>18</b>	<b>18-25</b>	<b>26-38</b>	Supérieure à <b>38</b>
<b>Rapport JPC/RPCU</b> Sous-stade en fonction de la protéinurie	Chien	Pas de protéinurie < 0,2	Protéinurie limite 0,2 – 0,5	Protéinurie > 0,5	
	Chat	Pas de protéinurie < 0,2	Protéinurie limite 0,2 – 0,4	Protéinurie > 0,4	
<b>Pression artérielle systolique en mmHg</b> Sous-stade en fonction de la pression artérielle		Pas d'hypertension < <b>140</b> Hypertension <b>160-179</b>		Hypertension limite <b>140-159</b> Hypertension sévère ≥ <b>180</b>	

→ les documents « Bilan sanguin », « Analyse urinaire » et « Classification IRIS » sont rendus disponibles dans l'inventaire pendant toute la durée de la scène.



**Bloc Quizz :** Au vu des analyses de Papichat et du tableau de la classification IRIS, tu dirais :  
*Un rappel des critères de classification IRIS est disponible dans ton inventaire.*

- « Que Papichat est devenu protéinurique » (-2 points)
- « Que Papichat est passé au stade IRIS 2 » (-2 points)
- « Que Papichat est toujours au stade IRIS 3 » (+3 points)
- « Que Papichat est passé au stade IRIS 4 » (-2 points)
- « Qu'il faut soupçonner un diabète chez Papichat » (-2 points)

Commentaire suite au bloc : « La fonction rénale de Papichat est stable, il est toujours au stade IRIS 3 et son analyse urinaire ne montre ni protéinurie, ni glucosurie. »

**Bloc progression : 90%**

Dialogue entre la vétérinaire et le propriétaire :

- L'examen clinique de Papichat est bon, et il a pris 100g depuis notre dernière consultation ce qui est bien. En revanche je le trouve légèrement déshydraté. Est-ce qu'il boit suffisamment chez vous ?
- C'est vrai que je ne le vois pas beaucoup boire dans sa gamelle, mais il a tendance à venir lécher l'eau qui coule du robinet.
- Dans ce cas je vous conseille d'investir dans une fontaine à eau qui incite souvent les chats à boire davantage. Veillez à ce que l'eau soit bien propre et fraîche. Si malgré ça il ne boit toujours pas assez, nous passerons sur une alimentation humide ou sur un mélange de pâtée et de croquettes. Cela représente un coût supplémentaire mais ça permet de mieux maintenir l'état d'hydratation de l'animal. Commencez par la fontaine à eau et tenez-moi au courant. A part ça l'état de santé de Papichat est bon, sa prise de poids est encourageante et j'ai dosé ses paramètres rénaux qui restent stables donc on peut prévoir un rendez-vous de contrôle dans 3 mois s'il va bien et boit plus d'ici là.
- Très bien merci Docteur, au revoir !

\*Fin du scénario\*

Affichage du score :

★ : de 0 à 10 points, commentaire « *Ce n'était pas facile mais tu es arrivé au bout du scénario ! N'hésite pas à le refaire pour améliorer ton score !* »

★★ : de 11 à 19 points, commentaire « *Ce n'est pas mal du tout, n'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score !* »

★★★ : de 20 à 30 points, commentaire « *C'est bien ! N'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score ou bien à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★ : de 31 à 34 points, commentaire « *Super ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★★ : de 35 à 40 points, commentaire « *Ouah, tu es vraiment à l'aise en calcul de ration ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios !* »

## Annexe 2 : jeu sérieux - Duracell, chien en croissance atteint de dysplasie rénale congénitale, stade IRIS 2, protéinurique

### 1<sup>ère</sup> scène : analyse de ration et proposition de modifications

#### **PARTIE 1 : ANALYSE DE LA RATION ACTUELLE**

[Décor n°1]

##### Message introductif

« Durant toute la durée du scénario, tu peux cliquer sur la barre espace pour accélérer les dialogues. Si tu te trompes plus de trois fois sur une valeur, la correction sera automatiquement affichée et tu pourras passer à la suite de l'exercice. Durant le scénario, certains documents vont apparaître. Ils resteront à ta disposition durant tout le scénario dans ton inventaire. Tu peux cliquer sur le bouton pause pour stopper le jeu et sur l'icône de petite valise pour ouvrir ton inventaire. Une barre de progression matérialisant ton avancée dans le scénario se trouve en haut de l'écran. »

##### Introduction du scénario

Dialogue entre le vétérinaire et le client :

- Bonjour Monsieur Delafonte, racontez-moi ce qui vous amène aujourd'hui.
- Bonjour Docteur. Je viens vous voir car j'ai adopté il y a trois mois un chien, Duracell.
- Duracell, c'est amusant comme nom.
- Oui c'est parce que c'est une vraie pile électrique, mais bon, il n'a que 5 mois.
- Haha d'accord, je comprends. Et que se passe-t-il avec Duracell ?
- Il souffre de problèmes rénaux. Mon vétérinaire traitant m'a recommandé de venir vous voir pour avoir votre avis concernant son alimentation.
- Très bien nous allons regarder cela ensemble alors. Avez-vous plus d'informations concernant son alimentation actuelle et sa maladie rénale ?

Message : « Dossier médical de Duracell

Duracell est un chien labrador mâle de 5 mois, pesant 17 kg (NEC 4/9).

Il souffre d'une dysplasie rénale congénitale, aujourd'hui ses résultats biochimiques indiquent un stade IRIS 2 avancé, avec protéinurie.

Alimentation actuelle

— Croquettes Junior Large Dog, 420 gr par jour en un repas

Informations complémentaires

— Poids attendu à l'âge adulte : environ 30 kg »

- Je vois. Est-ce que vous lui donnez des croquettes car c'est le type d'alimentation qui vous convient le mieux ? Une ration ménagère que vous cuisineriez pourrait tout à fait lui convenir par exemple.
- Ce n'est pas que je ne veux pas lui faire à manger mais avec mon travail et la muscu, je n'ai vraiment pas le temps alors je préférerais continuer à lui donner une nourriture que j'achète chez vous...
- Aucun souci je vais vous proposer une ration à base de croquettes dans ce cas.

- Merci Docteur. J'ai commencé il y a deux jours des cours avec un éducateur qui me conseille de lui donner entre 10 et 20 friandises par jour dans un but éducatif. Est-ce que ce sera possible ?
- Oui ce n'est pas un problème, je vais le prendre en compte dans le calcul de sa ration et vous proposer des friandises adaptées à ses besoins.

A l'apprenant : « Nous allons tout d'abord regarder si la ration actuelle de Duracell lui convient. »

#### Calcul du besoin énergétique de croissance

**Bloc formulaire** : Quelle est la valeur du besoin énergétique de croissance de Duracell en kcal/j ?

**Bloc condition** :  $BEC \leq 1680$  and  $BEC \geq 1675$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BEC entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée :

- Aide : Pour calculer le besoin énergétique d'un chiot, on utilise la formule  $BEC = BE_{th} \times k = 130 \times P_i^{0.75} \times k$  Avec  $P_i$  le poids idéal actuel.  
Ici la NEC de Duracell est de 4/9 donc on considère qu'il a un poids idéal.

De nouveau le joueur a le choix de retenter de calculer lui-même le BEC ou d'avoir de l'aide pour le calcul du facteur k.

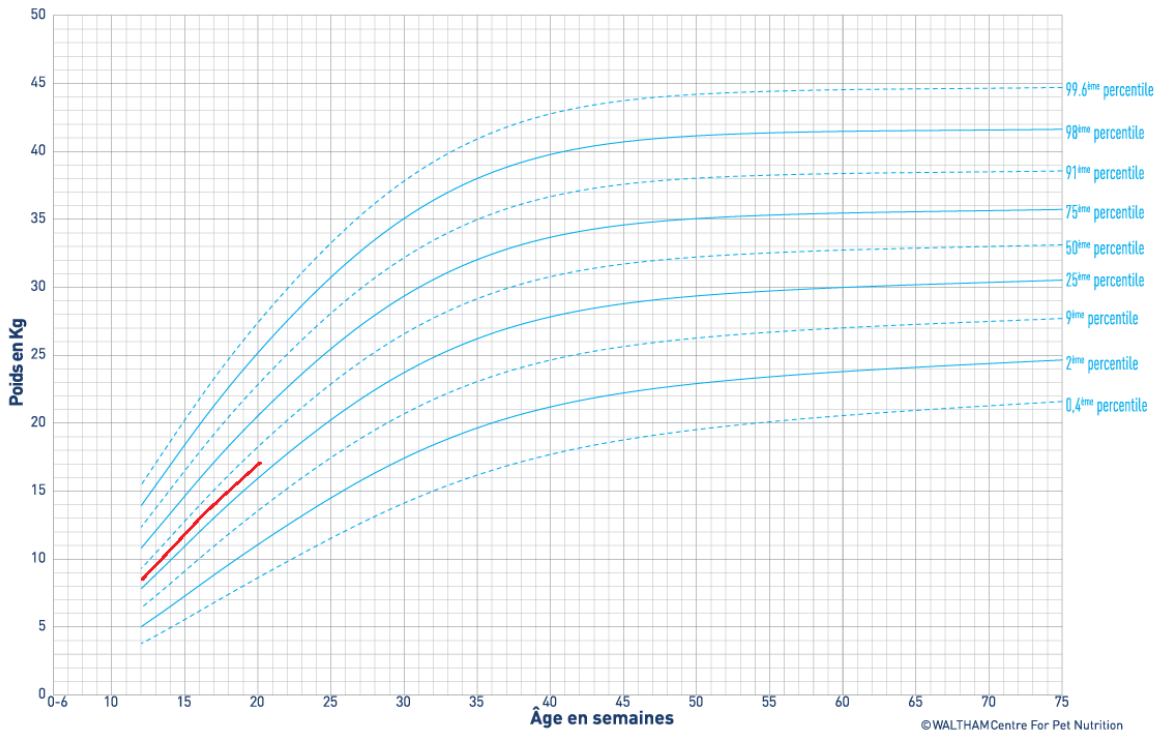
- Aide :  $k = (1.8 - P_{jeune}/P_{adulte})/0.8$   
Retour au calcul du BEC.
- Solution : Ce calcul du BEC a l'air de te poser problème. Je vais te donner la réponse pour que tu ne restes pas bloqué :  $BE_{th} = 130 \times P_i^{0.75} = 130 \times 17^{0.75} = 1088$  kcal/j  
Ensuite tu corriges ce besoin théorique avec le facteur de croissance :  
 $BEC = BE_{th} \times k = 1088 \times (1.8 - P_i/P_{adulte})/0.8 = 1088 \times (1.8 - 17/30)/0.8$   
 $= 1677$  kcal/j.

**Bloc progression** : 10%

#### Calcul du besoin énergétique réel

A l'apprenant : « Nous avons calculé le besoin énergétique théorique de croissance de Duracell. Cependant cela ne correspond pas forcément à son besoin réel. Pour le vérifier, il faut voir si sa croissance est correcte avec sa ration actuelle. »

**Bloc ouvrir inventaire** :



« Voici la courbe de croissance de Duracell d'après les données de poids récupérées sur son dossier médical. »

**Bloc QCM :** Au vu de la courbe de croissance de Duracell, tu dirais plutôt :

- Que l'apport énergétique fourni par sa ration est égal à son besoin réel (+3 points)
- Que l'apport énergétique fourni par sa ration est inférieur à son besoin réel (-2 points)
- Que l'apport énergétique fourni par sa ration est supérieur à son besoin réel (-2 points)

Dialogue entre le vétérinaire et le client :

- Docteur vous être en train de me dire que mon chien est plus léger que la moyenne ? Va falloir que je travaille sa prise de masse ma parole !
- Mais non, ne vous inquiétez pas, sa croissance est correcte !
- Bon d'accord, je vous fais confiance. Mais ce serait bien qu'il soit un peu plus imposant quand même.
- Pas d'inquiétude, il est très bien comme ça.

A l'apprenant : « Nous savons maintenant que le besoin énergétique réel de Duracell est égal à l'apport énergétique fourni par sa ration. Calculons cet apport. »

Bloc [ouvrir inventaire](#) + bloc [modifier inventaire](#) :

Protéines (%) :	35
Matière grasse (%) :	15
Humidité (%) :	9
Fibre / cellulose (%) :	5.5
Matière inorganique / cendre brute (%) :	7.5
Glucides (%) :	26.5
Calcium (%) :	1.1
Phosphore (%) :	0.9
Omega 3 (%) :	0.9
Omega 6 (%) :	2.6
Energie métabolisable (nb calories/kg) :	3480

→ le document « Croquettes actuelles de Duracell » est rendu visible dans l'inventaire pour le reste de la scène

« Ce sont toutes les informations dont tu as besoin concernant les croquettes de Duracell, elles sont accessibles quand tu le veux dans ton inventaire. J'ai vérifié la valeur de l'énergie métabolisable fournie elle est correcte donc tu n'es pas obligé de la recalculer. »

#### Calcul de l'apport énergétique de la ration

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport énergétique de la ration de Duracell en kcal/j ?

**Bloc condition** :  $AE \geq 1459$  and  $AE \leq 1465$  kcal/j (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'AE entraîne l'entrée dans le [bloc score](#) et ôte 3 points puis dans le [bloc compteur](#) (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour calculer l'apport, il faut que tu multiplies la valeur énergétique de l'aliment, c'est-à-dire son énergie métabolisable, par la quantité de croquettes distribuée. Fais bien attention aux unités.
- Solution : Ne reste pas bloqué. La valeur de l'AE de la ration est :  $EM \times qtté = 3480 \times 0.420 = 1462$  kcal/j  
Continuons notre analyse avec cette valeur !

**Bloc progression** : 20%

**Bloc Quizz** : Pour avoir un avis global sur la ration actuelle de Duracell, quels autres paramètres aimerais-tu regarder ?

- « L'apport et les besoins protéiques » (+5 points)
- « L'apport et les besoins en calcium » (+5 points)
- « L'apport et les besoins en potassium » (-3 points)

- « L'apport et les besoins en sodium » (-3 points)
- « L'apport et les besoins en phosphore » (+5 points)
- « L'apport et les besoins en oméga-3 » (+5 points)

A l'apprenant : « Intéressons-nous maintenant aux apports en calcium, en phosphore et en protéines de la ration. »

#### Calcul du besoin et de l'apport en calcium

**Bloc Quizz** : Que sais-tu concernant les recommandations en calcium ?

- « On veut un apport en calcium de base de 1.2g/Mcal chez le chien pour tout stade » (-2 points)
- « Les besoins en calcium du chien ne sont pas modifiés par la croissance » (-2 points)
- « On veut un ratio Ca/P compris entre 1.2 et 2 en cas de MRC » (+3 points)
- « On veut un ratio Ca/P compris entre 0.5 et 1.2 en cas de MRC » (-2 points)
- « On ne regarde pas le ratio Ca/P en cas de MRC de stade avancé, seuls les apports en Ca et en P isolés ont un intérêt » (-2 points)
- « Les besoins en calcium du chien peuvent être modifiés en cas de MRC » (+3 points)

Commentaire suite au quizz : « Le besoin de base en Ca est de 1.6g/Mcal pour un chien, quelque soit son stade de vie. Pour un chiot en croissance et atteint de MRC, on va chercher à majorer le rapport Ca/P donc on vise plutôt un rapport compris entre 1.5 et 1.8. Le rapport ne doit pas être trop haut non plus car le besoin en phosphore d'un chiot n'est pas négligeable. »

**Bloc formulaire** : A présent, calcule le besoin en Ca de Duracell (en g/j) :

**Bloc condition** :  $BCa \leq 2,8$  and  $BCa \geq 2.5$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BCa entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Le besoin en calcium réel d'un animal dépend du besoin d'entretien et du besoin énergétique théorique selon la formule :  
 $BCa = BCa \text{ entretien} \times (BEth/1000)$
- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais t'aider.  
 $BCa = BCa \text{ d'entretien} \times (BEth/1000)$   
 Or on a dit que le besoin en Ca d'entretien était de 1.6g/Mcal.  
 $BCa = 1.6 \times (1677/1000) = 2.68 \text{ g/j}$

A l'apprenant : « la dysplasie rénale congénitale de Duracell peut impacter son besoin en calcium mais dans un premier temps, il faut chercher à couvrir ses besoins et on adaptera si nécessaire sa ration en fonction de son état clinique. »

« Ses besoins sont-ils couverts par sa ration actuelle ? »

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en calcium de la ration en g/j?

**Bloc condition** :  $ACa \leq 5$  and  $ACa \geq 4.5$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'ACa entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de

proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il te suffit de regarder le pourcentage de calcium apporté par l'aliment et de le multiplier par la quantité de croquettes distribuée.
- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué je vais t'expliquer la solution.  
 $ACa = \%Ca \times \text{quantité croquettes} = 1.1/100 \times 420 = 4.6g/j$

A l'apprenant : « Les besoins en calcium de Duracell sont donc largement couverts par sa ration actuelle. »

### Bloc progression : 30%

#### Calcul du besoin et de l'apport en phosphore

A l'apprenant : « Qu'en est-il du phosphore maintenant ? »

**Bloc Quizz** : Que sais-tu concernant les recommandations en phosphore ?

- « On veut un apport en phosphore de base de 1.5g/Mcal chez le chien pour tout stade physiologique » (-2 points)
- « On veut un apport en phosphore de base de 1.2g/Mcal chez le chien pour tout stade physiologique » (+3 points)
- « Il est primordial de réduire la teneur en phosphore dans la ration d'un animal atteint de MRC de stade avancé » (+3 points)
- « La restriction en phosphore doit s'adapter à la clinique de l'animal en cas de MRC » (+3 points)
- « Les croquettes sont rarement supplémentées en phosphore » (-2 points)
- « Le phosphore inorganique est davantage absorbé et a plus d'impact sur la phosphatémie que le phosphore organique » (+3 points)
- « Il n'est pas primordial de couvrir le besoin en phosphore d'un chiot en croissance » (-2 points)
- « L'hyperphosphatémie peut entraîner de l'hyperparathyroïdie secondaire à l'origine d'une ostéofibrose rénale et de précipitation ectopique de Ca dans divers tissus » (+3 points)

Commentaire suite au quizz : « Les croquettes sont souvent riches en phosphore car c'est un additif qui a un rôle technologique (texture, goût, conservation mais aussi contrôle du pH urinaire). »

A l'apprenant : « Le phosphore est un minéral essentiel pour le métabolisme des animaux. Cependant, s'il est présent en trop grande quantité, il peut avoir des effets néfastes en particulier chez les animaux atteints de maladie rénale. »

« En effet, la régulation de la quantité de phosphore est en grande partie réalisée par le rein et l'hyperphosphatémie liée au dysfonctionnement rénal peut entraîner une fibrose des organes ainsi qu'une hyperparathyroïdie, deux mécanismes qui participent à la progression des lésions rénales de MRC. »

« Ici ce qui est compliqué c'est qu'un chiot a un besoin accru en phosphore et un chien insuffisant rénal doit avoir un apport diminué en phosphore. Nous allons donc chercher à couvrir le besoin en phosphore de Duracell sans excès et il faudra suivre sa phosphatémie et son état clinique pour déterminer s'il faut restreindre davantage la quantité de phosphore qui lui est apportée. »

**Bloc formulaire** : A présent, calcule le besoin en P de Duracell (en g/j) :

**Bloc condition** : BPh  $\leq 2.1$  and BPh  $\geq 1.9$  (+10 points)  
Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BPh entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il te suffit de regarder le pourcentage de phosphore apporté par l'aliment et de le multiplier par la quantité de croquettes distribuée.
- Solution : Il te suffit de procéder comme pour le calcium sachant que nous avons dit que le besoin de base en phosphore pour un chiot en croissance était de 1.2 g/Mcal d'où :  
$$\text{BPh} = 1.2 \times \text{BEth}/1000 = 1.2 \times 1677/1000 = 2 \text{ g/j}$$

A l'apprenant : « Calculons l'apport en phosphore de la ration pour voir si le besoin de Duracell est correctement couvert. »

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en phosphore de la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** : APh  $\leq 3.8$  and APh  $\geq 3.7$  (+10 points)  
Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'APh entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Procède comme pour le calcium en regardant la quantité de croquettes distribuée et la teneur en phosphore des croquettes.
- Solution : Il faut que tu procèdes comme pour le calcium.  
$$\text{APh} = \text{Qtte croquettes} \times \% \text{ phosphore} = 420 \times 0.9/100 = 3.78 \text{ g/j}$$

**Bloc Quizz** : L'apport en phosphore est donc trop élevé puisque nous voudrions couvrir sans excès le besoin de 2g/j de Duracell. Mais cela ne suffit pas, qu'en est-il du rapport phospho-calcique ?

- « Il est un peu bas » (+3 points)
- « Il est un peu haut » (-2 points)
- « Il est parfait » (-2 points)

Commentaire suite au quizz : « En effet on cherche à avoir un rapport Ca/P entre 1,2 et 2 pour les animaux atteints de MRC mais nous avons dit tout à l'heure qu'on visait plutôt un rapport entre 1.5 et 1.8 pour un chiot atteint de MRC stade 2, or ici nous avons Ca/P = 1,22 ».

**Bloc progression** : 40%

Recommandations concernant l'apport protéique

A l'apprenant : « Il nous reste une dernière chose à vérifier concernant la ration de Duracell, c'est la couverture des besoins protéiques. »



**Bloc Quizz** : Que sais-tu concernant les recommandations en protéines ?

- « Il faut absolument réduire la teneur en protéine chez un animal atteint de MRC même débutante pour protéger un maximum ses reins » (-2 points)
- « Le besoin en protéines d'un chiot est de 60 à 70 g/Mcal » (-2 points)
- « Le besoin en protéines d'un chien adulte en condition physiologique est de minimum 60g/Mcal » (+3 points)
- « L'intérêt de la restriction protéique en cas de MRC est débattu mais pourrait être bénéfique en cas de protéinurie » (+3 points)
- « Les protéines sont une source mineure de phosphore » (-2 points)
- « La restriction protéique est à adapter en fonction de la clinique de l'animal et du suivi de son azotémie » (+3 points)
- « Il faut privilégier les protéines hautement digestibles, pauvres en phosphore et couvrir le besoin en acides aminés pour les animaux atteints de MRC » (+3 points)
- « Une restriction protéique sévère n'impacte pas le maintien de la masse musculaire d'un animal » (-2 points)

Commentaire suite au quizz en cas de mauvaise réponse : « L'apport protéique recommandé pour un chiot en croissance est de 70 à 80g/Mcal. »

Dialogue entre le vétérinaire et le client :

- Surtout Docteur n'hésitez pas sur les protéines hein, c'est important !
- Les protéines sont importantes, certes, mais il faut faire attention dans ce cas. Un excès de protéines serait mauvais pour Duracell car ses reins sont abimés et qu'on retrouve déjà des protéines dans ses urines.

Message :

« On préconise souvent une restriction protéique pour les chiens atteints de MRC, surtout en cas de protéinurie, car l'accumulation de protéines entraîne une accumulation de déchets azotés. De plus les protéines sont une source majeure de phosphore, largement impliqué dans la progression des lésions rénales. »

« La restriction ne doit néanmoins pas être trop sévère en particulier chez un chiot en croissance. »

Calcul du RPC

**Bloc formulaire** : A présent, calcule le rapport protido-calorique des croquettes de Duracell :

**Bloc condition** :  $RPC \leq 101$  and  $RPC \geq 100$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du RPC entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Le RPC des croquettes se calcule avec la formule :  $RPC = \%PB \times 10 \times 1000 / EM$ .
- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais t'aider.  
 $RPC = \%PB \times 10 \times 1000 / EM = 35 \times 10\ 000 / 3480 = 100.6$  g/Mcal.

A l'apprenant : « Nous avons dit qu'il fallait un apport recommandé de 70 à 80g/Mcal de PB pour un chiot en croissance. Cet excès de protéines ne serait pas problématique pour un chiot sain mais dans le cas de Duracell, il y en a beaucoup trop. »

**Bloc progression : 50%**

### Conclusion

**Bloc Quizz** : Félicitations pour cette analyse des constituants de la ration de Duracell !

Finally, quelles remarques peux-tu faire concernant son alimentation actuelle ?

- « Le besoin en protéines de Duracell est couvert mais on ne veut pas d'excédent de protéines or ici l'apport protéique de la ration est supérieur au besoin » (+3 points)
- « La ration est déficitaire en énergie » (-2 points)
- « Le ratio Ca/P est trop bas » (+3 points)
- « Les alimentations rénales sont à destination des chiens adultes et risquent de ne pas couvrir correctement les besoins de Duracell » (+3points)

A l'apprenant : « Il n'existe pas de marque de croquettes de gamme vétérinaire non personnalisée qui soit adaptée aux chiots souffrant de MRC. On va donc chercher des croquettes qui couvrent au mieux les besoins en phosphore, calcium, énergie et protéines de Duracell sans excès. »

## **PARTIE 2 : PROPOSITION D'UNE NOUVELLE RATION**

### Choix des friandises à distribuer et calcul de l'apport énergétique associé

- Le vétérinaire au client :
  - Nous allons commencer par choisir des friandises adaptées à Duracell qui lui seront proposées disons 15 fois par jour.

A l'apprenant : « Quelles friandises recommanderais-tu pour Duracell ? »

## Bloc zones cliquables :

**Composition**

Protéines (%) :	20,3
Matière grasse (%) :	10,3
Humidité (%) :	14
Fibre / cellulose (%) :	2,2
Matière inorganique / cendre brute (%) :	7,1
Calcium (%) :	1,3
Energie métabolisable (nb calories/kg) :	3420

**Constituants analytiques**

Protéine : 6,2 %  
Teneur en matières grasses : 2,2 %  
Cellulose brute : 1,5 %  
Cendres brutes : 6,0 %  
Calcium : 1,1 %  
Humidité : 14,5 %

**Additifs nutritionnels**

Ul/kg :  
Vit A : 8500 ;  
Vit D3 : 570 ;  
Vit E : 62.

mg/kg :  
Vitamines du groupe B : 54 ;  
Iodate de calcium anhydre : (I : 1,4) ;  
Sulfate manganoux monohydraté : (Mn : 4,0) ;  
Sulfate de zinc monohydraté : (Zn : 100) ;  
Sélénite de sodium : (Se : 0,14).

**Composants analytiques**

protéines brutes	19.1 %
graisses brutes	13.8 %
fibres brutes	4.5 %
cendres brutes	5.0 %
calcium	0.64 %
phosphore	0.49 %
magnésium	0.05 %
potassium	0.74 %
sodium	0.33 %

SCORE 0

Licence EdTech - École Nationale Vétérinaire de Toulouse - Interdit à la revente

- Si l'apprenant clique sur la friandise 1 en haut à gauche : (-3 points)
- Si l'apprenant clique sur la friandise 2 en bas à gauche : (-3 points)
- Si l'apprenant clique sur la friandise 3 en haut à droite : (+10 points)
- Si l'apprenant clique sur la friandise 4 en bas à droite : (-3 points)

A l'apprenant : « Ce sont les friandises n°3 que je recommanderais pour Duracell car elles sont pauvres en protéines et en phosphore. Les informations concernant ces friandises sont accessibles à tout moment depuis ton inventaire. »

Bloc progression : 60%

Bloc [modifier inventaire](#) :

**COMPOSITION DES FRIANDISES**

Composition			
Protéines	9 %	Calcium	0,3 %
Matière grasse	3,5 %	Phosphore	0,1 %
Cendres	4,5 %	Sodium	0,5 %
Fibres crues	1 %	Potassium	0,1 %
Humidité	8 %		
Glucides	74 %		

**Energie**

13,4 MJ/kg  
3205 kcal/kg

Une friandise pèse 4,4g.

→ le document « Composition des friandises » est rendu visible dans l'inventaire pour le reste de la scène

A l'apprenant : « Peux-tu calculer l'apport énergétique fourni par 15 de ces friandises ? »

**Bloc formulaire** : Calcul de l'énergie apportée par les friandises (en kcal/j) :

**Bloc condition** :  $AEf \leq 215$  and  $AEf \geq 210$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'AEf entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Une friandise pèse 4.4g et nous en donnons 15 par jour. Calcule l'énergie métabolisable de ces friandises que tu multiplieras par la quantité donnée chaque jour.  
Rappel : pour calculer EM, il faut d'abord calculer ENA

- Solution : Reprenons pas à pas la solution.

On donne 15 friandises de 4.4g par jour soit  $15 \times 4.4 = 66$ g/j de friandises. Il faut ensuite calculer l'extractible non azoté ENA pour déduire l'EM.

$$ENA = 100 - \%humidité - \%PB - \%MG - \%CB - \%Mm$$

$$= 100 - 8 - 9 - 3.5 - 4.5 - 1 = 74\%$$

$$EM = 35 \times (\%PB + \%ENA) + 85 \times \%MG$$

$$= (35 \times (9 + 74)) + 85 \times 3.5 = 3202 \text{ kcal/kg arrondi à } 3200 \text{ dans la suite des calculs}$$

L'apport lié aux friandises est donc :

$$AEf = EM \times qtté = 3200 \times 66 / 1000 = 211 \text{ kcal/j.}$$

Choix des croquettes à distribuer et calcul et de l'apport énergétique associé

**Bloc Quiz** : Quel est l'apport énergétique que doivent couvrir les croquettes ?

- « 1251 kcal/j » (+3 points)

- « 1501 kcal/j » (-2 points)

- « 1301 kcal/j » (-2 points)

- « 1451 kcal/j » (-2 points)

Commentaire suite au quizz : « Le besoin énergétique réel de Duracell est de 1462kcal/jour. Les croquettes doivent donc couvrir ce qui n'est pas couvert par les friandises soit  $1462 - 211 = 1251$  kcal/j. »

**Bloc progression** : 70%

A l'apprenant : « Quelles croquettes choisirais-tu pour Duracell parmi ces 4 gammes ? »

## Bloc zones cliquables :

Nutriments	Teneur / 100 g	Teneur / 1000 kcal*
Énergie métabolisable (kcal)	359.9	-
Protéines brutes (g)	25.0	69.46
Matières grasses brutes (g)	12.0	33.34
Glucides ENA (g)	44.1	122.53
Cellulose brute (g)	3.5	9.72
Calcium (g)	0.80	2.22
Phosphore (g)	0.52	1.44
Sodium (g)	0.35	0.97
Vitamine E (UI)	45.0	125.03
Magnésium (g)	0.08	0.22
Acides gras Oméga-3 (g)	1.03	2.86
EPA (g) + DHA (g)	0.60	1.67
Cendres brutes	5.90	16.39
Acides gras Oméga-6 (g)	1.95	5.42
Fibres totales	9.10	25.28

Nutriments	Teneur / 100 g	Teneur / 1000 kcal*
Énergie métabolisable (kcal)	399	-
Protéines brutes (g)	13.7	34.4
Matières grasses brutes (g)	16.0	40.1
Glucides ENA (g)	56.2	140.8
Cellulose brute (g)	1.5	3.8
Calcium (g)	0.45	1.13
Phosphore (g)	0.26	0.65
Sodium (g)	0.16	0.40
Potassium (g)	0.78	1.96
Zinc (mg)	17.8	44.7
Cuivre (mg)	0.84	2.12
Taurine (g)	0.29	0.73
L-carnitine (mg)	70	175
Acides gras Oméga-3 (g)	2.20	5.52
EPA (g)	0.97	2.43
DHA (g)	1.03	2.58
Ratio n-3:n-6	1:1	1:1
Eau (g)	8.5	-

Nutriments	Teneur / 100 g	Teneur / 1000 kcal*
Énergie métabolisable (kcal)	367	-
Protéines brutes (g)	23.6	64.5
Matières grasses brutes (g)	10.9	29.7
Glucides ENA (g)	49.3	134.4
Cellulose brute (g)	2.8	7.6
Calcium (g)	0.70	1.91
Phosphore (g)	0.62	1.68
Sodium (g)	0.23	0.62
Taurine (g)	0.41	1.12
L-carnitine (mg)	31	84
Acides gras Oméga-3 (g)	0.62	1.68
EPA (g)	0.21	0.56
DHA (g)	0.23	0.62
Ratio n-3:n-6	1:3	1:3
Eau (g)	8.5	-

- Si l'apprenant clique sur les 1ères croquettes : (+10 points)
- Si l'apprenant clique sur les 2èmes croquettes : (-3 points)  
Entrée dans le **bloc compteur** initialisé à 2 et qui est augmenté de 1/  
Message : « Les croquettes n°2 ont un RPC de 34.34 g/Mcal c'est beaucoup trop bas pour couvrir le besoin protéique de Duracell ! Il faut au moins 70g/Mcal de protéines pour un chiot en croissance. Penses-tu que Mr Delafonte veuille un chien amyotrophié ? »  
Retour au **bloc zone cliquable**.
- Si l'apprenant clique sur les 3èmes croquettes : (-3 points)  
Entrée dans le **bloc compteur** initialisé à 2 et qui est augmenté de 1.  
Message : « Les croquettes n°3 ont un RPC de 64g/Mcal ce qui est un peu bas vu qu'il faut au moins 70g/Mcal de protéines pour un chiot en croissance.  
Si on regarde en première approximation le rapport Ca/P il est de 1.2 ce qui est bas. Il faudrait calculer la quantité de croquettes à distribuer et le rapport Ca/P de la ration composée de croquettes et de friandises mais au premier coup d'oeil, ces croquettes ne semblent pas idéales. »  
Retour au **bloc zone cliquable**.
- Si l'apprenant clique sur les 4èmes croquettes : (-3 points)  
Entrée dans le **bloc compteur** initialisé à 2 et qui est augmenté de 1.  
Message : « Les croquettes n°4 ont un RPC de 64.3 g/Mcal ce qui est un peu bas vu qu'il faut au moins 70g/Mcal de protéines pour un chiot en croissance.  
Si on regarde en première approximation le rapport Ca/P il est de 1.13 ce qui est bas. Il faudrait calculer la quantité de croquettes à distribuer et le rapport Ca/P de la ration composée des croquettes et des friandises mais au premier coup d'œil, ces croquettes ne semblent pas idéales. »  
Retour au **bloc zone cliquable**.

Après 3 tentatives ou une bonne réponse, le vétérinaire s'adresse à l'apprenant :

« Les croquettes n°1 sont les plus adaptées. Elles ont un RPC de 69.5g/Mcal. On recommande un

RPC compris entre 70 et 80g/Mcal pour un chiot en croissance. Etant donné qu'on veut un apport limité en protéines pour Duracell qui est protéinurique, on va chercher à se rapprocher de 70g/Mcal donc le RPC de ces croquettes est adapté. »

« Si on regarde en première approximation le rapport Ca/P il est de 1.54 qui correspond à la valeur comprise entre 1.2 et 2 souhaitée en cas de MRC. Nous allons maintenant devoir regarder la quantité de croquettes à distribuer à Duracell et le rapport Ca/P de la ration complète. »

**Bloc Quiz :** Dans le cas de MRC, la complémentation en AG est primordiale. En particulier :

- « On veut un ratio w6/w3 compris entre 0.2 et 5 » (+3 points)
- « On veut un ratio w6/w3 compris entre 5 et 10 » (-2 points)
- « On veut un ratio w6/w3 compris entre 10 et 15 » (-2 points)

Commentaire suite au quiz : « Ce sont les w3 qui ont un effet néphroprotecteur, on veut donc un ratio w6/w3 qui ne soit pas trop élevé. La supplémentation en vitamine E est aussi intéressante car elle limite l'oxydation des lipides. »

Bloc [modifier inventaire](#) :

Nutriments	Teneur / 100 g	Teneur / 1000 kcal*
Énergie métabolisable (kcal)	359.9	
Protéines brutes (g)	25.0	69.46
Matières grasses brutes (g)	12.0	33.34
Glucides ENA (g)	44.1	122.53
Cellulose brute (g)	3.5	9.72
Calcium (g)	0.80	2.22
Phosphore (g)	0.52	1.44
Sodium (g)	0.35	0.97
Vitamine E (UI)	45.0	125.03
Magnésium (g)	0.08	0.22
Acides gras Oméga-3 (g)	1.03	2.86
EPA (g) + DHA (g)	0.60	1.67
Cendres brutes	5.90	16.39
Acides gras Oméga-6 (g)	1.95	5.42
Fibres totales	9.10	25.28

→ le document « Nouvelles croquettes de Duracell » est rendu visible dans l'inventaire pour le reste de la scène

### Calcul de la quantité de croquettes

**Bloc formulaire** : Quelle quantité de croquettes faut-il distribuer à Duracell (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $Q_{tté} \leq 350$  and  $Q_{tté} \geq 345$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de la  $Q_{tté}$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : N'oublie pas que tu dois couvrir le BER de Duracell mais qu'une partie a déjà été couverte par les friandises.
- Solution : Quantité à distribuer =  $(BER \times 1000) / EM$   
Il faut prendre en compte qu'une partie du BER a été couvert par les friandises. D'où :  
 $Q_{tté} = ((1462 - 211) \times 1000) / 3599 = 348 \text{ g/j}$

Le vétérinaire à Mr Delafonte :

- Je vous conseille de lui distribuer 350g de croquettes de cette gamme mobility par jour, en une à deux prises. Vous pouvez aussi lui distribuer une quinzaine de ces friandises-ci par jour.

**Bloc progression** : 80%

A l'apprenant : « Vérifions la couverture des besoins minéraux de Duracell à présent. »

### Calcul de l'apport en calcium

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en calcium de la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $ACa \leq 3.5$  and  $ACa \geq 3$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'ACa entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il faut que tu calcules la quantité de calcium apportée par 15 friandises de 4.4g chacune et que tu ajoutes la quantité de calcium fournie par les 350g de croquettes
- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué je vais t'expliquer la solution.  
 $AC_{\text{croquettes}} = \%Ca \times \text{quantité croquettes} = 0.8/100 \times 350 = 2.8 \text{ g/j}$   
 $AC_{\text{friandises}} = 0.3/100 \times 66 = 0.2 \text{ g/j}$   
Donc  $AC_{\text{ration}} = 3 \text{ g/j}$

A l'apprenant : « Les besoins en calcium de Duracell sont donc couverts par sa ration actuelle. »

### Calcul de l'apport en phosphore

**Bloc formulaire** Quel est l'apport en phosphore de la nouvelle ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $APh \leq 2$  and  $APh \geq 1.5$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'APh entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il faut que tu calcules la quantité de phosphore apportée par 15 friandises de 4.4g chacune et que tu ajoutes la quantité fournie par les 350g de croquettes.
- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué, je vais t'expliquer la solution.  
 $APh_{croquettes} = \%Ph \times \text{quantité croquettes} = 0.52/100 \times 350 = 1.82 \text{ g/j}$   
 $APh_{friandises} = 0.1/100 \times 66 = 0.066\text{g/j}$   
Donc  $APh_{ration} = 1.9 \text{ g/j}$

A l'apprenant : « La ration de Duracell présente donc un déficit minime de 0.1g de phosphore par jour qui n'est pas problématique. »

### Bloc progression : 90%

Dialogue entre le vétérinaire et le client :

- Pensez à faire une transition alimentaire sur une quinzaine de jours pour éviter de perturber sa flore intestinale.  
Je vous propose que nous fixions un nouveau rendez-vous le mois prochain pour faire un point sur l'état de santé de Duracell.  
Il ne faudra pas donner d'autres friandises ou d'autres croquettes que celles que je vous recommande.  
Évidemment, si d'ici notre prochain rendez-vous l'état de santé de Duracell se dégrade ou que vous avez des problèmes avec sa nouvelle ration, je reste à votre disposition !
- Merci beaucoup Docteur, bonne journée et à dans un mois !

### 2<sup>ème</sup> scène : rendez-vous de suivi

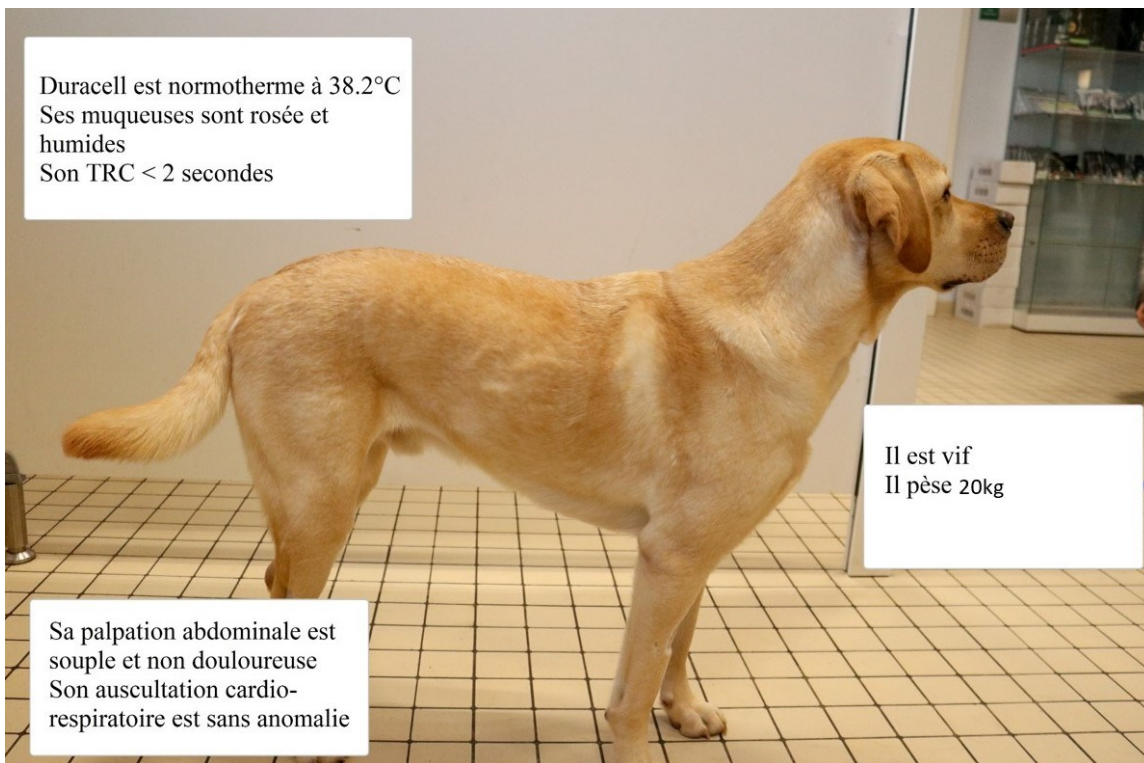
[Décor n°2]

Dialogue entre le vétérinaire et le client :

- Bonjour Docteur.
- Bonjour Monsieur Delafonte, comment allez-vous ? Et surtout, comment se porte Duracell ?
- Très bien merci ! Il est toujours aussi énergique, je pense qu'il est en forme.
- Super. Il a bien accepté sa nouvelle ration ?
- Oui il la mange bien et les friandises sont parfaites pour lui apprendre à faire des pompes.
- Des pompes ?
- Bah oui Docteur, c'est une vraie machine mon chien !
- Eh bien écoutez si vous le dites. Je vais examiner cette machine dans ce cas.

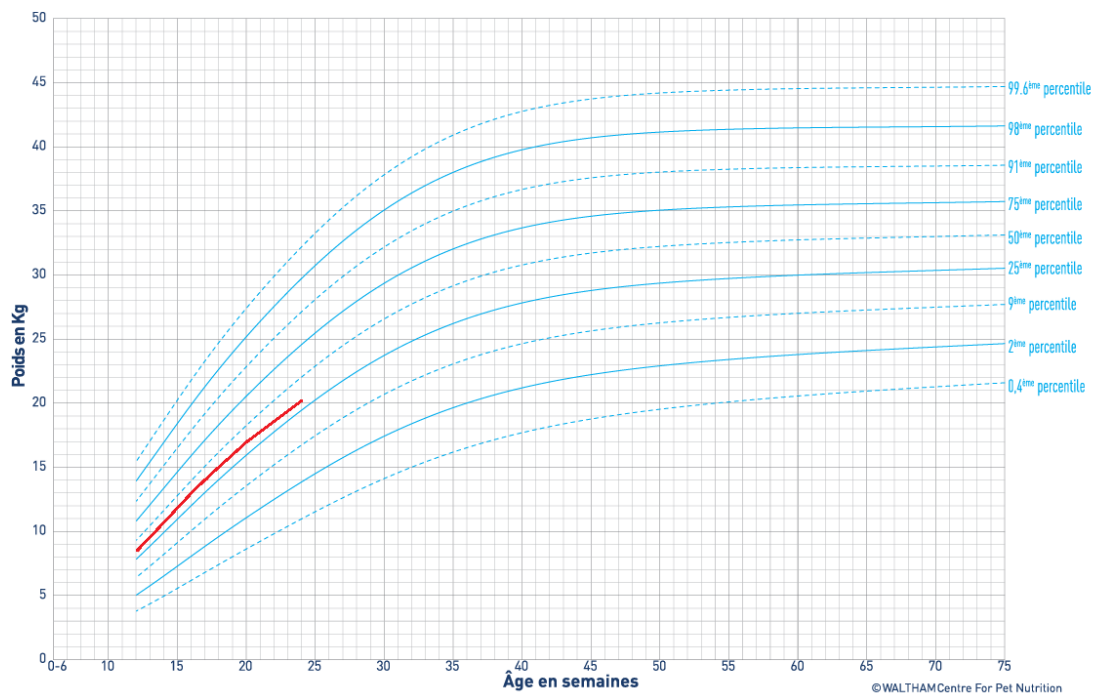


Bloc ouvrir inventaire et modifier inventaire :



 **WALTHAM™** Courbes de croissance pour chiot

**MÂLE**  
Poids adulte prévu  
30 - 40 Kg



→ les documents « Examen clinique de Duracell » « Courbe de croissance de la visite de contrôle » sont rendus visibles dans l'inventaire pour la suite de la scène

Dialogue entre le vétérinaire et le client :

- Duracell est en forme, son examen clinique ne montre pas d'anomalie.

De plus ses analyses sanguines sont correctes : sa SDMA, sa phosphatémie, son rapport protéines dans les urines par rapport à la créatine dans les urines ainsi que sa pression artérielle sont stables. Cela veut dire que sa maladie rénale ne progresse pas ou bien très peu grâce à l'alimentation mise en place, ce qui est bon signe.

- Super, je suis rassuré !
- En plus, sa courbe de poids est parfaite, donc on continue comme ça !
- Super, merci Docteur, au revoir !
- 

\*Fin du scénario\*

Affichage du score :

★ : de 0 à 29 points, commentaire « *Ce n'était pas facile mais tu es arrivé au bout du scénario ! N'hésite pas à le refaire pour améliorer ton score !* »

★★ : de 30 à 64 points, commentaire « *Ce n'est pas mal du tout, n'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score !* »

★★★ : de 65 à 99 points, commentaire « *C'est bien ! N'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score ou bien à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★ : de 100 à 149 points, commentaire « *Super ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★★ : de 150 à 205 points, commentaire « *Ouah, tu es vraiment à l'aise en calcul de ration ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios !* »

Annexe 3 : jeu sérieux : Guizmo, chat européen mâle stérilisé de 11 ans, atteint de MRC stade IRIS 1, non protéinurique

## Scénario 1 : analyse de ration et proposition de ration ménagère

### **PARTIE 1 : ANALYSE DE LA RATION ACTUELLE**

[Décor n°1]

#### Message introductif

« Durant toute la durée du scénario, tu peux cliquer sur la barre espace pour accélérer les dialogues. Si tu te trompes plus de trois fois sur une valeur, la correction sera automatiquement affichée et tu pourras passer à la suite de l'exercice. Durant le scénario, certains documents vont apparaître. Ils resteront à ta disposition durant tout le scénario dans ton inventaire. Tu peux cliquer sur le bouton pause pour stopper le jeu et sur l'icône de petite valise pour ouvrir ton inventaire. Une barre de progression matérialisant ton avancée dans le scénario se trouve en haut de l'écran. »

#### Introduction du scénario

Dialogue entre la vétérinaire et la propriétaire :

- Bonjour Madame Joseph.
- Bonjour Docteur.
- On se voit aujourd'hui suite au diagnostic que j'ai établi la semaine dernière concernant la maladie rénale de Guizmo, afin de discuter ensemble de son alimentation.  
Je vous avais expliqué que l'alimentation joue un rôle primordial dans la prise en charge d'une maladie rénale chronique et qu'il allait donc falloir modifier l'alimentation de Guizmo.  
Est-ce que vous avez pu regarder la marque et la quantité d'aliments qu'il mange chaque jour comme je vous l'avais demandé ?
- Oui j'ai pesé la quantité que je lui donne chaque jour et j'ai noté la marque des aliments, tenez.

Message : « Dossier médical de Guizmo

Guizmo est un chat européen mâle stérilisé de 11 ans pesant 4.3 kg (NEC 4/9), vivant en intérieur. Il est atteint de MRC stade IRIS 1.

Actuellement, il mange :

- 40g de croquettes à la truite pour chat adulte
- 50 g de pâtée au thon pour chat adulte

A l'apprenant : « Nous allons tout d'abord regarder si la ration actuelle de Guizmo lui convient. »

**Bloc progression : 5%**

#### Calcul du besoin énergétique théorique

**Bloc formulaire** : Quelle est la valeur du besoin énergétique théorique de Guizmo en kcal/j ?

**Bloc condition** : BEth  $\leq$  285 and BEth  $\geq$  280 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BEth entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée :

- Aide : Pour calculer le besoin énergétique théorique d'un chat, on utilise la formule  $BE_{th} = 100 \times Pi^{0.67}$ .  
Or ici Guizmo est trop maigre, il faut donc d'abord calculer son poids idéal.  
Le joueur a le choix de retenter le calcul du  $BE_{th}$  seul ou d'avoir de l'aide pour le calcul du  $Pi$ .
- Aide : Pour calculer le poids idéal d'un chat, on utilise la formule  $Pi = PV \times [1 - (NEC - NEC_{réf})/10]$ .  
**Bloc formulaire** : Calcul de la valeur de  $Pi$   
**Bloc condition** :  $Pi \leq 4.8$  and  $Pi \geq 4.7$  (+5 points)  
Sinon (-2 points)  
En cas de mauvaise réponse le message :  
« Je vais t'aider un peu :  $Pi = 4.3 \times [1 - (4-5)/10] = 4.73$  » apparaît.  
Le joueur peut alors retenter le calcul du  $BE_{th}$  mais via un autre formulaire qui ne lui proposera pas de calculer le  $Pi$  en cas de mauvaise réponse, mais lui apportera seulement de l'aide ou la solution au calcul du  $BE_{th}$  s'il se trompe plus de deux fois.
- Solution : Ce calcul du  $BE_{th}$  a l'air de te poser problème. Je vais te donner la réponse pour que tu ne restes pas bloqué :  
 $BE_{th} = 100 \times 4.73^{0.67} = 283$  kcal/j.  
Continuons nos calculs avec cette valeur !

A l'apprenant : « Guizmo a un poids stable, ce qui signifie que son BE réel correspond à l'apport énergétique fourni par sa ration. Voici les informations concernant sa ration dont tu as besoin pour calculer cet apport. Tu pourras les trouver ensuite quand tu le voudras dans ton inventaire. »

**Bloc progression : 15%**

Bloc [ouvrir inventaire](#) puis [modifier inventaire](#) :

### Composition des croquettes de Guizmo

#### Composants analytiques

Protéines 30 %, matières grasses brutes 18 %, cendres brutes 2,1 %, cellulose brute 6 %, humidité 8 %, calcium 0,9 %, phosphore 0,7 %, magnésium 0,08 %, acides gras oméga-6 3 %, acides gras oméga-3 0,35 %, taurine 2,4 g/kg.

#### Composition

Farine de volaille, riz, maïs, farine de sardine (10 %), graisse de volaille, gluten de maïs, graisse de bœuf, huile de poisson, foie de volaille, pulpe de betterave, levure, protéines de volaille hydrol., œuf complet (séché), fibres d'avoine, chlorure de sodium, carbonate de calcium, fibres de chicorée, yucca schidigera

#### Teneur en humidité

8ème

#### Additifs par kg

Additifs nutritionnels : Vitamine A 15 000 UI, vitamine D3 1 500 UI, vitamine C 125 mg, L-carnitine 1 000 mg, 4,5 mg E 4, 60 mg E 6, 0,15 mg E 8, 1,6 mg E 2

### Composition de la pâtée de Guizmo

#### Analyses

protéines brutes 18.0 %, graisses brutes 0.5 %, fibres brutes 0.1 %, cendres brutes 1.0 %, humidité 77.0 %, énergie 742.0 kcal/kg, énergie métabolisable 742.0 kcal  
phosphore = 0,10 %, calcium = 0,15 %

#### Ingrédients

**Thon de l'Atlantique** : thon de l'Atlantique (75 %), bouillon de poisson (24 %), riz (1 %).

→ les documents « Composition des croquettes de Guizmo » et « Composition de la pâtée de Guizmo » sont rendus visibles dans l'inventaire pour le reste de la scène

### Calcul de l'apport énergétique de la ration

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport énergétique lié aux croquettes de Guizmo en kcal/j ?

**Bloc condition** : AEcr >= 150 and AEcr <= 155 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'AEcr entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour calculer l'apport, il faut que tu multiplies la valeur énergétique de l'aliment c'est-à-dire son énergie métabolisable par la quantité de croquettes distribuée chaque jour.

Avant de retenter le calcul de l'AEcr, le joueur peut choisir d'obtenir un rappel de la formule permettant de calculer l'EM. Le message suivant apparaît alors :

« Pour calculer l'EM d'un aliment sec, on utilise la formule :

$$EM \text{ (kcal/kg)} = 35 \times (\%PB + \%ENA) + 85 \times \%MG$$

avec  $ENA = 100 - \%humidité - \%PB - \%MG - \%CB - \%Mm$  »

- Solution : On va tout décomposer ensemble parce que je vois que ce calcul te pose problème.

$$ENA = 100 - 8 - 30 - 18 - 6 - 2,1 = 35,9\%$$

$$EM = 35 \times (30 + 35,9) + 85 \times 18 = 3836,5 \text{ kcal/kg}$$

Et enfin pour calculer l'apport énergétique lié aux croquettes :

$$AEcr = \text{qtté croquettes} \times EMcr = 0,040 \times 3836,5 = 154 \text{ kcal/j}$$

A l'apprenant : « On connaît donc l'apport énergétique fourni par les croquettes de Guizmo. Il reste à y ajouter l'apport lié à la pâtée qu'il mange pour voir le nombre de calories qui lui sont apportées chaque jour. »

**Bloc progression** : 20%

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport énergétique lié à la pâtée de Guizmo en kcal/j ?

**Bloc condition** : AEp >= 35 and AEp <= 41 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'AEp entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il faut que tu procèdes comme pour les croquettes, en utilisant cette fois la formule qui permet de calculer l'énergie métabolisable d'un aliment humide pour chat.

Avant de retenter le calcul de l'AEp, le joueur peut choisir d'obtenir un rappel de la formule permettant de calculer l'EM. Le message suivant apparaît alors :

« Pour calculer l'EM d'un aliment humide pour chat, on utilise la formule :

$$EM \text{ (kcal/kg)} = 39 \times \%PB + 77 \times \%MG + 30 \times \%ENA - 50$$

avec  $ENA = 100 - \%humidité - \%PB - \%MG - \%CB - \%Mm$  »

- Solution : Reprenons le résultat ensemble :

$$ENA = 100 - 77 - 18 - 0,5 - 0,1 - 1 = 3,4\%$$

$$EM = 39 \times 18 + 77 \times 0,5 + 30 \times 3,4 - 50 = 792,5 \text{ kcal/kg}$$

Et enfin pour calculer l'apport énergétique lié à la pâtée pour chat :

$$AEp = \text{qtté patée} \times EMp = 0.050 \times 792.5 = 39.6 \text{ kcal/j.}$$

A l'apprenant : « Finalement, l'apport énergétique de la ration de Guizmo, qu'on obtient en sommant celui lié aux croquettes et celui lié à la pâtée, est de 193 kcal/j. »

Bloc progression : 25%

#### Calcul de l'apport énergétique corrigé

**Bloc formulaire** : Quelle est la valeur de l'apport énergétique corrigé (c'est-à-dire prenant en compte le fait qu'il doit grossir) de Guizmo en kcal/j ?

**Bloc condition** :  $AEC \leq 215$  and  $AEC \geq 210$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'AEC entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Guizmo est trop maigre, on va donc chercher à le faire grossir en multipliant son apport énergétique actuel par un facteur k de sorte à augmenter de 10% son apport énergétique.
- Solution : Quand on cherche à faire grossir un animal dont on connaît l'apport énergétique fourni pas sa ration, on obtient son apport énergétique corrigé en multipliant son AE par un facteur  $k=1.1$  puisqu'on le fait grossir progressivement.  
D'où  $AEC = AE \times 1,1 = 212 \text{ kcal/j.}$

Bloc progression : 30%

**Bloc Quiz** : Pour avoir un avis global sur la ration actuelle de Guizmo, quels autres paramètres aimerais-tu regarder ?

- « L'apport et les besoins protéiques » (+5 points)
- « L'apport et les besoins en calcium » (+5 points)
- « L'apport et les besoins en potassium » (-3 points)
- « L'apport et les besoins en sodium » (-3 points)
- « L'apport et les besoins en phosphore » (+5 points)

A l'apprenant : « Intéressons-nous maintenant aux apports en calcium, en phosphore et en protéines de la ration. »

#### Calcul du besoin, de l'apport et du déficit en calcium de la ration

**Bloc Quiz** : Que sais-tu concernant les recommandations en calcium pour un chat ?

- « On veut un apport en calcium de base de 1.6g/Mcal chez le chat adulte en conditions physiologiques » (+3 points)
- « On veut un ratio Ca/P compris entre 1.2 et 2 en cas de MRC » (+3 points)
- « On veut un ratio Ca/P compris entre 0.5 et 1.2 en cas de MRC » (-2 points)
- « On ne regarde pas le ratio Ca/P en cas de MRC, seuls les apports en Ca et en P isolés ont un intérêt » (-2 points)
- « Les besoins en calcium du chat peuvent être modifiés en cas de MRC » (+3 points)
- « On veut un apport en calcium de base de 1.2g/Mcal chez le chat adulte en conditions physiologiques » (-2 points)
- « Il faut augmenter les apports en Ca chez un chat atteint de MRC au stade IRIS I » (-2 points)
- « Le besoin en calcium d'un chat castré est diminué de 20% » (-2 points)

Bloc progression : 35%

**Bloc formulaire** : A présent, calcule le besoin en Ca de Guizmo (en g/j) :

**Bloc condition** :  $BCa \leq 0.5$  and  $BCa \geq 0.4$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BCa entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Le besoin en calcium réel d'un animal dépend du besoin d'entretien et du besoin énergétique théorique selon la formule :  
 $BCa = BCa_{\text{entretien}} \times (BE_{\text{th}}/1000)$
- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais t'aider.  
 $BCa = BCa_{\text{d'entretien}} \times (BE_{\text{théorique}}/1000)$   
Or on a dit que le besoin en Ca d'entretien d'un chat adulte était de 1.6g/Mcal, d'où :  
 $BCa = 1.6 \times (283/1000) = 0.45\text{g/j}$

A l'apprenant : « La maladie rénale de Guizmo peut impacter son besoin en calcium, mais à un stade débutant, c'est peu probable. Dans un premier temps, nous allons couvrir ses besoins et on adaptera si nécessaire sa ration en fonction de son état clinique.

Ses besoins sont-ils couverts par sa ration actuelle ? »

**Bloc progression** : 40%

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en calcium de la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $ACa \leq 0.5$  and  $ACa \geq 0.4$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'ACa entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il te suffit de regarder le pourcentage de calcium apporté par les croquettes et de le multiplier par la quantité de croquettes distribuée à Guizmo. Ensuite, tu fais la même chose pour la pâtée et tu sommes les deux résultats pour connaître l'apport global en calcium de la ration.
- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué je vais t'expliquer la solution.  
 $ACa = ACa_{\text{croquettes}} + ACa_{\text{pâtée}}$   
 $= \%Ca \times \text{quantité croquettes} + \%Ca \times \text{quantité pâtée}$   
 $= 0.9/100 \times 40 + 0.15/100 \times 50$   
 $= 0.435\text{g/j}$

**Bloc progression** : 45%

Calcul du besoin, de l'apport et du déficit en phosphore de la ration

A l'apprenant : « Qu'en est-il du phosphore maintenant ? »

**Bloc Quizz** : Que sais-tu concernant le métabolisme du phosphore chez un chat ?

- « On veut un apport en phosphore de base de 1.2g/Mcal chez le chat adulte en conditions physiologiques » (+3 points)

- « On veut un apport en phosphore de base de 1.6g/Mcal chez le chat adulte en conditions physiologiques » (-2 points)

- « Il est primordial de réduire la teneur en phosphore dans la ration d'un animal atteint de MRC de stade

débutant » (-2 points)

- « Les aliments du commerce sont rarement supplémentés en phosphore » (-2 points)

- « Le phosphore inorganique est davantage absorbé et a plus d'impact sur la phosphatémie que le phosphore organique » (+3 points)

- « Le phosphore a une importance mineure dans le métabolisme d'un chat » (-2 points)

- « La phosphatémie est régulée par l'absorption intestinale, la fixation ou la résorption osseuse et l'excrétion urinaire » (+3 points)

- « L'hyperphosphatémie peut entraîner une hyperparathyroïdie secondaire à l'origine d'une ostéofibrose rénale et/ou de la précipitation ectopique de calcium dans divers tissus de l'organisme » (+3 points)

Commentaire suite au bloc : « Les aliments industriels sont souvent riches en phosphore car c'est un additif qui a un rôle technologique (texture, goût, conservation mais aussi contrôle du pH urinaire). De nombreux vétérinaire retiennent qu'il faut réduire l'apport en phosphore en cas de MRC et le mettent en place très précocement. Or, dans les stades initiaux de la maladie, cela entraîne un risque plus élevé d'hypercalcémie donc il ne faut pas réduire le phosphore trop vite ! »

**Bloc formulaire** : A présent, calcule le besoin en phosphore de Guizmo (en g/j) :

**Bloc condition** : BPh  $\leq$  0.4 and BPh  $\geq$  0.3 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BPh entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Le besoin en phosphore réel d'un animal dépend du besoin d'entretien et du besoin énergétique théorique selon la formule :  
$$\text{BPh} = \text{BPh entretien} \times (\text{BEth}/1000)$$
- Solution : Ce calcul a l'air de te poser problème alors je vais t'aider.  
$$\text{BPh} = \text{BPh d'entretien} \times (\text{BEthéorique}/1000)$$
  
Or on a dit que le besoin en Ph d'entretien d'un chat adulte était de 1.2g/Mcal, d'où :  
$$\text{BPh} = 1.2 \times (283/1000) = 0.340 \text{ g/j}$$

A l'apprenant : « La maladie rénale de Guizmo étant de stade IRIS 1 (il ne présente pas d'azotémie) et Guizmo étant non protéinurique, il n'y a pas besoin de réduire la quantité de phosphore dans la ration. »

« Au stade IRIS 1, on veut couvrir les besoins en phosphore sans excès. »

**Bloc progression** : 50%

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en phosphore de la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** : APh  $\leq$  0.4 and APh  $\geq$  0.3 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'APh entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il te suffit de regarder le pourcentage de phosphore apporté par les croquettes et de le multiplier par la quantité de croquettes distribuée à Guizmo. Ensuite, tu fais la même chose pour la pâtée et tu sommes les deux résultats pour connaître l'apport global en phosphore de la ration.



- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué je vais t'expliquer la solution.  

$$\begin{aligned} \text{APh} &= \text{APhcroquettes} + \text{APhpâtée} \\ &= \%Ph \times \text{quantité croquettes} + \%Ph \times \text{quantité pâtée} \\ &= 0.7/100 \times 40 + 0.10/100 \times 50 \\ &= 0.33\text{g/j} \end{aligned}$$

Bloc progression : 55%

#### Calcul du besoin et de l'apport protéique

A l'apprenant : « Il nous reste une dernière chose à vérifier concernant la ration de Guizmo, c'est la couverture des besoins protéiques. »

**Bloc Quizz** : Que sais-tu concernant les recommandations en protéines pour un chat ?

- « Il faut absolument réduire la teneur en protéines chez un animal atteint de MRC même débutante pour protéger un maximum ses reins. » (-2 points)
- « Le besoin en protéines d'un chat adulte en conditions physiologiques est de minimum 65g/Mcal » (+3 points)
- « Le besoin en protéines d'un chat adulte en conditions physiologiques est de minimum 90g/Mcal » (-2 points)
- « L'intérêt de la restriction protéique en cas de MRC est débattu mais pourrait être bénéfique en cas de protéinurie » (+3 points)
- « Les protéines sont une source mineure de phosphore » (-2 points)
- « La restriction protéique est à adapter en fonction de la clinique de l'animal et du suivi de son azotémie » (+3 points)
- « Il faut privilégier les protéines hautement digestibles, pauvres en phosphore et couvrir le besoin en acides aminés pour les animaux atteints de MRC » (+3 points)
- « Une restriction protéique sévère n'impacte pas le maintien de la masse musculaire d'un animal » (-2 points)
- « Un animal âgé a un besoin protéique plus élevé » (+3 points)

A l'apprenant : « Une restriction protéique est souvent préconisée pour les chats atteints de MRC, surtout en cas de protéinurie. En effet, un excès de protéines entraîne une accumulation de déchets azotés. De plus, les protéines sont une source majeure de phosphore, largement impliqué dans la progression des lésions rénales. »

« Cependant, aucune étude n'a prouvé que réduire la quantité de protéines dans la ration d'un chat atteint de MRC limitait l'évolution de la maladie. Souvent les animaux atteints de MRC souffrent d'amaigrissement et d'hyporexie donc il faut tout de même que leur ration leur apporte assez d'énergie et de protéines, et soit appétante. »

« Etant donné que la MRC de Guizmo est de stade IRIS I, qu'il est maigre, mange peu et est âgé, on veut absolument couvrir son besoin protéique mais on cherche à limiter les excès d'apports et à privilégier les protéines hautement digestibles. »

**Bloc formulaire** : A présent, calcule le besoin protéique Guizmo (en g/j) :

**Bloc condition** : BPB <= 16 and BPB >= 15 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul du BPB entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour calculer le besoin en protéines brutes de Guizmo, il faut que tu utilises la formule suivante :

BPB = 65 x BEth/1000 avec 65 le besoin protéique de base d'un chat adulte en conditions physiologiques en g/Mcal.

- Solution : Reprenons ensemble le résultat :  
 $BPB = 65 \times BEth/1000 = 65 \times 283/1000 = 18.4g/j.$

Bloc progression : 60%

Bloc formulaire : Quel est l'apport en protéines de la ration (en g/j) ?

Bloc condition : APB <= 22 and APB >= 20 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'APB entraîne l'entrée dans le bloc score et ôte 3 points puis dans le bloc compteur (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il faut que tu procèdes comme pour le calcium et le phosphore.
- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué je vais t'expliquer la solution.  
 $APB = APB_{croquettes} + APB_{patée}$   
 $= \%PB \times \text{quantité croquettes} + \%PB \times \text{quantité pâtée}$   
 $= 0.3 \times 40 + 0.18 \times 50 = 21 \text{ g/j}$

Bloc progression : 65%

Conclusion

Bloc Quizz : Félicitations pour cette analyse des constituants de la ration de Guizmo !

Finalement, quelles remarques peux-tu faire concernant son alimentation actuelle ?

- « Le besoin protéique de Guizmo est couvert » (+3 points)
- « La ration actuelle de Guizmo ne lui permettra pas de prendre du poids » (+3 points)
- « Le ratio Ca/P est trop bas » (-2 points)
- « L'apport en phosphore est trop bas » (-1 points)
- « L'apport en calcium est trop bas » (+3 points)

A l'apprenant : « Avec cette ration, Guizmo va garder son poids stable actuel, mais il faudrait que sa ration couvre son AEC soit 212 kcal/j pour qu'il atteigne son poids idéal.

Son besoin protéique est de 18g/j et l'apport quotidien est de 21g/j donc il y a un léger excès protéique.

Son besoin en Ca est de 0.45 g/j et l'apport est de seulement 0.435g/j, c'est donc un tout petit peu trop bas.

Son besoin en P est de 0.34g/j et l'apport est de 0.33g/j donc c'est correct

Nous avons Ca/P = 1.32 qui est bien compris entre 1.2 et 2. »

Bloc progression : 70%

Bloc Quizz : Quels autres remarques peux-tu faire concernant l'alimentation actuelle de Guizmo ?

- « L'alimentation mixte sèche et humide est une bonne idée » (+3 points)
- « Le rapport w6:w3 des croquettes est adapté à un animal atteint de MRC » (-2 points)
- « Guizmo doit impérativement avoir une alimentation pour chat insuffisant rénal » (-2 points)
- « Il aurait été intéressant de connaître la composition en omégas-3 précise des aliments » (+3 points)

A l'apprenant : « On veut plutôt on veut w6:w3<5 car les w3 ont un effet néphroprotecteur or ici le rapport est de 8.4.

L'hydratation est primordiale pour des animaux atteint de MRC qui ne boivent pas toujours suffisamment, incorporer un aliment humide dans la ration était donc pertinent. »

La vétérinaire à la propriétaire :

- A ce stade débutant de sa maladie rénale, Guizmo doit avoir une alimentation de bonne qualité adaptée aux chats seniors.

Si on réduit le phosphore dans sa ration avec des croquettes pour insuffisant rénal alors qu'il n'est pas protéinurique, pas azotémique et ne présente pas d'hyperphosphatémie, les mécanismes de régulations du calcium et du phosphore risquent de favoriser une hypercalcémie pouvant aboutir à la formation de calculs calciques.

Pour toutes ces raisons, nous allons changer l'aliment donné à Guizmo et lui proposer une ration mixte à base de pâtée et de croquettes.

Bloc progression : 75%

## PARTIE 2 : PROPOSITION D'UNE NOUVELLE RATION INDUSTRIELLE

[Décor n°2]

A l'apprenant : « Il existe une multitude de croquettes disponibles sur le marché vétérinaire. Parmi ces quatre types, clique sur les croquettes que tu recommanderais pour Guizmo : »

Bloc zones cliquables :

Aliment vétérinaire pour chat adulte

COMPOSITION: Riz de brasserie, farine de gluten de maïs, protéines déshydratées de poulet et de dinde, maïs, graisses animales, protéines d'agneau déshydratées, hydrolysat de protéines animales, substances minérales, pulpe de betterave séchée, huile de poisson.

CONSTITUANTS ANALYTIQUES: Protéines 31,7%, Teneur en matières grasses 20,0%, Cellulose brute 0,88%, Cendres brutes 5,5%, Acides gras oméga-3 0,4%, Acides gras oméga-6 3,0%, Calcium 0,81%, Phosphore 0,72%, Sodium 0,37%, Potassium 0,69%, Magnésium 0,06%; par kg: Vitamine A 6 233UI, Vitamine D3 599UI, Vitamine E 650mg, Vitamine C 90mg, Béta-carotène 1,5mg, Taurine 1 919mg.

ADDITIFS PAR KG: Additifs nutritionnels: 3b103 (Fer) 74,2mg, 3b202 (Iode) 1,2mg, 3b405 (Cuivre) 7,3mg, 3b502 (Manganèse) 7,7mg, 3b603 (Zinc) 154mg, 3b801 (Sélénium) 0,2mg; avec un antioxydant naturel.

Aliment vétérinaire pour chat de gamme « renal »

COMPOSITION: Céréales, extraits de protéines végétales, huiles et graisses (huile de poisson 1,6%), viandes et sous-produits animaux (poulet 5%), œufs et sous-produits d'œufs, sous-produits d'origine végétale, minéraux. Sources de protéines: Farine de gluten de maïs, protéines déshydratées de poulet et de dinde, protéines de pois, œufs entiers en poudre, concentré de protéines de riz. Mélange prébiotique ActiBiome® Kidney Defense (1,1 %): Bétaine, son d'avoine, fructo-oligosaccharides.

CONSTITUANTS ANALYTIQUES: Protéines 28,6%, Teneur en matières grasses 21,5%, Cellulose brute 0,95%, Cendres brutes 4,9%, Acides gras Oméga-3 0,8%, Calcium 0,70%, Phosphore 0,47%, Sodium 0,23%, Potassium 0,72%, Magnésium 0,06%; par kg: Vitamine A 8 797UI, Vitamine D3 773UI, Vitamine E 610mg, Vitamine C 95mg, Béta-carotène 2,2mg, L-carnitine 573mg.

ADDITIFS PAR KG: Additifs nutritionnels: 3b103 (Fer) 45,3mg, 3b202 (Iode) 1,1mg, 3b405 (Cuivre) 4,5mg, 3b502 (Manganèse) 4,7mg, 3b603 (Zinc) 79,4mg, 3b801 (Sélénium) 0,1mg, 3a920 (Bétaïne) 5g; avec un antioxydant naturel.

Aliment vétérinaire pour chat de gamme « hypoallergenic renal »

COMPOSITION : Protéines d'insecte déshydratées 31%, pois, riz blanc; riz blanc; Camargue, grasse de canard, pulpe de betterave, hydrolysat de protéines animales, huile de poisson (2%), carbonate de calcium, chlorure de potassium, chlorure de sodium, graine de chia, citrate de potassium, extraits de levures *Saccharomyces cerevisiae*, inuline de chicorée (FOS), chitosan, feuilles d'artichaut, glucosamine (origine marine), sulfate de chondroïtine, yucca schidigera, camelina sp., quillaja saponaria

CONSTITUANTS ANALYTIQUES : Protéines 30%, Teneur en matières grasses 20%, Cellulose brute 3,2%, Cendres brutes 5,2%, Acides gras Oméga-3 1%, Acides gras Oméga-6 3,1%, Calcium 0,75%, Phosphore 0,44%, Sodium 0,2% par kg ; Vitamine A 30 000UI, Vitamine D3 1 300UI, Vitamine E 500mg, Vitamine C 21,2mg, Taurine 2000mg, L-carnitine 50mg, Di-Méthionine 4 000mg, Glucosamine + sulfate de chondroïtine 300mg

ADDITIFS PAR KG : Additifs nutritionnels : Iode 2,5mg, Cuivre 12mg, Manganèse 65mg, Zinc 150mg, Sélénium 0,30mg

Aliment vétérinaire pour chat senior

COMPOSITION : Brisures de riz, riz complet, protéines déshydratées de poulet et de dinde (poulet 9 % ; total volaille 14 %), protéines de pois, farine de gluten de maïs, graisses animales, maïs, pulpe de betterave séchée, huile végétale, hydrolysat, marc de tomate séchées, minéraux, huile de poisson, brocoli séché. Total légumes 3,9 %; Technologie anti-vieillessement (2,2 %) : Marc de tomate séché, brocoli séché.

CONSTITUANTS ANALYTIQUES : Protéines 31,5 %, Teneur en matières grasses 13,6 %, Cellulose brute 2,0 %, Cendres brutes 5,7 %, Calcium 0,75 %, Phosphore 0,66 %, Sodium 0,34 %, Potassium 0,75 %, Magnésium 0,09 %; par kg : Vitamine A 8757 UI, Vitamine D3 752 UI, Vitamine E 850 mg, Vitamine C 95 mg, Béta-carotène 1,5 mg.

ADDITIFS PAR KG : Additifs nutritionnels : 3b103 (Fer) 67,7 mg, 3b202 (Iode) 3,0 mg, 3b405 (Cuivre) 7,9 mg.

Licence EdTech - École Nationale Vétérinaire de Toulouse - Interdit à la revente

- Si l'apprenant clique sur les croquettes pour chat adulte : (-3 points) puis affichage du message : « Actuellement les croquettes de Guizmo ont un RPC de 78g/Mcal et une EM de 3837 kcal/kg. On va chercher des croquettes avec un RPC un peu plus faible pour diminuer légèrement l'apport protéique de Guizmo mais une EM plus importante pour que Guizmo prenne du poids. Ces nouvelles croquettes ont un RPC de 80,7g/Mcal donc il y a un peu plus de protéines, ce n'est pas ce qu'on veut. En revanche l'EM de 3925 kcal/kg est intéressante. Au niveau des minéraux pour ces nouvelles croquettes, on a Ca/P =0,92 c'est trop bas, on veut un rapport compris entre 1.2 et 2. Concernant le phosphore, on a ici 1.83g/Mcal or on ne veut pas dépasser 1.1g/Mcal de P chez un chat atteint de MRC. La teneur en w3 n'est pas très élevée même si on manque d'information pour calculer un rapport w6/w3. En bref, ce ne sont pas les croquettes idéales pour Guizmo. »

- Si l'apprenant clique sur les croquettes de gamme « renal » : (+10 points)
- Si l'apprenant clique sur les croquettes de gamme « hypoallergenic renal » : (-3 points) puis affichage du message :  
 « Actuellement les croquettes de Guizmo ont un RPC de 78g/Mcal et une EM de 3837 kcal/kg. On va chercher des croquettes avec un RPC un peu plus faible pour diminuer légèrement l'apport protéique de Guizmo mais une EM plus importante pour que Guizmo prenne du poids. Ces nouvelles croquettes ont un RPC de 75g/Mcal ce qui est intéressant et sont riches en énergie avec une EM de 4000Kcal/kg.  
 Au niveau des minéraux pour ces nouvelles croquettes, on a Ca/P =1.7 donc on se situe bien entre 1.2 et 2 un apport en phosphore de 1.1g/Mcal ce qui est bon. Ces croquettes sont en plus riches en w3 avec un rapport w6/w3=3.1. En apparence, elles sont donc idéales.  
 Cependant si on regarde un peu plus attentivement elles sont complémentées en méthionine, un a.a souffré qui acidifie le pH urinaire, on n'en veut pas dans le cas de MRC car les animaux sont déjà à risque d'acidose. En plus les protéines végétales sont issues d'insectes, ce n'est pas forcément rédhibitoire mais on a peu de recul sur leur digestibilité. Enfin, ces croquettes contiennent plus de pois que de céréales, or leur amidon est moins digestible pour les chats. Finalement, ces croquettes ne sont pas idéales non plus pour Guizmo. »
- Si l'apprenant clique sur les croquettes de gamme « senior » : (-3 points) puis affichage du message « Actuellement les croquettes de Guizmo ont un RPC de 78g/Mcal et une EM de 3837 kcal/kg. On va chercher des croquettes avec un RPC un peu plus faible pour diminuer légèrement l'apport protéique de Guizmo mais une EM plus importante pour que Guizmo prenne du poids. Ces nouvelles croquettes ont un RPC de 88.5g/Mcal donc il y a un plus de protéines ce n'est pas ce qu'on veut. En plus l'EM est de 3558 kcal/kg, c'est trop faible.  
 Au niveau des minéraux pour ces nouvelles croquettes, on a Ca/P =1.14 c'est trop bas, on veut un rapport compris entre 1.2 et 2. Concernant le phosphore, on a ici 1.85g/Mcal or on ne veut pas dépasser 1.1g/Mcal de P chez un chat atteint de MRC.  
 La teneur en w3 et w6 n'est pas précisée mais 13.6%MG, c'est de toute façon peu pour Guizmo. En bref, ce ne sont pas les croquettes idéales pour Guizmo. »

En cas de mauvaise réponse, l'entrée dans le [bloc score](#) est suivie d'une entrée dans le [bloc compteur](#) (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 2) qui est augmenté de 1. Le joueur a ensuite deux nouvelles tentatives pour tenter de choisir les bonnes croquettes.

A l'apprenant, concernant le bon choix de croquettes : « Actuellement les croquettes de Guizmo ont un RPC de 78g/Mcal et une EM de 3837 kcal/kg. On va chercher des croquettes avec un RPC un peu plus faible pour diminuer légèrement l'apport protéique de Guizmo mais une EM plus importante pour que Guizmo prenne du poids.

Ces nouvelles croquettes ont un RPC de 71.2g/Mcal donc il y a moins de protéines et une EM de 4018 kcal/kg intéressante.

Au niveau des minéraux pour ces nouvelles croquettes, on a Ca/P =1.49, le rapport est donc bien compris entre 1.2 et 2. Concernant le phosphore, on a ici 1.17g/Mcal, c'est légèrement plus haut que la limite de 1.1g/Mcal qu'on se fixe mais c'est tolérable.

La teneur en w6 n'est pas précisée mais les croquettes sont riches en MG et 0.8% w3 c'est plutôt bien. Enfin, contrairement aux autres croquettes rénales, l'amidon provient de céréales et non de légumineuses, les protéines viennent de produits animaux et non d'insectes et enfin, il n'y a pas d'ajout de méthionine. En bref, ce sont les meilleures croquettes pour Guizmo »

[Bloc progression : 80%](#)

« Cette gamme rénale propose des croquettes et de la pâtée. Nous allons proposer une alimentation mixte à Guizmo proche de celle qu'il a déjà. Nous allons donc distribuer 50g de pâtée par jour à Guizmo et calculer la quantité de croquettes qu'il faudra pour compléter son besoin énergétique.

Tu peux retrouver la composition de la nouvelle pâtée et des nouvelles croquettes choisies pour Guizmo dans ton inventaire. »

Bloc modifier inventaire :

### Aliment vétérinaire pour chat de gamme « renal »

COMPOSITION: Céréales, extraits de protéines végétales, huiles et graisses (huile de poisson 1,6%), viandes et sous-produits animaux (poulet 5%), œufs et sous-produits d'œufs, sous-produits d'origine végétale, minéraux. Sources de protéines: Farine de gluten de maïs, protéines déshydratées de poulet et de dinde, protéines de pois, œufs entiers en poudre, concentré de protéines de riz. Mélange prébiotique ActivBiome+ Kidney Defense (1,1 %): Bétaïne, son d'avoine, fructo-oligosaccharides.

CONSTITUANTS ANALYTIQUES: Protéines 28,6%, Teneur en matières grasses 21,5%, Cellulose brute 0,95%, Cendres brutes 4,9%, Acides gras Oméga-3 0,8%, Calcium 0,70%, Phosphore 0,47%, Sodium 0,23%, Potassium 0,72%, Magnésium 0,06%; par kg: Vitamine A 8 797UI, Vitamine D3 773UI, Vitamine E 610mg, Vitamine C 95mg, Bêta-carotène 2,2mg, L-carnitine 573mg.

ADDITIFS PAR KG: Additifs nutritionnels: 3b103 (Fer) 45,3mg, 3b202 (Iode) 1,1mg, 3b405 (Cuivre) 4,5mg, 3b502 (Manganèse) 4,7mg, 3b603 (Zinc) 79,4mg, 3b801 (Sélénium) 0,1mg, 3a920 (Bétaïne) 5g, avec un antioxydant naturel.

### Pâtée vétérinaire pour chat de gamme « renal »

COMPOSITION : Viandes et sous-produits animaux (poulet 12 %), céréales, sucres, œufs et produits d'œufs, sous-produits d'origine végétale, huiles et graisses, matières minérales. Mélange de prébiotiques ActivBiome+Kidney defense (0,29 %) : Bétaïne, son d'avoine, fructo-oligosaccharides. Sources de protéines : Foie de porc, poulet, œufs en poudre.

CONSTITUANTS ANALYTIQUES : Protéines 7,8 %, Lipides 6,0 %, Fibres brutes 0,71 %, Cendres brutes 1,6 %, Humidité 73,0 %, Calcium 0,35 %, Phosphore 0,14 %, Sodium 0,08 %, Potassium 0,31 %, Magnésium 0,02 % ; par kg : Vitamine A 19067 UI, Vitamine D3 435 UI.

ADDITIFS PAR KG : Additifs nutritionnels : 3b103 (Fer) 11,2 mg, 3b202 (Iode) 0,4 mg, 3b405 (Cuivre) 1,0 mg, 3b502 (Manganèse) 2,5 mg, 3b603 (Zinc) 35,7 mg, 3a920 (Bétaïne) 1,3 g; coloré avec du caramel.

→ les documents « Composition des nouvelles croquettes de Guizmo » et « Composition de la nouvelle pâtée de Guizmo » sont rendus visibles dans l'inventaire jusqu'à la fin de la scène

#### Calcul de l'apport énergétique fourni par la pâtée

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport énergétique lié à la pâtée de Guizmo (en kcal/j) ?

**Bloc condition** :  $AEp \geq 50$  and  $AEp \leq 55$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'AEp entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour calculer l'apport, il faut que tu multiplies la valeur énergétique de l'aliment c'est-à-dire son énergie métabolisable par la quantité de pâtée distribuée.

Avant de réessayer de calculer l'AEp, il est proposé au joueur d'avoir un rappel concernant la formule pour calculer l'EM d'un aliment humide pour chat. S'il l'accepte, le message suivant apparaît :

« Pour calculer l'EM d'un aliment humide pour chat, on utilise la formule :

$$\text{EM (kcal/kg)} = 39 \times \%PB + 77 \times \%MG + 30 \times \%ENA - 50$$

$$\text{avec } \%ENA = 100 - \%humidité - \%PB - \%MG - \%CB - \%Mm$$

- Solution : Reprenons le résultat ensemble :  
 $ENA = 100 - 73 - 7.8 - 6 - 0.71 - 1.6 = 10.89\%$   
 $EM = 39 \times 7.8 + 77 \times 6 + 30 \times 10.89 - 50 = 1043 \text{ kcal/kg}$   
Et enfin pour calculer l'apport énergétique lié à la pâtée pour chat :  
 $AEp = \text{qté pâtée} \times EMp = 0.050 \times 792.51043 = 52 \text{ kcal/j.}$

A l'apprenant : « Je te rappelle que l'apport énergétique corrigé de Guizmo qu'on cherche à couvrir est de 212 kcal/j. »

**Blog progression : 85%**

Calcul de la quantité de croquettes

**Bloc formulaire** : Calculons la quantité de croquettes à distribuer (en g/j) pour couvrir l'apport énergétique corrigé de Guizmo :

**Bloc condition** : Qtté <= 42 and Qtté >= 38 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de la Qtté entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour déterminer la quantité de croquettes à distribuer à Guizmo, il faut que tu calcules d'abord l'apport énergétique que doivent couvrir les croquettes en considérant l'AEC auquel tu retires l'apport énergétique fourni par la pâtée. Ensuite tu obtiens la quantité de croquettes par rapport à l'EM de tes croquettes.
- Solution : Ce n'est pas très compliqué, je vais t'expliquer la solution :  
Lors du choix des croquettes, nous avons calculé  $EM = 4018 \text{ kcal/kg}$ .  
Quantité à distribuer = (apport énergétique à couvrir x 1000)/EM  
 $= [(AEC - AEp) \times 1000] / EM = [(212 - 52) \times 1000] / 4018 = 40 \text{ g/j}$

A l'apprenant : « Finalement, les quantités de pâtée et de croquettes que recevra Guizmo seront les mêmes qu'avec sa ration précédente ! »

**Blog progression : 90%**

A l'apprenant : « Intéressons-nous maintenant aux minéraux de la ration. »

Calcul de l'apport en calcium de la ration

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en calcium de la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** : ACa <= 0.5 and ACa >= 0.4 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'ACa entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide

au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il te suffit de regarder le pourcentage de calcium apporté par les croquettes et de le multiplier par la quantité de croquettes distribuée à Guizmo. Ensuite, tu fais la même chose pour la pâtée et tu sommes les deux résultats pour connaître l'apport global en calcium de la ration.
- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué je vais t'expliquer la solution.  
 $ACa = ACacroquettes + ACatée$   
 $= \%Ca \times \text{quantité croquettes} + \%Ca \times \text{quantité pâtée}$   
 $= 0.7/100 \times 40 + 0.35/100 \times 50 = 0.455g/j.$

Bloc progression : 95%

Bloc Vrai/Faux : L'apport en calcium de la ration couvre les besoins de Guizmo

Vrai (+3 points)

Faux (-2points)

Message suite au bloc : « L'apport en calcium de la ration est de 0.45g/j , c'est même exactement le besoin de Guizmo ! »

Bloc Vrai/Faux : L'apport en phosphore de la ration dépasse la valeur recommandée pour Papichat.

Vrai (-2 points), suivi du message « Tu obtiens l'apport en phosphore en procédant exactement comme pour le calcium. On a  $A_{Ph}=0.26g/j$  et on ne veut pas dépasser le besoin en phosphore de 0.33g/j de Guizmo. »

Faux (+3 points), suivi du message « En effet, l'apport en phosphore de la ration est de 0.26g/j et le besoin en phosphore de Guizmo est de 0.33g/j. »

Bloc Vrai/Faux : Le rapport Ca/P de la ration trop haut

Vrai (-2 points)

Faux (+3 points)

Message suite au bloc : « On a  $Ca/P = 1.7$  et on veut un rapport entre 1.2 et 2 pour un chat souffrant de MRC. Même s'il y a un léger déficit en P, le rapport n'est pas trop haut donc ce n'est pas problématique pour Guizmo. »

Dialogue entre la vétérinaire et la propriétaire :

- Vous pourrez acheter des boîtes de pâtée et des croquettes de cette marque rénale, elles sont parfaites pour Guizmo. Il faudra lui distribuer 50g de pâtée par jour et qu'il mange environ 40g de croquettes par jour, mais laissez-les lui à volonté.  
Pensez à réaliser une transition alimentaire sur 15 jours entre son alimentation actuelle et ses nouvelles croquettes pour éviter qu'il n'ait des troubles digestifs.  
S'il ne mange pas sa pâtée assez vite, veillez à lui distribuer en plusieurs fois pour éviter qu'elle ne sèche.
- Très bien merci beaucoup Docteur, je vais appliquer vos conseils à la lettre.
- Parfait, on se revoit dans un mois pour faire le point sur l'état de santé de Guizmo dans ce cas ! Si d'ici-là vous avez le moindre souci ou une question, n'hésitez pas à me contacter.
- D'accord Docteur, merci, au revoir !

\*Fin du scénario\*

Affichage du score :

★ : de 0 à 30 points, commentaire « *Ce n'était pas facile mais tu es arrivé au bout du scénario ! N'hésite pas à le refaire pour améliorer ton score !* »

★★ : de 31 à 80 points, commentaire « *Ce n'est pas mal du tout, n'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score !* »

★★★ : de 81 à 130 points, commentaire « *C'est bien ! N'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score ou bien à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★ : de 131 à 190 points, commentaire « *Super ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★★ : de 191 à 240 points, commentaire « *Ouah, tu es vraiment à l'aise en calcul de ration ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios !* »

Le jeu sérieux portant sur Guizmo a été scindé en deux scénarios distincts pour éviter que le jeu ne soit trop long. L'apprenant peut ainsi cesser sa partie suite au premier scénario ou poursuivre sur le deuxième scénario

## Scénario 2 : Proposition de ration ménagère et visite de suivi

### **PARTIE 1 : PROPOSITION DE RATION MENAGERE**

[Décor n°3]

#### Message introductif

« Durant toute la durée du scénario, tu peux cliquer sur la barre espace pour accélérer les dialogues. Si tu te trompes plus de trois fois sur une valeur, la correction sera automatiquement affichée et tu pourras passer à la suite de l'exercice. Durant le scénario, certains documents vont apparaître. Ils resteront à ta disposition durant tout le scénario dans ton inventaire. Tu peux cliquer sur le bouton pause pour stopper le jeu et sur l'icône de petite valise pour ouvrir ton inventaire. Une barre de progression matérialisant ton avancée dans le scénario se trouve en haut de l'écran. »

#### Introduction du scénario

Dialogue entre la vétérinaire et la propriétaire :

- Bonjour Docteur.
- Bonjour Madame Joseph, qu'est-ce qui vous amène aujourd'hui ?
- C'est de nouveau concernant l'alimentation de Guizmo. Il ne mange pas beaucoup ses croquettes, et puis ça m'embête de devoir lui donner des choses industrielles, j'aimais bien cuisiner pour lui.
- Aucun souci, je vais vous faire un petit calcul pour que vous puissiez lui cuisiner une ration adaptée à ses besoins.
- Docteur vous savez je veux le meilleur pour mon tout petit, peu importe le coût et le temps que ça me prend alors mettez moi les meilleurs ingrédients, je viderai mon compte épargne s'il le faut !

**Bloc appariement** : Nous allons commencer par choisir les matières premières qui constitueront la ration et définir leur quantité. Pour cela peux-tu rappeler à la propriétaire les apports énergétiques que doit couvrir chaque matière première ?

La source de protéines ⇔ Doit couvrir minimum 90% du besoin protéique

La source de matière grasses et la source de fibres ⇔ Doivent couvrir 2% à 10% du besoin énergétique théorique

La source de glucides ⇔ Doit permettre de couvrir le reste de l'AEC calculé plus tôt

Le complément minéral vitaminé ⇔ A un apport énergétique négligeable

Si tous les appariements sont bons (+ 3 points), sinon (-2 points)



## Bloc progression : 5%

A l'apprenant : « Commençons par choisir la source de protéines. On veut des protéines de bonne qualité, riches en énergie et appétentes. On ne veut pas d'os dans la ration pour limiter l'apport en phosphore. »

« Comme nous l'avons dit précédemment, nous allons couvrir le besoin protéique de Guizmo sans le restreindre dans un premier temps, mais nous ne voulons pas d'excès protéique. La source de protéines couvrira donc 90% du besoin protéique. »

« Si cela te convient, on peut choisir du steak à 15% MG qui est une bonne source de protéines et de calories. »

« Pour les fibres, on peut proposer des courgettes cuites. Penses-tu qu'il en faille beaucoup à Guizmo ? »

**Bloc Vrai/Faux** : Il faut limiter les fibres fermentescibles dans l'alimentation des animaux atteints de MRC pour préserver leurs reins.

Vrai (-2 points) : message « Au contraire ! Il a été démontré que les fibres fermentescibles favorisent l'excrétion rénale des déchets azotés et elles sont riches en eau or l'hydratation est primordiale en cas de MRC »

Faux (+3 points) : message « En effet, il a été démontré que les fibres fermentescibles favorisent l'excrétion rénale des déchets azotés et elles sont riches en eau or l'hydratation est primordiale en cas de MRC »

A l'apprenant : « On peut donc choisir une quantité de courgettes qui couvrira par exemple 3% du BEth de Guizmo. On pourrait prendre plus mais Guizmo est un petit mangeur, or, les courgettes ne sont pas très caloriques. Il ne faudrait pas que la ration aboutisse à une quantité qu'il ne finira pas. »

## Bloc progression : 10%

**Bloc QCM** : Maintenant concernant le choix de la source de matière grasse, quelle huile recommanderais-tu ?

- De l'huile de saumon (+3 points)
- De l'huile de colza (-2 points)
- De l'huile d'olive (-2 points)
- De l'huile de lin (+2 points)

Message suite au QCM : « En effet, les régimes riches en acides gras saturés aggravent l'hyperlipidémie souvent présente en cas de MRC alors que les régimes riches en acides gras insaturés (w3 et w6) ont l'effet inverse.

La supplémentation en huile de saumon particulièrement riche en w3 paraît ici la plus indiquée. Il a été montré que l'huile de poisson limite la progression des lésions rénales. L'huile de lin reste un bon compromis et est moins onéreuse.»

A l'apprenant : « Je te propose de couvrir 5% du BEth de Guizmo avec l'huile de saumon. »

« Nous allons compléter le reste de l'AEC avec du riz blanc. Je préfère donner les quantités au propriétaire en cru pour éviter les variations liées au mode de cuisson.

Bien sûr, nous avons fixé des valeurs de couverture du BEth ensemble mais tant que tu restes dans les intervalles de couverture dont nous avons parlé tout à l'heure, d'autres choix sont possibles ! Tu aurais par exemple très bien pu choisir que ta source de fibres couvre 5% du BEth et ta source de MG 8%. Il faut juste garder en tête que Guizmo mange peu et doit grossir. »

« A présent, calculons les quantités pour chaque aliment. Tu peux trouver les informations concernant la composition de chaque constituant de la ration dans ton inventaire. Je te rappelle que nous avons calculé : BPB = 18.4 g/j et BEC= 212 kcal/j »

## Bloc modifier inventaire :

Nom	NRJ (kcal/100g)	PB (%)	Ca (%)	P (%)
Steak hâché 15%	239	23.6	0.015	0.198
Courgettes cuites	15,5	0,93	0,019	0,065
Riz blanc cru	350	7,4	0,033	0,118

→ le document « Composition de la ration ménagère de Guizmo » est rendu visible dans l'inventaire jusqu'à la fin de la scène

### Bloc progression : 15%

#### Calcul de la quantité de steak

**Bloc formulaire** : Quelle quantité de steak faut-il distribuer à Guizmo (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $Q_s \leq 72$  and  $Q_s \geq 68$  (+10 points)  
Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_s$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : On veut que la quantité de steak couvre 90% du BPB de Guizmo, sachant qu'il contient 23.6% de PB.
- Solution : Je vais t'expliquer la solution. On calcule la quantité de steak à distribuer sachant qu'elle doit couvrir 90% du besoin protéique :  
Quantité prot =  $90\% \times \text{BPB} = 0.9 \times 18.4 = 16.6\text{g}$   
Quantité steak =  $(\text{Quantité prot} \times 100) / \% \text{ PB steak} = (16.6 \times 100) / 23.6 = 70 \text{ g/j}$

### Bloc progression : 25%

#### Calcul de la quantité de courgettes

**Bloc formulaire** : Quelle quantité de courgettes faut-il distribuer à Guizmo (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $Q_c \leq 60$  and  $Q_c \geq 50$  (+10 points)  
Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_c$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : On veut que les courgettes couvrent 3% du BEth.  
Ensuite on procède comme pour le bœuf mais cette fois en se basant sur les valeurs énergétiques :  
Quantité =  $[(0.03 \times \text{BEth}) \times 100] / \% \text{NRJ}$
- Solution : Je vais t'expliquer la solution.  
On calcule la quantité de courgettes sachant qu'elles doivent couvrir 3% du BEth de Guizmo soit un apport énergétique de  $0.03 \times 283 = 8.5 \text{ kcal/j}$ .  
Ensuite pour avoir la quantité de courgettes, on regarde l'apport énergétique fourni par les courgettes par rapport à leur densité énergétique :  
Quantité =  $(\text{AEx}100) / \text{NRJ} = (8.5 \times 100) / 15.5 = 55 \text{ g/j}$

Bloc progression : 35%

### Calcul de la quantité d'huile

**Bloc formulaire** : Quelle quantité d'huile faut-il ajouter à la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $Q_h \leq 2$  and  $Q_h \geq 1$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_h$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : On veut que l'huile couvre 5% du BEth de Guizmo.  
Ensuite on procède comme pour les courgettes.  
On rappelle que toutes les huiles apportent 9000kcal/kg
- Solution : Pas de panique, reprenons ensemble la solution.  
On calcule la quantité d'huile sachant qu'elle doit couvrir 5% du BEth de Guizmo soit un apport énergétique de  $0.05 \times 283 = 14,15$  kcal/j.  
Ensuite pour avoir la quantité d'huile, on regarde l'apport énergétique fourni l'huile par rapport à sa densité énergétique :  
Quantité =  $(AEx100)/NRJ = (11.9 \times 100)/900 = 1.6$  g/j

Bloc progression : 45%

### Calcul de la quantité de riz

**Bloc formulaire** : Combien de riz cru faudra-t-il à Guizmo ? (en g/j) :

**Bloc condition** :  $Q_r \leq 7$  and  $Q_r \geq 6$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_r$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Le riz doit compléter l'apport énergétique nécessaire pour couvrir les besoins de Guizmo liés à sa dépense énergétique ainsi qu'au poids qu'il doit prendre. Il te faut donc sommer tous les apports énergétiques liés aux autres aliments de la ration et regarder le nombre de kilocalories qu'il manque pour combler l'apport énergétique corrigé calculé plus tôt : cela correspond à l'apport énergétique que doit fournir le riz. Tu pourras ensuite calculer sa quantité sur le même modèle que pour l'huile et les courgettes.
- Solution : Voyons ce qui a pu te poser problème.  
On calcule l'apport énergétique qui doit être fourni par le riz en regardant ce qu'il manque à la ration pour combler le besoin énergétique de Guizmo lié à ses dépenses énergétiques et sa prise de poids :  
 $A_{Eriz} = A_{EC} - A_{ESteak} - A_{ECourgettes} - A_{Ehuile} = 212 - 168 - 8,5 - 14,2 = 21,3$  kcal/j  
Ensuite pour avoir la quantité de riz, on regarde l'apport énergétique fourni par le riz par rapport à sa densité énergétique :  
Quantité =  $(AEx100)/NRJ = (21,3 \times 100)/350 = 6$  g/j de riz cru

A l'apprenant : « Maintenant on va s'intéresser aux minéraux de la ration. Commençons par le calcium. »

Bloc progression : 55%

### Calcul de l'apport en calcium de la ration

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en calcium de la ration (en g/j) ? :

**Bloc condition** :  $ACa \leq 0.1$  and  $ACa \geq 0.085$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de l'ACa entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Il te suffit de regarder le pourcentage de calcium apporté chaque aliment et de le multiplier par la quantité d'aliment correspondant. Ensuite, tu sommes les différents pour avoir l'apport global en calcium de la ration.
- Solution : Ce serait bête que tu restes bloqué je vais t'expliquer la solution.  
 $ACa = AC_{steak} + AC_{courgettes} + AC_{riz}$  car l'huile n'apporte pas de minéraux  
 $= \%Cas \times \text{quantité steak} + \%Cac \times \text{quantité courgettes} + \%Car \times \text{quantité riz}$   
 $= 0.015 \times 0.70 + 0.019 \times 0.55 + 0.033 \times 0.06$   
 $= 0.023 \text{ g/j.}$

A l'apprenant : « Qu'en est-il du phosphore ? »

**Bloc progression** : 65%

### Calcul de l'apport en phosphore de la ration

**Bloc formulaire** : Quel est l'apport en phosphore de la ration (en g/j) ? :

**Bloc condition** :  $A_{Ph} \leq 0.3$  and  $A_{Ph} \geq 0.25$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

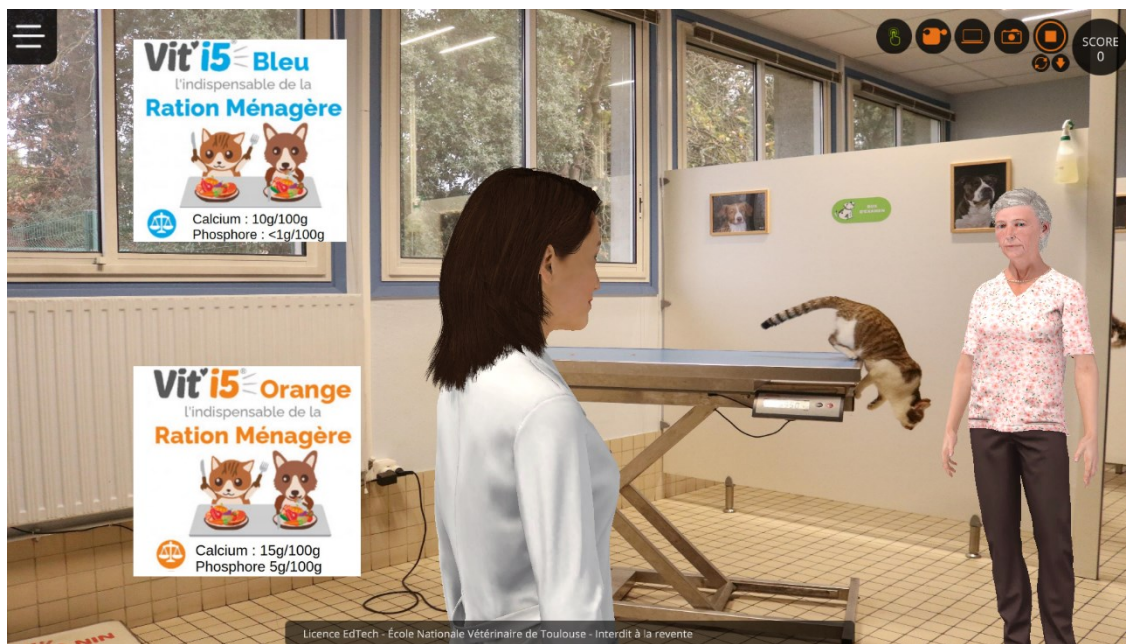
Une erreur lors du calcul de l'A<sub>Ph</sub> entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : C'est comme pour le calcium ! Il te suffit de regarder le pourcentage de phosphore apporté par chaque aliment et de le multiplier par sa quantité. Ensuite, tu sommes les apports de chaque aliment pour avoir l'apport global en phosphore de la ration.
- Solution On va reprendre ensemble la solution.
- $A_{Ph} = A_{Phsteak} + A_{Phcourgettes} + A_{Phriz}$  car l'huile n'apporte pas de minéraux  
 $= \%Phs \times \text{quantité steak} + \%Phc \times \text{quantité courgettes} + \%Phr \times \text{quantité riz}$   
 $= 0.198 \times 0.70 + 0.065 \times 0.55 + 0.118 \times 0.06$   
 $= 0.18 \text{ g/j}$

A l'apprenant : « Il y a donc un déficit de 0.43g/j de calcium et de 0.16g/j de phosphore sans complémentation. »

« On dispose de 2 types d'AMV pour compléter la ration. Lequel voudrais-tu utiliser ? »

Bloc zones cliquables :



- Vit'i5 bleu (-5 points)
- Vit'i5 orange (+10 points)

A l'apprenant : « Nous avons dit que nous ne voulions pas restreindre Guizmo en phosphore dans un premier temps, ou alors de façon très légère. Or, nous avons un déficit assez important de 0,16g de phosphore et un déficit environ trois fois plus élevé en calcium. Nous allons donc choisir l'AMV vit'i5 orange qui apporte trois fois plus de calcium que de phosphore, mais qui permettra tout de même de compléter l'apport phosphoré nécessaire à Guizmo »

Bloc modifier inventaire :



→ le document « AMV ration ménagère de Guizmo » est rendu visible dans l'inventaire jusqu'à la fin de la scène

Bloc progression : 75%

### Calcul de la quantité d'AMV

**Bloc formulaire** : Quelle est la quantité d'AMV nécessaire pour équilibrer la ration (en g/j) ?

**Bloc condition** :  $Q_{amv} \leq 3,2$  and  $Q_{amv} \geq 2,8$  (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de  $Q_{amv}$  entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : On va chercher à finir de couvrir le besoin en calcium de Guizmo avec l'AMV. L'AMV apporte 15% de Ca.
- Solution : Nous avons dit qu'il manquait 0,43g de calcium à la ration et que l'AMV est constitué à 15% de calcium donc 1g d'AMV apporte 0.15g de calcium. D'où quantité AMV =  $0.43/0.15 = 2,9g/j$ . En pratique cette dose sera arrondie à 3g.

**Bloc QCM** : Que penses-tu du rapport phospho-calcique de la ration ?

- Il est correct ! (+3 points)
- Il est trop haut (-2 points)
- Il est trop bas (-2 points)

Message suite au QCM : « L'apport en phosphore est de 0.18g auxquels s'ajoutent les  $3 \times 0,05 = 0,15g$  liés à l'AMV. Donc on a un APH final de 0,33g. Finalement on a  $Ca:P = 0.453/0.33 = 1.37$ . Nous avons donc en effet bien un rapport phospho-calcique compris entre 1.2 et 2 et les besoins en phosphore de 0.34g/j sont presque parfaitement couverts. »

**Bloc progression** : 80%

### Conclusion

**Bloc Quizz** : Quelles recommandations peux-tu faire à la propriétaire concernant cette ration ménagère ?

- « Elle peut congeler le riz une fois cuit pour gagner du temps tant qu'il n'a jamais été congelé au préalable » (-2 points)
- « Il faut conserver l'AMV et l'huile au frais » (-2 points)
- « Ne pas faire cuire l'huile et l'AMV » (+3 points)
- « Ajouter un peu de sel à la ration pour augmenter son appétence » (-2 points)
- « Utiliser de l'huile de poisson en capsule pour éviter qu'elle ne s'oxyde » (+3 points)
- « Pocher la viande à minima pour éviter la transmission de salmonelles » (+3 points)
- « Faire un suivi des selles de Guizmo » (+3 points)
- « Mixer l'ensemble de la ration pour proposer quelque chose d'homogène afin d'éviter que Guizmo ne trie sa ration » (+3 points)
- « Réaliser une transition alimentaire progressive entre l'alimentation actuelle de Guizmo et sa future ration » (+3 points)

La propriétaire à la vétérinaire :

- Très bien Docteur merci pour vos conseils. En changeant l'alimentation de Guizmo, combien de temps faudra-t-il pour qu'il atteigne le poids qu'il devrait faire idéalement ?

**Bloc progression** : 85%

### Calcul du délai pour la prise de poids

**Bloc formulaire** Calculons le nombre de jours nécessaire pour que Guizmo atteigne son poids idéal :

**Bloc condition** : Durée  $\leq$  185 and Durée  $\geq$  180 (+10 points)

Sinon (-3 points)

Une erreur lors du calcul de la Durée entraîne l'entrée dans le **bloc score** et ôte 3 points puis dans le **bloc compteur** (initialisé à 0 avec une valeur maximale de 3) qui est augmenté de 1 avant de proposer de l'aide au joueur. Il peut accepter l'aide avant de retenter de donner une réponse ou bien retenter de répondre sans aide. S'il se trompe plus de 3 fois, la solution lui est donnée

- Aide : Pour calculer la durée on divise le nombre de kcal que doit gagner Guizmo par l'excès énergétique apporté par la ration.  
Cet excès énergétique est la différence entre l'apport énergétique de la ration (AEC) et le besoin énergétique réel de Guizmo (BER).
- Solution : Pas de panique ! Reprenons en détail le calcul :  
Guizmo doit gagner 430g or 1 kg correspond à 8000kcal donc il doit gagner 3440kcal.  
L'excès énergétique de sa ration se calcule de la manière suivante :  
Excès = AEC-BER = 212 – 193 = 19 kcal/j  
Donc la durée nécessaire = Nb de calories à gagner/ excès quotidien = 3440/19 = 181 jours.

Dialogue entre la vétérinaire et la propriétaire :

- D'accord donc il faudra attendre environ 6 mois. Merci beaucoup pour vos précieux conseils Docteur, j'espère que Guizmo ira mieux.
- J'espère aussi ! Je vous propose de nous revoir d'ici un mois pour faire un point sur l'état de santé de Guizmo, voir s'il a bien accepté sa nouvelle ration et regarder s'il a commencé à prendre du poids. Évidemment si d'ici-là son état de santé se dégrade ou si vous rencontrez des difficultés avec sa nouvelle alimentation, n'hésitez pas à me recontacter !
- Très bien, merci. A dans un mois alors !

**Bloc progression** : 90%

## **PARTIE 2 : VISITE DE SUIVI**

[Décor n°4]

### Introduction du scénario

Dialogue entre la vétérinaire et la propriétaire :

- Bonjour Mme Joseph. Comment va Guizmo depuis notre dernière consultation ?
- Il va bien, il aime beaucoup sa ration et il mange bien.
- Super !
- Par contre vous m'aviez dit de faire un suivi de ses selles, je trouve qu'il est un peu constipé...
- Ah d'accord, nous allons essayer de remédier à cela alors. Je vais d'abord aller l'examiner et contrôler sa fonction rénale avec une petite prise de sang, puis nous discuterons de ce que nous pouvons mettre en place.

Message : « Examen clinique de Guizmo

Température : 38.5°C

NEC : 4/9

Poids : 4.350 g

Examen cardio-respiratoire : sans anomalie

Pression artérielle systolique : 138 mmHg

Analyse urinaire : sans anomalie  
 Palpation abdominale : tendue  
 Pli de peau légèrement persistant »





« J'ai réalisé une analyse sanguine de la fonction rénale de Guizmo que tu peux retrouver dans ton inventaire. Tu y trouveras aussi un rappel sur les critères de classification IRIS chez le chat. »

[Bloc modifier inventaire](#) et [ouvrir inventaire](#) :

**REIN :**

SDMA (EIA)	17	0-14	µg/dL
Créatinine	14,5	9-23	mg/L
Urée	0,55	0,34-0,81	g/L
Sodium	149,7	147-159	mmol/L
Potassium	3,9	3,3-5,8	mmol/L
Phosphates inorganiques	1,1	0,8-2,2	mmol/L

				
	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4
	Pas d'azotémie (Créatinine normale)	Légère azotémie (Créatinine normale ou légèrement élevée)	Azotémie modérée	Azotémie sévère
<b>Créatinine en mg/dL</b>	Inférieure à 1.4 (125 µmol/L)	1.4-2.8 (125 - 250 µmol/L)	2.9-5.0 (251 - 440 µmol/L)	Supérieure à 5.0 (440 µmol/L)
Stade reposant sur une créatinine stable	Chien	Chien	Chien	Chien
	Chat	Chat	Chat	Chat
<b>SDMA* en µg/dL</b>	Inférieure à 18	18-35	36-54	Supérieure à 54
Stade reposant sur une SDMA stable	Chien	Chien	Chien	Chien
	Chat	Chat	Chat	Chat

→ les documents « Bilan sanguin de Guizmo » et « Classification IRIS » sont rendus disponibles dans l'inventaire pendant toute la durée de la scène.

**Bloc Quizz :** Que penses-tu de l'examen clinique de Guizmo ?

*Rappel : Pression artérielle systolique : 138 mmHg (normal en dessous de 140mmHg)*

*Analyse urinaire : sans anomalie*

- « Guizmo est normotherme » (+3 points)
- « La fonction rénale de Guizmo s'est dégradée : il est maintenant au stade IRIS 2 » (-2 points)
- « Guizmo semble constipé » (+3 points)
- « La prise de poids de Guizmo est satisfaisante » (+3 points)
- « Guizmo présente une azotémie » (-2 points)
- « Guizmo est hypertendu » (-2 points)
- « Guizmo n'est pas protéinurique » (+3 points)

**Bloc progression : 95%**

Dialogue entre la vétérinaire et la propriétaire :

- Guizmo est toujours au stade IRIS 1 : sa SDMA est un peu élevée mais reste inférieure au seuil de 18µg/dL de plasma, son urémie et sa créatinémie sont dans les normes. Son analyse urinaire ne



montre pas de protéinurie. Sa kaliémie ou sa tension artérielle qui peuvent être impactée par sa MRC sont dans les normes. Ce bilan est donc satisfaisant.

Guizmo a pris 50g depuis la dernière consultation. Nous avons estimé qu'il prendrait environ 70g par mois (430g en 6 mois) mais j'avais préconisé une transition alimentaire qui a forcément ralenti un peu la prise de poids. Quoiqu'il en soit la prise de poids de Guizmo est rassurante.

- Ah, je suis ravie Docteur !

**Bloc Quizz :** Que pourrais-tu préconiser pour lutter contre la constipation de Guizmo ?

- « L'ajout d'une fontaine à eau pour favoriser la prise de boisson » (+3 points)
- « Une demi-cuillère à café par jour de montmorillonite (argile) dans sa ration » (-2 points)
- « Une demi-cuillère à café par jour de psyllium dans sa ration » (+3 points)
- « L'ajout d'un peu plus de courgettes à sa ration s'il termine sa gamelle » (+3 points)
- « Augmenter la part de steak dans sa ration » (-2 points)

Message suite au bloc : « Même si les deux options sont valables, on choisit d'ajouter dans un premier temps soit du psyllium, soit des courgettes mais pas les deux à la fois. »

Dialogue entre la vétérinaire et la propriétaire :

- Pour lutter contre la constipation, on cherche à favoriser l'hydratation de Guizmo. L'ajout de psyllium qui contient des fibres alimentaires particulièrement solubles se gélifiant dans l'intestin et permettant de lubrifier le contenu digestif est intéressant à utiliser ponctuellement lors de constipation. A l'inverse, la montmorillonite a des propriétés absorbantes et est utilisée comme anti-diarrhéique.

Ajouter un peu de fibres solubles à la ration peut également favoriser le transit de Guizmo qui par ailleurs a encore du poids à prendre, mais la consommation de fibres ne doit pas se faire au dépend des autres aliments.

Je vous propose qu'on fasse un bilan par téléphone à la fin de la semaine une fois que vous aurez mis en place ces petites modifications et si tout est rentré dans l'ordre, on planifiera un contrôle de l'état de santé de Guizmo dans 3 mois.

- Très bien merci Docteur, je vais aller acheter du psyllium et une fontaine à eau pour mon Guizmo. Au revoir.

\*Fin du scénario\*

Affichage du score :

★ : de 0 à 20 points, commentaire « *Ce n'était pas facile mais tu es arrivé au bout du scénario ! N'hésite pas à le refaire pour améliorer ton score !* »

★★ : de 21 à 39 points, commentaire « *Ce n'est pas mal du tout, n'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score !* »

★★★ : de 40 à 69 points, commentaire « *C'est bien ! N'hésite pas à te réentraîner pour améliorer ton score ou bien à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★ : de 70 à 109 points, commentaire « *Super ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios* »

★★★★★ : de 110 à 150 points, commentaire « *Ouah, tu es vraiment à l'aise en calcul de ration ! N'hésite pas à tester tes compétences sur d'autres scénarios !* »

**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

**Pour autorisation d'impression de la thèse d'exercice en vue de l'obtention du  
diplôme d'Etat de docteur vétérinaire**

Je soussignée, Annabelle MEYNADIER, Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directrice de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **DEMESMAY Lisa, Meg, Tepoe**, intitulée « **Élaboration d'un jeu sérieux à but pédagogique pour l'apprentissage de la nutrition des carnivores domestiques en cas de maladie rénale, à destination des élèves de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

**Fait à Toulouse, le 16/09/2024**  
**Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale**  
**Vétérinaire de Toulouse**  
**Professeure Annabelle MEYNADIER**



**Vu :**  
**La Présidente du jury**  
**Professeure Isabelle RAYMOND-LETRON**

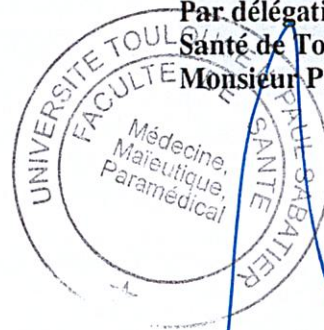


**Vu :**  
**Le Directeur de l'Ecole Nationale**  
**Vétérinaire de Toulouse**  
**M. Pierre SANS**



Toulouse le 19/09/2024

**Vu et autorisation de l'impression :**  
**La Présidente de l'Université Paul**  
**Sabatier**  
**Madame Odile RAUZY**  
**Par délégation, le Doyen de la faculté de**  
**Santé de Toulouse**  
**Monsieur Philippe POMAR**



DEMESMAY Lisa, Meg, Tepoe  
a été admis(e) sur concours en : 2019  
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 13/07/2023  
a validé l'ensemble des crédits ECTS relatifs à la préparation de la thèse d'exercice le : 21/06/2024

Lisa DEMESMAY

**Elaboration d'un jeu sérieux à but pédagogique pour l'apprentissage de la nutrition des carnivores domestique en cas de maladie rénale, à destination des élèves de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse**

RÉSUMÉ

Cette thèse a permis l'élaboration d'un jeu pédagogique portant sur la nutrition des chiens et des chats atteints de maladie rénale chronique. Cet outil, à destination des étudiants de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, a pour objectif de rendre plus ludique et plus facile l'apprentissage du calcul de rations dans un contexte pathologique. La première partie de ce manuscrit dresse l'état des lieux des connaissances actuelles sur la maladie rénale chronique des chiens et des chats, de sa physiopathologie à sa gestion médicale. La seconde partie détaille la prise en charge nutritionnelle des animaux et plus précisément les recommandations en apports des différents constituants de la ration en fonction du stade d'évolution de la maladie. Enfin, la dernière partie du manuscrit traite de l'intérêt du jeu sérieux pour l'apprentissage de la nutrition et de l'élaboration de différents scénarios de calculs de rations par le biais d'un logiciel dédié.

MOTS CLES : nutrition clinique, chien, chat, jeu sérieux, maladie rénale chronique

ABSTRACT

This thesis has led to the development of an educational game focused on the nutrition of dogs and cats suffering from chronic kidney disease. This tool, designed for students of the National Veterinary School of Toulouse, aims to make the learning of ration calculation in a pathological context more entertaining and easier. The first part of this manuscript provides an overview of the current knowledge on chronic kidney disease in dogs and cats, covering its pathophysiology and its medical management. The second part details the nutritional management of animals, specifically the recommendations for the intake of different ration components according to the stage of disease progression. Finally, the last part of the manuscript discusses the importance of serious games in learning about nutrition and the development of various ration calculation scenarios using a dedicated software.

KEYWORDS: clinical nutrition, dog, cat, serious game, kidney chronic disease