



## Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : [http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints ID](http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints_ID) : 16502

**To cite this version :**

Coquerel, Charlotte. *Le choix d'un aliment minéral et vitaminé chez le cheval*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2016, 115 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: [staff-oatao@inp-toulouse.fr](mailto:staff-oatao@inp-toulouse.fr).

# LE CHOIX D'UN ALIMENT MINÉRAL ET VITAMINÉ CHEZ LE CHEVAL

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

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

*par*

**COQUEREL Charlotte**

Née, le 07 décembre 1990 à Gennevilliers (92)

---

**Directeur de thèse : Mme Nathalie PRIYMENKO**

---

## JURY

PRESIDENT :

**M. Claude MOULIS**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

**Mme Nathalie PRIYMENKO**

**Mme Lydie BRET-BENNIS**

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

*Répartition des Enseignants-Chercheurs par Département.*

Mise à jour : 06/09/2016

**DIRECTRICE : ISABELLE CHMITELIN**

ELEVAGE ET PRODUITS/SANTÉ PUBLIQUE VÉTÉRINAIRE	SCIENCES BIOLOGIQUES ET FONCTIONNELLES	SCIENCES CLINIQUES DES ANIMAUX DE COMPAGNIE, DE SPORT ET DE LOISIRS
<p><b>Responsable : M. SANS</b></p> <p><u>ALIMENTATION ANIMALE :</u> M. ENJALBERT Francis, PR Mme PRIYMENKO Nathalie, MC Mme MEYNADIER Annabelle, MC</p> <p><u>EPIDEMIOLOGIE :</u> Mathilde PAUL, MC</p> <p><u>MALADIES REGLEMENTEES-ZOONOSES- MEDECINE PREVENTIVE DES CARNIVORES DOMESTIQUES-DROIT VETERINAIRE :</u> M. PICAUVET Dominique, PR</p> <p><u>PARASITOLOGIE-ZOOLOGIE :</u> M. FRANC Michel, PR M. JACQUIET Philippe, PR M. LIENARD Emmanuel, MC Mme BOUHSIRA Emilie, MC</p> <p><u>HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS :</u> M. BRUGERE Hubert, PR M. BAILLY Jean-Denis, PR Mme BIBBAL Delphine, MC Mme COSTES Laura, AERC Mme DAVID Laure, MCC</p> <p><u>PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION :</u> M. BERTHELOT Xavier, PR M. BERGONIER Dominique, MC Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, PR Mme HAGEN-PICARD Nicole, PR M. NOUVEL Laurent-Xavier, MC Mme MILA Hanna, MC</p> <p><u>PATHOLOGIE DES RUMINANTS :</u> M. SCHELCHER François, PR M. FOUCRAS Gilles, PR M. CORBIERE Fabien, MC M. MAILLARD Renaud, MC M. MEYER Gilles, PR</p> <p><u>PRODUCTION ET PATHOLOGIE AVIAIRE ET PORCINE :</u> Mme WARET-SZKUTA Agnès, MC M. JOUGLAR Jean-Yves, MC M. GUERIN Jean-Luc, PR M. LE LOC'H Guillaume, MC</p> <p><u>PRODUCTIONS ANIMALES AMELIORATION GENETIQUE ECONOMIE :</u> M. DUCOS Alain, PR M. SANS Pierre, PR M. RABOISSON Didier, MC</p>	<p><b>Responsable : Mme GAYRARD</b></p> <p><u>ANATOMIE :</u> M. MOGICATO Giovanni, MC M. LIGNEREUX Yves, PR Mme DEVIERS Alexandra, MC</p> <p><u>ANATOMIE PATHOLOGIQUE - HISTOLOGIE :</u> M. DELVERDIER Maxence, PR Mme LETRON-RAYMOND Isabelle, MC Mme BOURGES-ABELLA Nathalie, PR Mme LACROUX Caroline, PR</p> <p><u>BIOLOGIE MOLECULAIRE :</u> Mme BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle, MC</p> <p><u>MICROBIOLOGIE – IMMUNOLOGIE - MALADIES INFECTIEUSES :</u> M. MILON Alain, PR M. BERTAGNOLI Stéphane, PR M. VOLMER Romain, MC Mme BOULLIER Séverine, MC Mme DANIELS Héléne, MC</p> <p><u>BIOSTATISTIQUES :</u> M. CONCORDET Didier, PR M. LYAZRHI Faouzi, MC</p> <p><u>PHARMACIE-TOXICOLOGIE :</u> M. PETIT Claude, PR Mme CLAUW Martine, PR M. GUERRE Philippe, PR M. JAEG Philippe, MC</p> <p><u>PHYSIOLOGIE –PHARMACOLOGIE THERAPEUTIQUE :</u> M. BOUSQUET-MELOU Alain, PR Mme GAYRARD-TROY Véronique, PR Mme FERRAN Aude, MC M. LEFEBVRE Hervé, PR</p> <p><u>BIOCHIMIE :</u> Mme BENNIS-BRET Lydie, MC</p> <p><u>ANGLAIS :</u> M. SEVERAC Benoît, PLPA Mme MICHAUD Françoise, PCEA</p>	<p><b>Responsable : Mme CADIERGUES</b></p> <p><u>ANESTHESIOLOGIE</u> M. VERWAERDE Patrick, MC</p> <p><u>CHIRURGIE :</u> M. AUTEFAGE André, PR M. ASIMUS Erik, MC M. MATHON Didier, MC Mme MEYNAUD-COLLARD Patricia, MC Mme PALIERNE Sophie, MC</p> <p><u>MEDECINE INTERNE :</u> Mme DIQUELOU Armelle, MC M. DOSSIN Olivier, MC Mme LAVOUE Rachel, MC Mme GAILLARD-THOMAS Elodie, MCC</p> <p><u>OPHTALMOLOGIE :</u> M. DOUET Jean-Yves, MC</p> <p><u>DERMATOLOGIE :</u> Mme CADIERGUES Marie-Christine, PR</p> <p><u>IMAGERIE MEDICALE</u> M. CONCHOU Fabrice, MC</p> <p><u>BIOLOGIE MOLECULAIRE :</u> Mme TRUMEL Catherine, PR</p> <p><u>PATHOLOGIE DES EQUIDES :</u> M. CUEVAS RAMOS Gabriel, MC Mme PRADIER Sophie, MC Mme LALLEMAND Elodie, AERC</p>

## **A NOTRE PRESIDENT DE THESE**

**Monsieur le Professeur Claude MOULIS**

Professeur des Universités

Qui nous fait l'honneur de présider le jury de notre thèse.

Remerciements et hommage respectueux.

## **A NOTRE JURY DE THESE**

**A Madame le Docteur Nathalie Priymenko**

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

Qui nous a guidé dans l'élaboration de ce travail et permis de le mener à bien.

Qu'elle veuille bien trouver ici l'expression de notre vive gratitude et de notre profond respect.

Merci pour votre patience infinie dans l'élaboration de cette thèse.

*Alimentation*

**A Madame le Docteur Lydie BRET-BENNIS**

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

*Physique et Chimie biologiques et médicales*

Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse.

Qu'elle veuille bien accepter ici le témoignage de notre profond respect.

# TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>4</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>I. Présentation des minéraux et vitamines chez les équidés :.....</b>	<b>2</b>
A. Définitions :.....	2
1. Définition des Aliments Minéraux Vitaminés (AMV) :.....	2
2. Législation des AMV : .....	3
a) Relatives à l'étiquetage : .....	3
b) Composition des AMV autorisés : .....	3
3. Matières premières utilisées pour les minéraux : .....	5
B. Les différents rôles des minéraux et des vitamines au sein de l'organisme : .....	6
1. Les différents rôles des minéraux :.....	7
a) Calcium .....	7
b) Phosphore .....	9
c) Sodium.....	11
d) Potassium.....	12
e) Magnésium.....	13
f) Soufre .....	14
g) Chlore.....	15
2. Les différents rôles des oligoéléments .....	16
a) Le fer .....	16
b) Le cuivre.....	17
c) Le zinc .....	19
d) Le manganèse .....	20
e) Le cobalt et la vitamine B12.....	21
f) L'iode .....	22
g) Le sélénium .....	23
3. Les différents rôles des vitamines .....	24
a) Vitamine A .....	24
b) Vitamine D .....	25
c) Vitamine E.....	27
d) Vitamine K.....	28
e) Vitamine B1 .....	29
f) Acide folique .....	30

g) Biotine .....	31
h) Acide pantothénique, niacine, riboflavine et pyridoxine.....	31
i) Vitamine C .....	32
C. Bilan : .....	33

## **II. Apports alimentaires recommandés en minéraux et vitamines des chevaux et composition nutritive des principaux composants d'une ration : 35**

A. Besoins nutritionnels et apports alimentaires chez le cheval .....	35
1. Capacité d'ingestion.....	35
2. Les besoins énergétiques .....	36
3. Les besoins azotés .....	37
B. Apports recommandés en minéraux et vitamines en fonction de leur âge .....	38
1. Poulain : de la naissance à 36 mois : .....	38
a) Apports recommandés en minéraux .....	38
b) Apports recommandés en oligoéléments.....	41
c) Apports recommandés en vitamines.....	41
2. Cheval adulte: du travail léger au travail intense .....	42
a) Apports recommandés en minéraux .....	42
b) Apports recommandés en oligoéléments.....	45
c) Apports recommandés en vitamines.....	46
3. Jument .....	47
a) Apports recommandés en minéraux .....	47
b) Apports recommandés en oligoéléments.....	48
c) Apports recommandés en vitamines.....	49
C. Valeurs nutritionnelles des fourrages en fonction des régions de France .....	50
1. Définition d'une prairie permanente .....	50
2. Valeurs nutritives des prairies permanentes .....	51
a) Prairies permanentes en plaine, en Normandie .....	51
b) Prairie permanente, en demi-montagne, en Auvergne .....	52
3. Valeurs nutritives des foins .....	53
a) Prairies permanentes.....	53
4. Valeurs nutritives des céréales .....	55
5. Teneurs en oligoéléments et vitamines des fourrages et des céréales .....	56

## **III. Méthodes de choix d'un AMV :..... 59**

A. Analyse de l'étiquette de l'AMV .....	59
B. Méthode théorique de choix d'un AMV .....	60
1. Facteurs d'influence des choix de supplément nutritionnel chez les propriétaires d'équidés.....	60

2.	Liste non exhaustive des AMV existants au sein du DMV ou présents dans le commerce en 2016.....	62
a)	Liste des AMV présents au sein du DMV .....	62
b)	Liste des AMV présents dans le commerce.....	64
3.	Calcul des déficits en minéraux et vitamines de différentes pâtures et foins : .....	65
a)	En pâturage en Normandie .....	65
b)	En pâturage en Auvergne : .....	66
c)	Avec une ration composée de foin de Normandie et d'orge .....	67
d)	Avec une ration de foin issu d'Auvergne et d'orge.....	69
4.	Choix théorique de l'AMV en fonction de la région.....	70
a)	En pâture en Normandie.....	71
b)	En pâture en Auvergne .....	73
c)	Ration foin de Normandie et orge .....	75
d)	Ration composée de foin d'Auvergne et d'orge.....	76
5.	Analyse de la ration au laboratoire.....	78
a)	Analyse chimique.....	78
C.	Méthode de choix pratique d'un aliment minéral et vitaminé.....	81
1.	Etape numéro 1 : analyse du rapport phosphocalcique .....	81
a)	Ration déficitaire en calcium.....	81
b)	Ration très peu déficitaire en calcium voire non déficitaire .....	82
c)	Ration excédentaire en calcium.....	83
2.	Etape numéro 2 : rapport cuivre/zinc .....	83
3.	Etape numéro 3 : autres minéraux et vitamines.....	84
a)	Manganèse.....	84
b)	Iode et sélénium.....	84
c)	Vitamine A .....	85
d)	Vitamine D .....	85
e)	Vitamine E.....	85
4.	Comparaison des AMV .....	86
a)	Rapport phosphocalcique .....	86
b)	Quantité de cuivre, de zinc, d'iode, de sélénium et de manganèse .....	87
5.	Quantité de vitamines.....	89
	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>91</b>
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>92</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE : .....</b>	<b>102</b>

## **TABLE DES ILLUSTRATIONS**

**Graphique I:** Graphique représentant les AMV classés en fonction de leur rapport phosphocalcique.

**Graphique II:** Graphique représentant les AMV classés en fonction des quantités de cuivre, zinc et manganèse présents au sein des différents AMV.

**Graphique III:** Graphique représentant les AMV classés en fonction des quantités d'iode et de sélénium présents au sein des différents AMV.

**Graphique IV:** Graphique représentant les AMV classés en fonction des quantités de vitamines présentes au sein des différents AMV.

**Tableau I:** Etiquetage obligatoire des constituants analytiques, annexe VI du Règlement (CE) n°767/2009.

**Tableau II:** Matières premières autorisées dans la fabrication de la partie minérale de l'alimentation animale des AMV.

**Tableau III:** Matières premières disponibles pour la fabrication de la partie oligoélément de l'alimentation animale des AMV.

**Tableau IV:** Doses maximales tolérables de différents éléments au sein d'une ration alimentaire chez un cheval, d'après NRC (2007).

**Tableau V:** Capacité d'ingestion des chevaux en fonction du stade physiologique chez le jument, de l'âge chez le jeune cheval et de l'intensité du travail chez le cheval au travail, d'après INRA 2011.

**Tableau VI:** Apports énergétiques recommandés en UFC chez le cheval à l'entretien, et au travail d'après INRA (2011) et Martin-Rosset (1990).

**Tableau VII:** Apports en MADC recommandés chez le cheval à l'entretien, et au travail, d'après INRA (2011).

**Tableau VIII:** Calculs des apports en calcium recommandés chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

**Tableau IX:** Calculs des apports recommandés en phosphore chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

**Tableau X:** Calculs des apports recommandés en magnésium chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

**Tableau XI:** Calculs des apports recommandés en chlore chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

**Tableau XII:** Apports recommandés en oligoéléments chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

**Tableau XIII:** Apports recommandés en vitamines A, D et E chez le poulain en fonction de l'âge, d'après l'INRA 2011.

**Tableau XIV:** Calculs des apports recommandés en calcium chez le cheval adulte en fonction de son poids et de l'intensité du travail, d'après INRA 2011 et le NRC 2007.

**Tableau XV:** Calculs des apports recommandés en phosphore chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

**Tableau XVI:** Calculs des apports recommandés en magnésium chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

**Tableau XVII:** Calculs des apports recommandés en sodium chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

**Tableau XVIII:** Calculs des apports recommandés en chlore chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

**Tableau XIX:** Calculs des apports recommandés en potassium chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.



**Tableau XX** : Apports recommandés en oligoéléments chez le cheval adulte, d'après le NRC 2007.

**Tableau XXI** : Apports recommandés en oligoéléments chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

**Tableau XXII** : Apports recommandés en vitamines A, D et E chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

**Tableau XXIII** : Apports recommandés en minéraux chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après INRA 2011.

**Tableau XXIV** : Apports totaux (entretien + stade physiologique) recommandés en minéraux chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après NRC 2007.

**Tableau XXV** : Apports totaux recommandés en oligoéléments chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après le NRC 2007.

**Tableau XXVI** : Apports recommandés en oligoéléments chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après INRA 2011.

**Tableau XXVII** : Apports recommandés en vitamines A, D et E chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après INRA 2011.

**Tableau XXVIII** : Classification des prairies permanentes en fonction du pourcentage de graminées et de légumineuses. *INA P-G Département AGER, 2003.*

**Tableau XXIX** : Liste des espèces présentes parmi les graminées et les légumineuses au sein des prairies permanentes.

**Tableau XXX** : Liste des valeurs nutritives moyenne d'une prairie permanente en plaine, en Normandie, d'après INRA 2011.

**Tableau XXXI** : Liste des valeurs nutritives moyenne d'une prairie permanente en demi-montagne, en Auvergne, d'après INRA 2011.

**Tableau XXXII** : Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie permanente, en plaine, en Normandie, d'après INRA 2011.

**Tableau XXXIII** : Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie permanente, en demi-montagne, en Auvergne, d'après INRA 2011.

**Tableau XXXIV** : Liste des valeurs nutritives moyennes des principales céréales utilisées dans l'alimentation du cheval, d'après INRA 2011.

**Tableau XXXV** : Liste des teneurs en oligoéléments (g/kg de MS) des fourrages, d'après INRA 2011.

**Tableau XXXVI** : Liste des teneurs en vitamines (g/kg de MS) des fourrages et des céréales, d'après INRA 2011.

**Tableau XXXVII** : Liste des composants analytiques des AMV présents au sein du DMV.

**Tableau XXXVIII** : Liste des composants analytiques des AMV présents au sein du commerce.

**Tableau XXXIX** : Liste des apports recommandés (base du rationnement, minéraux, oligoéléments, vitamines) pour un cheval de selle de 500 kg à l'entretien par jour.

**Tableau XL** : Quantité de minéraux et vitamines apportés par l'herbe pâturée en Normandie.

**Tableau XLI** : Quantité de minéraux et vitamines apportés par l'herbe pâturée en Auvergne.

**Tableau XLII** : Liste des caractéristiques nutritionnelles du foin issu d'une prairie permanente en Normandie et de l'orge.

**Tableau XLIII** : Quantité de minéraux et vitamines apportés par la ration composée de foin de Normandie et d'orge.

**Tableau XLIV** : Liste des caractéristiques nutritionnelles du foin issu d'une prairie permanente en Auvergne et de l'orge.

**Tableau XLV** : Quantité de minéraux et vitamines apportés par la ration composée de foin d'Auvergne et d'orge.

**Tableau XLVI** : Tableau regroupant les AMV disponibles pour une ration composée d'herbe pâturée en Normandie ou en Auvergne un 25 mai.

**Tableau XLVII:** Tableau regroupant les AMV disponibles pour une ration composée d'herbe pâturée en Auvergne

**Tableau XLVIII:** Tableau regroupant les AMV disponibles pour une ration composée de foin de Normandie et d'orge.

**Tableau XLIX:** Tableau regroupant les AMV disponibles pour une ration composée de foin d'Auvergne et d'orge.

**Tableau L:** Ordre de grandeur de la composition théorique de l'aliment minéral et vitaminé pour un cheval à l'entretien de 500 kg, sans déséquilibres de sa ration, d'après INRA 2011.

## LISTE DES ABREVIATIONS

ADN :	Acide désoxyribonucléique	Mcal :	Mégacalories
AMV :	Aliment minéral et vitaminé	mg :	Milligrammes
ATP :	Adénosine triphosphate	Mg :	Magnésium
Ca :	Calcium	MG :	Matière grasse
CB :	Cellulose brute	MJ :	Mégajoule
CMV :	Complément minéral et vitaminé	Mn :	Manganèse
Co :	Cobalt	MS :	Matière sèche
Cu :	Cuivre	MSI :	Matière sèche ingérée
DMV :	Dictionnaire des médicaments vétérinaires	NaCl :	Chlorure de sodium
DOD :	Developmental Orthopedic Disease	NAD :	Nicotinamide adénine dinucléotide
ENA :	Extractif non azoté	NADP :	Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate
FAD :	Flavine adénine dinucléotide	O <sub>2</sub> :	Dioxygène
Fe :	Fer	P :	Phosphore
FMN :	Flavine mononucléotide	PD <sub>Ia</sub> :	Protéines digestibles d'origine alimentaire
FDS :	Flutter diaphragmatique synchrone	PD <sub>Im</sub> :	Protéines digestibles issues de la microflore de l'intestin
g :	Gramme	pH :	Potentiel hydrogène
GMQ :	Gain de poids vif quotidien	PPM :	Partie par million
HT :	Hors taxe	PV :	Poids vif
I :	Iode	RAO :	Recurrent airway obstruction
IgA :	Immunoglobuline A	Se :	Sélénium
IgG :	Immunoglobuline G	TSH :	Thyréostimuline
kg :	Kilogramme	UFC :	Unité fourragère cheval
MADC :	Matière azotée digestible cheval	UI :	Unité internationale
MAT :	Matière azotée totale	Zn :	Zinc

## INTRODUCTION

Les aliments minéraux et vitaminés (AMV) constituent une famille à part entière dans l'ensemble des aliments composés destinés aux animaux d'élevage. Légalement, il s'agit d'un complément alimentaire composé au minimum de 40% de cendres brutes (c'est-à-dire de matières minérales). Son rôle est d'équilibrer les rations alimentaires de base des animaux par un apport raisonné et précis en minéraux majeurs (calcium, phosphore, magnésium, sodium, potassium, soufre et chlore), en oligo-éléments (fer, zinc, cuivre, manganèse, cobalt, iode et sélénium) et en vitamines (A, D, E, K et B).

On rencontre trois grandes catégories d'espèces pour la destination des aliments minéraux et vitaminés: les ruminants, les monogastriques non-herbivores (porcs, volailles) et les monogastriques herbivores (les chevaux) qui représentent environ 80 % des volumes délivrés, pour lesquels les AMV constituent l'un des éléments essentiels d'une ration alimentaire. En effet, les rations distribuées aux équidés permettent rarement de satisfaire les besoins du cheval, compte tenu des teneurs des aliments en minéraux, oligoéléments et vitamines. Il existe différentes formes de présentation de ces aliments minéraux et vitaminés : poudres, semoulettes, granulés, aliments compactés à lécher ou minéraux liquides.

Au sein du marché actuel, certains AMV sont inscrits au sein du dictionnaire des médicaments vétérinaires (DMV) produits par des laboratoires, d'autres sont directement vendus par les fabricants d'aliments pour chevaux et ne sont pas mentionnés dans le DMV. Il existe à ce jour, une centaine d'AMV différents en France ce qui rend donc difficile leur choix pour les praticiens vétérinaires, qui n'ont probablement pas le temps de les examiner et de les comparer.

C'est pourquoi l'objet de cette thèse consiste à étudier, comparer et sélectionner parmi ce panel de différents AMV, afin d'orienter le praticien vétérinaire vers une liste de choix possibles.

Ainsi dans ce travail, nous vous proposons d'étudier tout d'abord la composition des compléments alimentaires, puis dans un deuxième temps les apports recommandés en minéraux et vitamines ainsi que les valeurs nutritives des principaux composants de l'alimentation pour chevaux afin de clôturer cette étude en expliquant comment choisir un AMV d'un point de vue théorique puis d'un point de vue pratique.

# **I. Présentation des minéraux et vitamines chez les équidés :**

## **A. Définitions :**

### **1. Définition des Aliments Minéraux Vitaminés (AMV) :**

Un aliment minéral vitaminé (AMV) est un aliment complémentaire contenant au moins 40% de cendres brutes (ou dit matières minérales), destiné à équilibrer la ration soit en étant distribué seul, soit en étant incorporé dans un aliment composé complémentaire, d'après le Règlement 767/2009. Les cendres brutes correspondent à des résidus issus de la minéralisation de la matière organique des aliments après passage au four à 550°C. L'ancienne dénomination de l'AMV est le CMV, pour Complément Minéral et Vitaminé.

Un AMV est constitué de minéraux et de vitamines. Afin d'être clair dans la suite de cet exposé, rappelons les différences qu'il existe entre les minéraux, les vitamines et les oligoéléments. Les minéraux majeurs et les oligoéléments sont des minéraux chimiques simples que l'organisme ne peut pas synthétiser mais qui sont indispensables à son bon fonctionnement, et doivent, par conséquent, être apportés par l'alimentation. Un oligoélément est une substance chimique naturelle dont la quantité présente dans l'organisme est inférieure à 1 mg/kg de poids. Les oligoéléments agissent à de faibles doses et peuvent entraîner des effets toxiques à doses très élevées ou bien avoir des conséquences gravissimes voire mortelles lorsque l'organisme en est carencé. Les principaux oligoéléments sont le fer, le sélénium, l'iode, le zinc, le cuivre, le cobalt et le manganèse.

Les minéraux sont également des substances chimiques simples, que l'organisme ne peut produire sont par opposition aux oligoéléments, présents en grande quantité dans l'organisme, supérieure à 1 mg/kg de poids. Les minéraux majeurs présents dans l'organisme sont le calcium, le chlore, le phosphore, le soufre, le potassium, le magnésium et le sodium.

En termes de désignation, certains minéraux sont des « additifs ». D'après le Règlement (CE) n°1831/2003 du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2003, « les additifs pour l'alimentation animale sont des substances, micro-organismes ou préparations, autres que les matières premières pour aliments des animaux et les prémélanges, délibérément ajoutés aux aliments pour animaux ou à l'eau pour remplir notamment une ou plusieurs fonctions visées à l'article 5, paragraphe 3 :

- Avoir un effet positif sur les caractéristiques des aliments,
- Avoir un effet positif sur les caractéristiques des produits d'origine animale,
- Répondre aux besoins nutritionnels des animaux,
- Avoir un effet positif sur les conséquences environnementales de la production animale,
- Avoir un effet positif sur la production, le rendement ou le bien-être des animaux, notamment en influençant la flore gastro-intestinale ou la digestibilité des aliments pour animaux,
- Ou avoir un effet coccidiostatique ou histomonostatique. »

L'autorisation de ces additifs repose sur une évaluation préalable de leurs effets favorables sur les caractéristiques des aliments, sur la production animale et sur leur innocuité sur la santé animale et humaine. Parmi les minéraux, le zinc et le cuivre sont des additifs. En effet, lorsqu'ils sont donnés en excès aux animaux par l'intermédiaire de leur alimentation, le surplus de ces minéraux est éliminé dans les excréta et cela a un impact néfaste sur l'environnement. Le manganèse ingéré en excès est éliminé dans les fèces des animaux et

introduit des défauts de croissance chez les plantes. Le fer, l'iode, le sélénium, ainsi que les vitamines A et D sont aussi considérés comme des additifs, car ils nuisent à la santé animale et/ou humaine.

## **2. Législation des AMV :**

### **a) Relatives à l'étiquetage :**

En 2010, un nouveau règlement européen, le règlement (CE) n°767/2009 modifiant le règlement (CE) n°1831/2003 du Parlement européen et du Conseil et abrogeant la directive 79/373/CEE du Conseil, la directive 80/511/CEE de la Commission, les directives 82/471/CEE, 83/228/CEE, 93/74/CEE, 93/113/CE et 96/25/CE du Conseil, ainsi que la décision 2004/217/CE de la Commission, a été établi concernant la mise sur le marché et l'utilisation des aliments destinés aux animaux producteurs et non producteurs de denrées alimentaires, y compris les aliments destinés aux animaux sauvages. Au sein de ce nouveau règlement, nous allons nous intéresser à la partie concernant les aliments complémentaires dont font partie les AMV.

Sur chaque étiquette d'AMV, des mentions obligatoires sont à notifier :

- Il doit être spécifié le type d'aliment, ici « aliment minéral », les coordonnées et le numéro d'agrément du responsable de l'étiquetage, le numéro de lot et le poids net. Ce dernier est noté en kilogramme, gramme ou en pourcentage de la ration journalière dans la notice afin de garantir le respect des teneurs maximales en additif autorisés en alimentation animale dans la ration journalière.
- L'espèce destinée, ici le cheval, le mode d'emploi et la date de durabilité minimale à l'aide de la mention suivante : « à utiliser de préférence avant ... ».
- La composition de l'aliment que nous allons détailler ci-après.
- Parmi les mentions facultatives, on peut citer :
  - La présence d'autres constituants analytiques
  - L'indication des pourcentages d'incorporation des matières premières
  - Le nom commercial de l'aliment.

### **b) Composition des AMV autorisés :**

Au sein de la composition d'un AMV, doivent figurer la liste, la quantité des matières premières et les teneurs en constituants analytiques (calcium, sodium et phosphore).

Sur l'étiquette des AMV, nous devons pouvoir y lire et trouver les constituants présentés dans le tableau I, ainsi que leur teneur. Il est aussi important de noter sur l'étiquette qu'il peut y être noté d'autres minéraux pertinents, pour connaître leur quantité et éviter d'éventuelles intoxications, comme le magnésium ou le soufre, par exemple.

**Tableau I :** Etiquetage obligatoire des constituants analytiques, annexe VI du Règlement (CE) n°767/2009.

Aliments pour animaux	Constituants analytiques et teneurs	Espèce cible
Aliments complémentaires pour animaux — Minéraux	— Calcium — Sodium — Phosphore	Toutes les espèces Toutes les espèces Toutes les espèces

Les vitamines doivent être indiquées si elles sont présentes dans l'AMV ainsi que leur quantité totale.

La teneur en additifs incorporés dans les AMV ne doit pas dépasser cent fois la teneur maximale en additif fixée pour les aliments complets (Règlement (UE) n° 5/2014 de la commission). Si l'aliment complémentaire contient des additifs à des concentrations supérieures à 100 fois la teneur maximale journalière autorisée, alors il répond à un objectif nutritionnel particulier, d'après le Règlement (CE) n°1831/2003. On parle alors d'aliments diététiques. Les additifs concernés sont les vitamines A et D, le cuivre et le sélénium.

Pour la question de l'eau, si l'AMV ne contient pas de substances organiques et qu'il contient de l'eau, si celle-ci dépasse 5 %, la quantité doit être reportée sur l'étiquette. De la même manière, si l'AMV contient des substances organiques et qu'il contient de l'eau; si la quantité d'eau présente dépasse 10 %, celle-ci doit être notifiée. La teneur en cendres insolubles dans l'acide chlorhydrique ne doit pas dépasser 2,2 % par rapport à la matière sèche d'après le Règlement 152/2009 de la Commission Européenne. La teneur en cendres insolubles correspond à la teneur en matières minérales insolubles (minéraux et oligoéléments) contenus dans l'aliment des animaux. Pour mesurer cette teneur, l'aliment est incinéré puis mis à ébullition avec de l'acide chlorhydrique, afin d'être filtré et séché pour obtenir la quantité de cendres insolubles. La teneur en cendres insolubles est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$Teneur\ en\ cendres\ insolubles = \frac{(w - b) \times 100}{p.e}$$

Avec w : le poids du contenant et des cendres après calcination, b : le poids du contenant et p.e : la prise d'essai correspondant au poids d'aliment introduit à l'état initial (45).

### 3. Matières premières utilisées pour les minéraux :

Les matières premières utilisées dans la fabrication de la partie minérale de l'AMV sont regroupées dans le tableau II, ce sont les seules matières autorisées car elles appartiennent à la liste positive de l'annexe VI du règlement (CE) n° 889/2008.

**Tableau II :** Matières premières autorisées dans la fabrication de la partie minérale de l'alimentation animale des AMV.

<b>Minéral concerné</b>	<b>Matières premières disponibles</b>
<b>Sodium</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sel de mer non raffiné</li><li>- Sel gemme brut de mine</li><li>- Sulfate de sodium</li><li>- Carbonate de sodium</li><li>- Bicarbonate de sodium</li><li>- Chlorure de sodium</li></ul>
<b>Potassium</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Chlorure de potassium</li></ul>
<b>Calcium</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Lithotamne et maërl (Algue marine calcaire de Bretagne)</li><li>- Coquilles d'animaux aquatiques (y compris les os de seiche)</li><li>- Carbonate de calcium</li><li>- Lactate de calcium</li><li>- Gluconate de calcium</li><li>- Phosphate bicalcique défluoré</li><li>- Phosphate monocalcique défluoré</li><li>- Phosphate de monosodium</li><li>- Phosphate de calcium et de magnésium</li><li>- Phosphate de calcium et de sodium</li></ul>
<b>Magnésium</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Oxyde de magnésium (magnésie anhydre)</li><li>- Sulfate de magnésium</li><li>- Chlorure de magnésium</li><li>- Carbonate de magnésium</li><li>- Phosphate de magnésium</li></ul>
<b>Soufre</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sulfate de sodium</li></ul>

Les vitamines doivent être issues de matières premières naturellement présentes dans les aliments des animaux ou, si elles sont synthétiques, doivent être identiques aux vitamines naturelles pour les monogastriques, dont fait partie le cheval.

En ce qui concerne les oligoéléments, nous allons nous intéresser aux éléments suivants : fer, zinc, cobalt, sélénium, manganèse, le cuivre et l'iode, résumés dans le tableau III.



**Tableau III :** Matières premières disponibles pour la fabrication de la partie oligoélément de l'alimentation animale des AMV.

<b>Oligoélément concerné</b>	<b>Sources disponibles</b>
<b>Fer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sulfate ferreux</li> <li>- Sels organiques : citrate, gluconate, fumarate, tartrate</li> </ul>
<b>Cuivre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sulfate de cuivre (25%)*</li> <li>- Carbonate de cuivre (53%)</li> <li>- Chlorure de cuivre (37%)</li> </ul>
<b>Zinc</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sulfate de zinc (22%)</li> <li>- Carbonate de zinc (42%)</li> <li>- Chlorure de zinc (48%)</li> </ul>
<b>Manganèse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sulfate de manganèse (32%)</li> <li>- Carbonate de manganèse (47%)</li> <li>- Chlorure de manganèse (27%)</li> <li>- Oxyde de manganèse (77%)</li> </ul>
<b>Cobalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sulfate de cobalt (24%)</li> <li>- Carbonate de cobalt (49%)</li> <li>- Chlorure de cobalt (24%)</li> <li>- Nitrate de cobalt (20%)</li> <li>- Oxyde de cobalt</li> </ul>
<b>Iode</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iodure du potassium (76%)</li> <li>- Iodure de sodium (84%)</li> <li>- Iodate de calcium extrait du goémon</li> </ul>

\*Le pourcentage (%) indique la part respective de l'élément nous intéressant, par exemple: sulfate de cuivre (25%) indique qu'il y a 25% de cuivre au sein de cette molécule.

La législation des aliments minéraux et vitaminés explicitée, intéressons-nous à présent aux différents rôles des minéraux et des vitamines au sein de l'organisme, et plus particulièrement à leur absorption ainsi qu'aux éventuels effets de carences ou d'excès.

## **B. Les différents rôles des minéraux et des vitamines au sein de l'organisme :**

Il semble important avant de discuter des apports recommandés en minéraux et vitamines d'un AMV, de s'intéresser aux besoins en eau et aux pertes chez le cheval.

Le corps d'un cheval adulte est constitué de 62-68 % d'eau dont 36-46 % contenu dans les liquides intracellulaires et 21-25 % contenu dans les liquides extracellulaires (plasma, fluides intercellulaires et la lymphe) (43). Les besoins en eau pour un cheval au repos sont de deux litres d'eau par kilogramme de matière sèche ingérée (MS) soit 5 litres d'eau pour 100 kg de poids vif (11). En fonction de l'intensité de l'exercice et de la température extérieure les besoins en eau vont varier. Ainsi, pour une température comprise entre 15 et 20°C, les besoins en eau augmentent de 15 à 20%. Lorsque la température ambiante passe de 15-20°C à 25°C, la quantité d'eau bue augmente respectivement de 0,3 à 1 L/kg de MSI (matière sèche ingérée) (50). Au pic de lactation, les besoins en eau sont augmentés de 37% à 74% (54).

Le cheval perd de l'eau et des électrolytes (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>) par l'urine, la sueur et la respiration (au niveau des poumons). Les pertes rénales sont dépendantes de l'aliment

absorbé : le cheval augmente sa quantité d'urine de 13 à 29 % lorsqu'il mange un aliment concentré plutôt qu'une ration composée uniquement de foin. Le cheval perd environ 1 L/100kg/h de sueur à une température de 18-20°C et ces pertes augmentent de 3% pour chaque degré de température supplémentaire. Le cheval augmente ses pertes hydriques proportionnellement à la température et à l'exercice. On considère qu'un cheval de 500 kg perd 90 g de NaCl pour deux heures de travail modéré. Les pertes pulmonaires correspondent exclusivement à des pertes d'eau contrairement aux deux autres types d'excrétas. Elles sont proportionnelles à l'amplitude de la respiration, ainsi qu'à l'intensité de l'exercice. Les pertes en eau et en électrolytes chez le cheval sont importantes que celui-ci soit au repos ou au travail, il semble donc nécessaire de les prendre en compte lors du choix des AMV.

A présent nous allons nous intéresser aux différents rôles des minéraux et des vitamines au sein de l'organisme afin d'en connaître leur effets lorsqu'ils sont introduits en excès ou au contraire lorsqu'ils sont en défaut, ainsi qu'à leur absorption.

## **I. Les différents rôles des minéraux :**

### **a) Calcium**

#### *i. Fonctions au sein de l'organisme*

Le tissu osseux et les dents renferment 99% du calcium total sous forme de cristaux d'hydroxyapatite ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ ) (1, 3). Il constitue une grande partie du tissu osseux, permet la transmission de l'influx nerveux, la contraction des muscles, est nécessaire à la division cellulaire et à la coagulation sanguine (2). Le calcium est régulé à l'aide d'hormones : la parathormone, la calcitonine et le calcitriol (3). La parathormone permet de rétablir les concentrations sanguines normales en calcium lors de risque d'hypocalcémie par stimulation de la résorption osseuse et par la réabsorption rénale du calcium. La vitamine D ou calcitriol favorise l'absorption du calcium au niveau de l'intestin grêle et favorise le remaniement des minéraux au niveau de l'os. La calcitonine quant à elle, facilite la fixation du calcium sur le tissu osseux.

#### *ii. Absorption*

L'absorption du calcium varie en fonction de l'âge, des constituants de l'alimentation et des besoins de l'animal en calcium. Le taux d'absorption du calcium chez les foals est de 70% puis il diminue à 50% à l'âge adulte. On retiendra que l'absorption moyenne du calcium chez les équidés est de 50% (55).

Lors d'une augmentation de la concentration en magnésium de 0,16% à 0,86% de la ration, on observe une augmentation de l'absorption du calcium de 43,3% à 54,0% (56). Sachant que le taux moyen de magnésium d'une ration est compris entre 0,1 et 0,3%, il n'est donc pas fréquent d'arriver à une augmentation de ces taux.

Pour le phosphore, c'est le contraire: plus la ration est riche en phosphore plus l'absorption du calcium diminue (57). Ce phénomène s'explique par l'existence d'une compétition d'absorption entre le calcium et le phosphore au sein de l'intestin grêle.

On observe pour le chlorure de sodium (NaCl) une augmentation de l'absorption du calcium de 51 à 69% quand le pourcentage de NaCl augmente au sein de la ration (58).

L'augmentation du taux d'oxalates dans la ration de 1% diminue de 66 % l'absorption du calcium jusqu'à créer des carences (59). Quand le ratio calcium/oxalate est de 0,5, il existe un risque non négligeable d'hyperparathyroïdisme nutritionnelle secondaire à l'origine de déformation des membres, d'une démarche raide, de fractures spontanées en bois vert et d'un élargissement des os de la face (3). Cette maladie est aussi rencontrée dans le cas de déficit en calcium, et/ou d'un apport en phosphore trop élevé et/ou d'une consommation de plantes à oxalates et/ou d'un ratio Ca/P  $\geq$  3:1 (43).

L'absorption du calcium est de 72% lorsque le cheval mange de la luzerne plutôt que de l'herbe (type chiendent) pour lequel le taux d'absorption est de 40% (60).

En revanche, l'exercice ne modifie pas la digestibilité du calcium (43).

### iii. Carences

Le calcium existe sous deux formes au sein de l'organisme: 48,5% sous forme ionisé, et 51,5% sous forme non ionisée (soit lié aux protéines pour 47,4%, soit complexé avec des acides faibles pour 4,1%) (61).

On parle d'hypocalcémie lorsque la concentration sanguine en calcium ionisé (seule forme active du calcium dans le sang) est inférieure à 6 mg/dL. Les valeurs de référence du calcium ionisé chez le cheval appartiennent à l'intervalle: 6,44-6,74 mg/dL (62). Celles du calcium total sérique sont: 10,8-13,5 mg/dL (62).

Une hypocalcémie résulte rarement d'un défaut d'apport de calcium au sein de la ration mais plutôt de la consommation de plantes toxiques (contenant des oxalates comme *Colocasia esculenta*, *Rumex sp.*, *Spinacea oleracea*...). Il existe trois principales causes associées à l'hypocalcémie clinique chez le cheval adulte: la tétanie de lactation, l'hypocalcémie idiopathique et la cantharidinase. Lors de tétanie de lactation ou lors d'hypocalcémie idiopathique, les symptômes cliniques sont: un abattement, une démarche raide, de l'ataxie des postérieurs, un décubitus, des convulsions, des fasciculations musculaires (notamment des muscles temporaux, des masséters et du triceps brachial), un trismus, un flutter diaphragmatique synchrone (FDS), de la tachypnée, des naseaux dilatés, de la tachycardie, des arythmies cardiaques et une sudation intense. Le FDS est un spasme diaphragmatique qui se traduit par un battement rythmique de la paroi abdominale au niveau d'un flanc ou des deux, de manière synchrone avec les battements cardiaques (83).

Une hypocalcémie aigüe résulte généralement de problèmes plus graves comme des maladies gastro-intestinales ou des sepsis qui amènent à: des trémulations musculaires, de la tétanie, des convulsions, des arythmies cardiaques, etc (3).

Chez les poulains, un rachitisme peut être observé. C'est une maladie qui touche les jeunes animaux en croissance et se traduit par une ostéopénie localisée aux extrémités des os longs. Elle est la conséquence d'une baisse de la minéralisation du tissu osseux qui s'hypertrophie et se déforme, occasionnant des déformations caractéristiques au niveau des articulations (élargissement des articulations et os longs tordus) (43).

Lors de cantharidinase, c'est-à-dire lors d'un état de choc associé à des signes digestifs et urinaires, on observe un abattement, des convulsions, un FDS, une douleur abdominale, une hyperthermie, de la sudation, une augmentation de la fréquence des mictions, des ulcères buccaux et de l'hématurie (39).

iv. Excès

Une hypervitaminose D, à l'origine d'une hypercalcémie, peut être provoquée par la consommation de plantes toxiques (*Solanum glaucophyllum* (Amérique), *Trisetum flavescens* (Autriche, France), *Cestrum diurnum* (Floride)...), par l'injection ou par l'ingestion de vitamine D en quantité trop importante. Les signes généraux sont: une diminution d'appétit, des boiteries, une réticence à marcher ou bien encore une insuffisance rénale (3).

Une hypercalcémie peut être provoquée par l'ingestion d'une alimentation dont les apports en calcium sont cinq fois au-dessus des apports recommandés et être à l'origine d'ostéochondrose, c'est-à-dire un trouble de l'ossification enchondrale (43).

b) Phosphore

i. Fonctions au sein de l'organisme

Le tissu osseux renferme 89 % du phosphore total présent dans l'organisme (1, 3, 43). Le phosphore participe à différentes activités au sein de l'organisme comme : la contraction musculaire, l'activité nerveuse, l'activité enzymatique, le transport d'électrolytes, le transport de l'oxygène, la transcription des gènes ainsi que dans le métabolisme des protéines, des acides gras et glucidique (3, 43).

ii. Absorption

L'absorption du phosphore se déroule au sein de l'intestin grêle principalement et une petite partie au sein du côlon. L'absorption s'effectue selon un processus passif ou actif, dont l'importance respective dépend de la concentration intraluminaire en phosphate. Si la concentration intraluminaire des ions  $\text{HPO}_3^-$  (qui sont les plus nombreux à pH légèrement alcalin) est environ 15 fois supérieure à celle mesurée dans le cytoplasme entérocytaire alors l'absorption du phosphore est passive. Au niveau de la bordure en brosse entérocytaire des monogastriques, il existe un cotransporteur protéique des ions phosphates et sodium nommé Npt2b (63).

La digestibilité du phosphore est comprise entre 30 et 55%. Le taux d'absorption dépend des constituants de l'alimentation, de la quantité et du type de phosphore donné dans l'alimentation ainsi que de l'âge du cheval.

Chez l'adulte de plus de 3 ans, le taux d'absorption du phosphore est de 35% contre 45% pour les juments en lactation et les poulains en croissance. Cela s'explique par des besoins en phosphore plus grands chez le poulain en croissance et la jument en lactation. En effet, plus les besoins en phosphore sont importants, plus l'absorption augmente. Une augmentation en phosphore de l'alimentation augmente également son taux d'absorption, cependant un taux maximal de 1% de phosphore chez les équidés est autorisé dans la ration afin d'éviter de passer en excès. En effet, un excès de phosphore dans la ration diminue le taux d'absorption de ce dernier (64).

Lors d'une augmentation de 1 à 5% de chlorure de sodium dans l'alimentation, l'absorption du phosphore passe de 28 à 40%.

De la même façon que le calcium, si l'aliment contient des oxalates, l'absorption du phosphore diminue (43).

En revanche, la quantité d'aluminium présente dans l'alimentation n'a aucun impact sur la digestibilité du phosphore (43).

Les phosphores sont présents dans différentes molécules, il y a le phosphore présent dans les sels d'acides phytiques issu des plantes dit organique et le phosphore issu de la roche dit inorganique. Parmi ces différentes formes, l'absorption du phosphore inorganique est supérieure à l'absorption de toutes les autres formes de phosphore, chez le cheval.

De plus, il a été montré que les chevaux vivants dans une écurie chauffée présentaient une meilleure absorption du phosphore que ceux vivants dans une écurie non chauffée. L'hypothèse avancée par les scientifiques est que l'utilisation du phosphore est plus faible lorsqu'il fait froid, mais cela n'a pas été démontré (65).

### *iii. Carences*

Les carences en phosphore sont rarement liées à un déficit dans la ration mais plutôt à de la malnutrition. Comme pour le calcium, une carence en phosphore entraîne du rachitisme chez les poulains en croissance et de l'ostéomalacie chez les chevaux adultes (c'est-à-dire une diminution de la densité osseuse) ainsi que du pica (3, 43).

### *iv. Excès*

Un excès de phosphore diminue l'absorption du calcium, créant une carence en calcium chronique et une hyperparathyroïdie nutritionnelle secondaire caractérisée par de la boiterie, des fractures en bois-vert, voire dans les cas les plus graves un élargissement des mâchoires et des crêtes faciales (3, 43).

### *v. Rapport phosphocalcique*

Lors d'un apport excessif de phosphore par rapport à un apport normal en calcium, c'est-à-dire si le rapport Ca/P est inférieure à 1, l'absorption du calcium diminue et entraîne une hypocalcémie, à l'origine des différentes maladies explicitées précédemment (tétanie de lactation, hypocalcémie idiopathique et cantharidinase).

De la même façon, avec une quantité de calcium correcte dans la ration associée à un excès de phosphore, la formation du squelette est anormale (11).

Il est donc essentiel d'avoir une ration bien équilibrée en termes de calcium et de phosphore et de respecter un rapport Ca/P compris entre 1 et 2.

c) Sodium

i. Fonctions au sein de l'organisme

Le sodium, cation majeur du milieu extracellulaire, est le déterminant principal de l'osmolarité des fluides extracellulaires et a donc un effet sur le volume de ce fluide (5). Il est essentiel au fonctionnement du système nerveux central, il permet de générer des potentiels d'action et participe à de nombreux co-transport de molécules, comme le glucose.

Le sodium présent dans l'organisme est réparti de la manière suivante : 51,1% du sodium se situe dans le squelette, 12,4% dans le contenu alimentaire présent dans le tube digestif, 10,8% dans les muscles et le sang, 8,5% dans la peau et 2,1% dans les autres organes (4).

ii. Absorption

La teneur en sodium des aliments de base est souvent très faible, moins de 0,1% de la matière sèche. Il est donc nécessaire de mettre à disposition des chevaux une pierre à sel, qui couvre les apports recommandés chez les chevaux.

L'absorption du sodium varie en fonction du stade physiologique des chevaux. Un cheval adulte absorbe le sodium pour une valeur comprise entre 48,9 et 83,6% contre 99,6% chez les poulinières (43). On retiendra que la digestibilité moyenne est comprise entre 75 et 94% (43).

iii. Carence

L'hyponatrémie est souvent observée chez le cheval lors de diarrhées et/ou de coliques, mais elle est rarement dû à un défaut d'apport car les chevaux ont souvent dans leur milieu une pierre à sel, constituée en grande partie par du chlorure de sodium. Un cas de poulain en diarrhée associé à une hyponatrémie a été décrit et les symptômes suivants ont été observés: tremblements, hypermétrerie, hyperesthésie, désorientation, convulsions, ataxie, nystagmus et poussée au mur (40).

L'hyponatrémie chronique se traduit par de l'hyporexie voire une anorexie associée à un léchage d'objets ayant été contaminés par la sueur.

Lors d'hyponatrémie aiguë, des troubles de la mastication, des contractions musculaires incoordonnées et de l'ataxie ont été observés chez le cheval adulte (40).

iv. Excès

L'hypernatrémie a été observée chez des animaux n'ayant pas accès à l'eau, et/ou dont l'alimentation est très pauvre en eau et/ou due à un empoisonnement au sel. Aucune hypernatrémie chez le cheval n'a été mise en évidence, à ce jour. En effet, lors d'excès en sodium chez le cheval, le peptide natriurétique est activé et favorise l'excrétion du sodium dans l'urine par inhibition de la rénine (84).

Chez les autres animaux, lorsque ceux-ci sont atteints d'hypernatrémie, les symptômes observés sont les suivants : léthargie, dépression puis, dans un second temps, trémulations des muscles de la face, rigidité musculaire, tremblements musculaires, myoclonies voire coma (5).

#### *d) Potassium*

##### *i. Fonctions au sein de l'organisme*

Le potassium est le cation majeur de l'espace intracellulaire. Il est impliqué dans l'équilibre acido-basique, la pression osmotique et participe au sein de l'excitabilité neuromusculaire (6). Les muscles squelettiques contiennent 75% des ions potassium présents dans l'organisme, 5% se situent dans le squelette, 5% dans le sang et la peau, 4,5% dans le contenu du tube digestif et 10,5% dans les autres tissus (4, 7).

##### *ii. Absorption*

Les rations composées de fourrage et de colza contiennent 1 à 2% (MS) de potassium alors que les céréales n'en contiennent que 0,3-0,4% (MS).

L'absorption du potassium varie de 61 à 65 % voire atteint parfois 99,8%, on retiendra qu'en moyenne sa digestibilité est de 75% (43).

L'exercice chez le cheval adulte mûre diminue la digestibilité du potassium de 74,3% à 66,3% (43).

##### *iii. Carence*

Une carence en potassium chez les équidés est rare car souvent la quantité de potassium ingérée dépasse les besoins recommandés. Ces carences en potassium font suite à de l'anorexie ou à une perfusion excessive en glucose du cheval (car le glucose permet de faire entrer le potassium dans l'espace intracellulaire. Ainsi lors d'une hyperglycémie, on observe une entrée massive du potassium dans les cellules et, par conséquent, une hypokaliémie), ou à des diarrhées, ou à la suite d'exercice intense où le cheval perd beaucoup de sueur et donc d'électrolytes. L'hypokaliémie provoque une faiblesse musculaire, un port de tête bas, une ischémie musculaire voire une nécrose, du pica et une diminution de l'appétit (8).

##### *iv. Excès*

Un excès alimentaire en potassium n'a pas été décrit chez le cheval, car il serait directement excrété dans les urines lorsque l'ingestion d'eau est adéquate. De plus, lors de l'exercice le cheval est en hyperkaliémie, suite à la perte de sueur, et aucun effet sur le cœur n'a été mise en évidence.

Cependant à la suite d'une hyperkaliémie induite par une administration parentérale élevée, un arrêt cardiaque chez le cheval a été provoqué (8, 43).

Les carences et les excès en potassium étant rares, nous ne nous intéresserons pas à cet ion lors de notre comparaison des AMV.

e) Magnésium

i. Fonction au sein de l'organisme

Le magnésium constitue 0,05% de la masse corporelle et se répartit de la façon suivante: 60% se situe dans les os, 38% dans les tissus mous et 1 à 2% dans les fluides extracellulaires (10). Il s'agit du deuxième ion le plus important après le potassium dans les fluides intracellulaires (10). Le magnésium intervient en tant que cofacteur dans plus de 300 réactions enzymatiques, notamment celles impliquant l'ATP (Adénosine Triphosphate): réplication et transcription de l'ADN (Acide désoxyribonucléique). Il est essentiel à la conduction nerveuse, au transport des ions, à la régulation des canaux calciques et au bon fonctionnement de la pompe Na/K/ATPase. Par ailleurs, le magnésium possède un rôle important dans la contraction cardiaque, le péristaltisme intestinal et le fonctionnement des tissus excitables (fibres musculaires striées et lisses, les neurones et les récepteurs sensoriels) (10).

ii. Absorption

Le cheval digère bien le magnésium, comme le chien et le chat. L'absorption s'effectue dans la partie distale de l'intestin grêle et est comprise entre 40 et 60% pour le cheval adulte et de 70% chez les poulains. Ces valeurs sont beaucoup plus élevées que chez le bovin adulte et le porc, qui absorbent seulement 20% du magnésium alimentaire. Les carences primaires en magnésium sont donc rares chez le cheval.

La digestibilité du magnésium est plus grande avec du foin de luzerne (51%) qu'avec des concentrés (31%) (66).

Sa digestibilité n'est pas affectée par la présence d'oxalates dans la ration, ni d'aluminium.

En revanche, un excès de phosphore à une dose de 125 mg de phosphore par kilogramme de poids vif par jour (l'apport recommandé en phosphore est compris entre 28 et 58 mg/kg de PV par jour), diminue l'absorption du magnésium à 41-45% (67). Une autre étude a montré que de fortes concentrations de potassium diminuent très légèrement le taux d'absorption du magnésium (85). On retiendra que l'absorption moyenne du magnésium est de 62-67%.

iii. Carence

L'hypomagnésémie est rarement décrite chez le cheval et est principalement observée chez des patients en état critiques, ou bien à la suite de l'ingestion de rations excessivement riches en calcium et/ou en phosphore, car ces deux ions diminuent l'absorption intestinale du magnésium; ou parfois lors de stress intense (2, 10). Les symptômes observés sont les suivants : nervosité, trémulations musculaires, ataxie, tachypnée, syncopes pouvant conduire à la mort (2, 9, 10, 43).

Les données du NRC de 1989 indiquent que des pâtures pauvres en magnésium ont provoqué chez des ruminants de la tétanie voire la mort sans que cela n'ait affecté similairement les chevaux, mais aucune étude n'a pu expliquer pourquoi (43).



iv. Excès

L'excès de magnésium est encore plus rare que sa carence, chez le cheval, et n'a été décrit que chez deux chevaux ayant reçu par sonde une quantité excessive de magnésium suite à un mauvais dosage lors d'un traitement d'impaction du gros intestin.

L'hypermagnésémie pourra aussi, théoriquement, être observée lors d'insuffisance rénale, de rhabdomyolyse sévère, de syndrome de lyse tumorale, d'hémolyse ou bien lors de sepsis (9, 10). Les signes cliniques se composent alors de: tremblements musculaires, paralysie flasque, tachycardie, tachypnée, transpiration et d'agitation (10).

f) Soufre

i. Fonction au sein de l'organisme

Le soufre intervient dans l'élaboration des phanères (poils et sabots) associé au cuivre et à la vitamine A et intervient dans la composition du cartilage. Il est présent dans l'héparine, certaines vitamines B (thiamine et biotine), l'insuline et le sulfate de chondroïtine. Il constitue 0,15% du poids vif du cheval (11, 43). La thiamine est impliquée dans le métabolisme glucidique, l'héparine est un anticoagulant, l'insuline régule le métabolisme glucidique et le sulfate de chondroïtine participe à la santé des articulations.

De plus, les bactéries ont besoin de substances azotées pour synthétiser leurs protéines. Elles utilisent alors le soufre comme facteur de croissance, au sein du gros intestin.

ii. Absorption

Les chevaux incorporent le soufre inorganique dans les acides-aminés dans le gros intestin ou le récupèrent de la cystine et de la méthionine.

Aucune étude n'a été faite concernant l'absorption du soufre chez le cheval, on suppose que celle-ci est haute (43).

iii. Carences

Les carences en soufre n'ont pas été décrites chez le cheval.

iv. Excès

Des excès de soufre ont été décrits chez les chevaux âgés de 5 à 12 ans suite à une ingestion accidentelle de fleur de soufre (200 à 400 grammes ingérés). Les chevaux étaient léthargiques en moins de douze heures puis ont présenté des coliques. D'autres signes étaient observés: présence de mousse jaune au niveau des narines, des muqueuses jaunes et une respiration difficile. Deux des douze chevaux ont développé un râle expiratoire, de la cyanose et des convulsions avant de mourir (68).

La quantité maximale tolérable de soufre dans l'alimentation de l'équidé est de 0,5%, par extrapolation des données issues des autres espèces (43).

**g) Chlore**

*i. Fonctions au sein de l'organisme*

Le chlore est un ion extracellulaire important dans la balance acido-basique et la régulation osmotique. C'est un composant essentiel de l'acide chlorhydrique produit dans l'estomac, nécessaire à la digestion (11).

*ii. Absorption*

Le chlorure de sodium (NaCl) est composé de 61% de chlore et est souvent utilisé lors de complémentation alimentaire en chlore. Les compositions en chlore du maïs et du soja sont de 0,05%, contre 3% pour les mélasses.

L'absorption du chlore est de 100% et ne varie pas en fonction de la concentration de NaCl dans l'alimentation (43).

*iii. Carences*

Les carences en chlore n'arrivent pas sans carence en sodium car ces deux ions fonctionnent ensemble. Ainsi, on observe très souvent une hypochlorémie associée à une hyponatrémie. Une hypochlorémie est associée ou entraîne une alcalose métabolique chez les chevaux n'ayant pas leur apports recommandés en chlore couverts par l'alimentation (41, 43). Les signes cliniques d'une carence sont similaires à ceux rapportés chez les ruminants, c'est-à-dire: une hyporexie, une perte de poids, une diminution de la production laitière, une faiblesse musculaire, une déshydratation, de la constipation et un appétit capricieux (43).

*iv. Excès*

Les excès de chlore apportés par l'alimentation sont rares et sont liés principalement à une grande quantité de NaCl injectée lors du traitement d'une alcalose. Les chevaux tolèrent très facilement une hyperchlorémie s'ils ont à proximité de l'eau. A ce jour, aucune toxicité du chlore n'a été décrite chez le cheval (11, 43).

Les signes cliniques associés sont une altération du système nerveux central, observé chez les autres animaux.

## 2. Les différents rôles des oligoéléments

Les oligoéléments sont des minéraux présents en faibles quantités dans l'organisme, de l'ordre de parties par million (ppm) et qui interviennent dans différentes fonctions biochimiques. Certains oligoéléments comme l'iode, le manganèse et le zinc font partie intégrante des hormones thyroïdiennes, stéroïdiennes et de l'insuline. D'autres interviennent dans les systèmes de transport du dioxygène au sein de l'hémoglobine et de la myoglobine comme le fer, le cuivre et le zinc.

Parmi les oligoéléments, beaucoup d'entre eux sont des cofacteurs d'enzymes et participent au métabolisme énergétique (chaîne respiratoire, métabolisme glucidique...), au métabolisme protéique (synthèse, digestion et dégradation des protéines), et également à la protection de l'organisme contre l'oxydation (céruloplasmine, superoxydedismutase...).

### a) Le fer

#### i. Fonctions au sein de l'organisme

L'organisme est constitué de 0,01% de fer (11, 43). Le fer est contenu pour 60% dans l'hémoglobine, 20% dans la myoglobine et 20% est stocké dans le foie et les organes hématopoïétiques (rate, moelle osseuse), 0,2% dans des enzymes et différents cytochromes de l'organisme (11).

#### ii. Absorption

Les fourrages et sous-produits associés contiennent en moyenne 100-250 mg/kg de matière sèche de fer et les céréales contiennent moins de 100 mg/kg de MS. Les concentrés contiennent 500-1400 mg/kg de MS et les compléments en calcium et phosphore contiennent souvent 2-3% de fer (43).

L'absorption du fer est inférieure ou égale à 15% (43). Il est plus élevé chez les poulains (43). Une diminution de l'absorption est observée lors de l'introduction en excès dans la ration de cadmium, de cobalt, de cuivre, de manganèse ou de zinc (43).

#### iii. Carence

Les carences en fer d'origine alimentaire chez le cheval sont rares ; sauf chez les chevaux de course non supplémentés en fer ; car les apports recommandés sont habituellement couverts par les composants de la ration.

Les chevaux de course qui suivent un entraînement quotidien peuvent subir une anémie au minimum transitoire. Elle est le résultat d'une augmentation du volume sanguin total car le métabolisme s'accommode pour mieux résister aux déshydratations lors du travail musculaire, en retenant plus d'eau, ce qui a également pour effet de diluer le sang et donc de créer une anémie.

De plus, les jeunes chevaux ou les adultes présentent rarement une carence en fer car ils récupèrent du fer issu du catabolisme des constituants de l'organisme.

Elles sont généralement dues à une mauvaise absorption au niveau de l'intestin grêle ou bien lors de pertes importantes de fer. Le premier signe observé est une anémie microcytaire et hypochrome.

Néanmoins chez les autres espèces (comme le chien) les symptômes observés sont: de la léthargie, de la faiblesse, une perte de poids ou un retard de croissance. A cela, d'autres symptômes peuvent apparaître mais sont inconstants: diarrhée, dermatite, hématurie, hématochésie et *melaena* (14).

#### iv. Excès

Par extrapolation des données issues d'autres espèces, il a été spécifié que la dose maximale tolérable de fer dans l'alimentation est de 500 mg/kg de MS. Certains fourrages comme le foin de sorgho, présentent des teneurs largement supérieures à 500 mg/kg de MS mais n'ont pas d'impact chez le cheval (43).

Lors d'excès en fer, on observe une diminution de la concentration en zinc dans le sérum et le foie ainsi qu'une diminution de l'absorption du cuivre a été observé chez le rat. Avant les années 1980, les poulains étaient habituellement supplémentés de la naissance à leurs trois premiers jours de vie avec du fer et recevaient une dose excessive (350 mg par jour, contre 0,2 mg/kg de MS pour les apports recommandés) de cet oligoélément. Ces derniers présentaient à chaque fois de la diarrhée, un ictère, une déshydratation et un coma avant la mort (69). Depuis 1980, ces suppléments ont cessé et le nombre de poulains intoxiqués au fer à nettement diminué.

### b) Le cuivre

#### i. Fonctions au sein de l'organisme

Le cuivre est essentiel à plusieurs enzymes-cuivre-dépendantes qui sont impliquées dans la synthèse du tissu conjonctif, le transport et la mobilisation du stock de fer, la préservation de l'intégrité des mitochondries et la synthèse de la mélanine (14, 43).

#### ii. Absorption

Au sein de l'alimentation on trouve de 1 mg/kg de matière brute (MB) cuivre dans le maïs jusqu'à 80 mg/kg de MB de cuivre dans la canne à sucre.

L'efficacité d'absorption du cuivre est inversement proportionnelle à la concentration en cuivre de l'aliment. L'absorption moyenne du cuivre est comprise entre 24 et 48% (58). On note 41,8% de digestibilité du cuivre chez les chevaux à l'entretien et 54,4% chez les chevaux qui travaillent (70). L'absorption du cuivre varie en fonction des constituants présents dans l'alimentation, de l'activité des animaux mais aussi de la forme de cuivre apportée dans l'alimentation.

La forme la mieux absorbée est le cuivre inorganique, issu de la roche-mère qui contient du cuivre sous différentes formes (oxyde de cuivre, ion cuivre  $\text{Cu}^{2+}$ , le carbonate de cuivre, le phosphate de cuivre, le chlorure de cuivre et le sulfate de cuivre). Le chlorure de cuivre et le sulfate de cuivre sont les formes inorganiques les plus rencontrées dans la nature (71).

Le molybdène diminue la digestibilité du cuivre mais les équidés restent cependant plus tolérants que les ruminants. En effet, chez les ruminants le molybdène accroît la proportion de cuivre liée à l'albumine plasmatique et cette liaison peut être suffisamment puissante pour rendre le cuivre indisponible aux cellules. Chez les équidés, une supplémentation en molybdène n'entraîne pas de modification du cuivre plasmatique, ce qui expliquerait pourquoi les chevaux sont plus tolérants que les ruminants. Les équidés peuvent supporter jusqu'à 20 mg/kg de molybdène dans leur ration sans interférence avec l'absorption du cuivre, alors que pour les ruminants des carences en cuivre ont été observées à partir de 1-3 mg/kg de molybdène (72, 86).

Le zinc diminue très fortement l'absorption du cuivre jusqu'à créer des carences. Par exemple, lors d'une ration composée de 7,7 mg/kg de cuivre (MS) et de 1000-2000 mg/kg de zinc chez les poulains, il a été observé des carences en cuivre (43). Il est donc nécessaire de faire attention au rapport cuivre/zinc qui doit être compris entre 0,15 et 0,25, pour éviter l'apparition de carence en cuivre suite à un excès de zinc.

### iii. Carence

Un excès de molybdène dans les herbages, ou de zinc, ou bien un défaut d'apport en cuivre sont à l'origine de carences en cuivre. Une carence en cuivre induit des épiphysites, des boiteries, de l'ostéochondrose et de l'ostéodysgénésie chez le poulain (43). Chez les juments, le taux de cuivre sanguin diminue avec l'âge, ce qui est associé à une augmentation du taux de rupture de l'artère utérine (11, 14, 43). Un cas d'ostéodysgénésie, c'est-à-dire une malformation osseuse, a été décrit chez un poulain de deux mois avec des exostoses au-dessus et en dessous des articulations associées à un excès de fluides au sein des capsules (15). Enfin, une étude a démontré l'existence de trois stades lors de carence en cuivre chez les chevaux. Lors de la première phase, il y a une diminution de la fonction neutrophile et une hypertrophie cardiaque due à la réduction des activités cytochrome oxydase. La deuxième phase se manifeste par un retard de croissance, une kératinisation et une élasticité anormale de la peau, des anomalies vasculaires ainsi qu'une synthèse anormale du collagène osseux. Lors de la dernière phase, une anémie microcytaire hypochrome apparaît (15).

### iv. Excès

Les chevaux sont relativement résistants aux doses élevées de cuivre dans l'alimentation. Néanmoins, un cas d'intoxication aiguë a été décrit lors d'une étude sur les propriétés anti-inflammatoires du cuivre (18). Cinq minutes après l'administration du traitement composé de D-pénicillamine, contenant du cuivre, par voie orale, la concentration en cuivre plasmatique est passée de 0,4 µg/mL à 7,7 µg/mL ; le cheval s'est mis à trembler, balancer la croupe, déféquer et chuter. Vingt-quatre heures après, le cheval présentait une douleur abdominale. Au bout de trente-six heures, le cheval s'était rétabli. Lors de cette étude, le cuivre introduit dans la circulation sanguine a entraîné des lésions des hépatocytes, une augmentation de la bilirubine totale plasmatique suite à une hémolyse par entrée du cuivre dans le globule rouge. Selon le NRC (17), le niveau maximal tolérable de cuivre pour les chevaux dans leur alimentation est de 250 mg/kg de MS (Matière Sèche).

c) Le zinc

i. Fonctions au sein de l'organisme

Le zinc participe à plus de deux cents complexes enzymatiques (incluant l'anhydrase carbonique, la phosphatase alcaline et la carboxypeptidase), il stabilise la structure des ARN, de l'ADN et des ribosomes, ainsi que les membranes cellulaires (11, 14). On trouve de fortes concentrations en zinc au sein de la choroïde et de l'iris des yeux, des concentrations intermédiaires au sein de la peau, du foie, des os et des muscles, et de très faibles concentrations dans le sang, le lait, les poumons et le cerveau.

ii. Absorption

De nombreux aliments des chevaux contiennent une quantité moyenne de zinc de l'ordre de 15-40 mg/kg de MS.

L'absorption du zinc est comprise entre 5-15% en moyenne (43).

L'absorption varie en fonction de la forme de zinc introduite: 13,9% pour l'oxyde de zinc, 12,8% pour la forme sulfatée et 10,6% pour la forme de chélate organique. La forme chélatée est la forme nécessaire au transport actif au sein de l'intestin grêle de ce métal, elle fait intervenir un facteur de liaison de faible poids moléculaire qui semblerait être un métabolite du tryptophane (l'acide picolinique), sécrété par le pancréas dans la lumière intestinale (87).

Il n'y a pas de différence majeure d'absorption entre le zinc organique (10,6%) et le zinc inorganique (13,9%) (43).

iii. Carence

Une carence en zinc provoque de l'inappétence, parfois un amaigrissement alarmant, des retards de croissance, des aplombs défectueux ainsi que des boiteries (11). Les jarrets et les boulets sont gros et les sabots de mauvaise qualité voire même déformés. Le tableau clinique peut se compléter par des lésions cutanées (parakératose) qui démarrent au-dessus des sabots, de l'alopecie ainsi que des problèmes de fécondité pour les juments (11, 14, 19). Une étude sur 304 poulains a démontré qu'une carence en zinc entraîne un désordre du système immunitaire avec une augmentation du rapport albumine/globuline qui traduit une hypogammaglobulinémie (19).

iv. Excès

La toxicité survient avec des apports d'au moins 1000 mg de zinc par kg de poids vif, soit des apports importants en zinc de 5,4 g de zinc par kg de matière sèche, et se manifeste par l'élargissement des épiphyses des os longs associé à une raideur de la démarche, des douleurs articulaires et une néphrocalcinose (11). La cause principale de cette toxicité est liée à la pollution industrielle des herbages (11). La dose maximale tolérable en zinc est de 500 mg/kg de MS, par extrapolation de la dose maximale tolérable dans les autres espèces (43).

d) Le manganèse

i. Fonctions au sein de l'organisme

Le manganèse est un métal que l'on trouve dans l'ensemble de l'organisme mais surtout dans les os (25%) (14). Il est essentiel au bon fonctionnement des métabolismes glucidiques et lipidiques et participe à la formation du cartilage (11, 43).

ii. Absorption

Les fourrages contiennent 40-140 mg/kg de MS de manganèse et la plupart des concentrés en contiennent 15-45 mg/kg de MS (43).

L'absorption du manganèse varie en fonction de la forme sous lequel il est apporté: sous forme d'oxyde l'absorption est de 13,6%, sous forme de sulfate le taux est de 8,6% et sous forme de chélate organique on atteint 15,5% d'absorption (73).

Chez les équidés à l'entretien, le taux d'absorption est de 28,5%, d'après Pagan (1994). Alors que Hudson (2001) a démontré que la digestibilité du manganèse diminue de 58 à 40% avec l'exercice. De par la variation importante de la digestibilité du manganèse, il est impossible de déterminer avec précision l'absorption du manganèse, ni les apports recommandés en cet élément (11, 43).

iii. Carence

Un excès de calcium et/ou de phosphore peut diminuer l'absorption du manganèse et donc créer des carences mais l'herbe, souvent pauvre en manganèse, peut être aussi à l'origine de défaut en manganèse. Celle-ci se traduit par les symptômes cliniques suivants: retard de croissance, anomalies du squelette (membres courts et fins, articulations élargies et gonflées surtout en regard du jarret), incoordination et boiterie chez les poulains, perturbation de la reproduction (cycle de chaleur irrégulier) voire résorption fœtale lors de carence sévère (11, 14).

iv. Excès

Le manganèse est l'élément trace le moins toxique de tous. Néanmoins, il inhibe l'absorption du fer à l'origine d'une carence de cet oligoélément (14). Il interfère également avec l'absorption du phosphore. La quantité maximale tolérable de manganèse dans l'alimentation est de 400 ppm, calcul basé par extrapolation dans les autres espèces.

e) **Le cobalt et la vitamine B12**

i. Fonction au sein de l'organisme

La microflore colique et cœliaque utilisent le cobalt, qui est un métal, pour synthétiser la vitamine B<sub>12</sub> (11, 14, 43). Le cobalt est un oligo-élément essentiel, notamment en tant que noyau de la vitamine B<sub>12</sub>, coenzyme de nombreuses réactions enzymatiques dont celles de l'hématopoïèse (11, 43).

La vitamine B12 aussi nommée cobalamine est essentielle à la division et la prolifération cellulaire (11, 14). En effet, elle participe à la synthèse de la pyridine des acides nucléiques ainsi qu'à la conversion de certains acides nucléiques (11,14). La vitamine B12 contient du cobalt.

ii. Carence

Aucune carence en cobalt n'a été mise en évidence chez le cheval qui est beaucoup moins sensible que le bovin (11).

Bien qu'aujourd'hui aucune carence en vitamine B12 ne soit décrite chez le cheval, qui reçoit un apport adéquat en cobalt, il a été supposé qu'un apport en vitamine B12 chez certains animaux anémiés (anémie macrocytaire) provoquait une amélioration de leur état ainsi qu'une augmentation d'appétit. Les chevaux semblent plus résistants que les ruminants en regard de la carence en vitamine B12 (11).

iii. Absorption

L'alimentation des chevaux contient en moyenne 0,05 à 0,06 mg de cobalt par kg de matière sèche. Les plaines côtières de l'Atlantique, l'Angleterre, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, l'Afrique de l'est et la Norvège sont des pays où les sols sont pauvres en cobalt. Aucune étude ne s'est intéressée à l'absorption du cobalt, ni de la vitamine B<sub>12</sub> chez le cheval (43).

iv. Excès

Aucune toxicité n'existe à ce jour chez le cheval en cobalt et en vitamine B<sub>12</sub> (11, 14). Néanmoins la dose maximale tolérable de cobalt au sein de l'alimentation est de 25 mg/kg de matière sèche, déterminé par extrapolation dans les autres espèces.



## f) L'iode

### i. Fonctions au sein de l'organisme

L'iode est un élément trace qui compose essentiellement les hormones thyroïdiennes (T3 et T4). Ces dernières sont le support principal de l'activité biologique, régulent le métabolisme basal, stimulent la croissance des os longs et des phanères, et agissent sur la reproduction (20).

### ii. Absorption

La digestibilité de l'iode est plutôt haute mais aucune étude n'a déterminé la digestibilité chez le cheval (43).

### iii. Carence

Une carence ou un excès d'iode se traduit de la même façon chez le cheval, c'est-à-dire par une hypothyroïdie. Lors de carence, on observe un manque d'iode et donc d'hormones thyroïdiennes. Lors d'excès, on observe une inhibition de la synthèse et de la libération des hormones thyroïdiennes. Dans les deux cas, cela conduit à une augmentation de la production de TSH (thyroïdostimuline) qui provoque une augmentation de la taille de la glande et donc la formation d'un goître.

Chez les juments carencées en iode, les poulains naissent faibles et présentent des difficultés à téter. Une supplémentation de l'ordre de 100 mg d'iode *in toto* par jour lors de la deuxième moitié de gestation permet de résoudre ce problème. Chez les juments, une carence ou un excès en iode peut entraîner des cycles de chaleurs anormaux (11, 43).

Il y a peu d'études à ce jour concernant les recommandations en iode à fournir aux équidés, on estime que l'apport d'iode doit être de 0,007 mg/kg de PV ou 0,35 mg/kg de MS pour tous les équidés sauf les juments dans le dernier tiers de gestation où l'apport recommandé en iode est de 0,4 mg/kg de MS, par extrapolation des données issues de l'espèce humaine (43).

### iv. Excès

On rencontre plus souvent des cas de toxicité d'iode que de carence, chez le cheval en France. La toxicité résulte d'un surdosage en iode ou d'aliment trop riche en cet élément (notamment les algues). Pour des doses de l'ordre de 350 mg/jour d'iode reçu chez les poulinières en gestation durant les 24 dernières semaines de gestation, on observe de l'alopécie, des avortements et de la mortalité chez les poulains (43).

g) Le sélénium

i. Fonctions au sein de l'organisme

Le sélénium est un antioxydant et permet de désoxyder la vitamine E. C'est également un modulateur de la production de médiateurs de l'inflammation, un stimulant de la migration des cellules phagocytaires et des lymphocytes (11, 20). De plus, le sélénium est le cofacteur de la déiodase (elle déiode la T4 en T3) et prévient certains cancers (11, 22).

ii. Absorption

Au sein de l'alimentation chez les chevaux, la quantité de sélénium présente dans les matières premières est généralement de 0,01-0,3 mg/kg de MS, en fonction de la quantité de sélénium présente dans le sol de ces aliments et du pH (potentiel hydrogène) du sol. On observera des carences en sélénium plutôt en sol acide (20).

Il n'existe pas de différence d'absorption entre le sélénium organique et inorganique. Le taux d'absorption du sélénium est de 77% chez les chevaux contre 29% chez les ruminants (43).

iii. Carence

Lors de carence, on observe une dégénérescence des muscles striés des chevaux (White muscle disease), un déficit immunitaire principalement chez les poulains de moins de soixante jours ainsi que des troubles de la reproduction et une inflammation du tissu adipeux (21, 22)

iv. Excès

Le sélénium possède une toxicité lorsqu'il est introduit en excès notamment par une alimentation trop riche en sélénium ou bien lors d'ingestion/d'injection accidentelle d'un médicament contenant du sélénium ou bien lors d'un ajout d'un AMV contenant de la vitamine E et du sélénium. Il provoque des troubles de l'épiderme (alopécie de la queue et de la crinière, pelage rêche et humide, inflammation de la bande coronaire), ainsi que des modifications de la structure du sabot à l'origine d'une boiterie (11).

L'intoxication aiguë est rare mais elle existe. En 2009, par exemple, vingt et un chevaux de Polo sont morts lors d'un tournoi en Floride à la suite d'une intoxication au sélénium après injection par voie intraveineuse d'un produit composé de sélénium, de potassium et de magnésium à une dose de 4-5 mg/kg de poids vif (23). La dose létale de sélénium étant de 1,49 mg/kg de poids vif. Une hyperexcitabilité, une sudation, de l'ataxie, de la tachycardie, de la dyspnée, de l'hyperthermie ont précédé une mort rapide (23). La dose mortelle est atteinte à partir de 2-5 mg/kg de matière brute, nous retiendrons qu'en dessous de 20 mg de sélénium au total dans la ration n'est pas toxique (23).

### 3. Les différents rôles des vitamines

Les vitamines sont par définition des composés organiques indispensables pour le maintien de la santé, car elles ne sont pas synthétisées par l'organisme ou bien leur synthèse est insuffisante (24). Elles sont essentielles au bon fonctionnement de l'organisme et leur manque dans l'alimentation est à l'origine de maladies carencielles. Les vitamines sont divisées en deux sous-groupes: les vitamines liposolubles (vitamines A, D, E et K) et les vitamines hydrosolubles B (24). Les vitamines hydrosolubles ne sont pas stockées et ne présentent pas de toxicité car si elles sont introduites en excès, elles sont éliminées dans les urines.

Les besoins du cheval en toutes les vitamines ont été extrapolés à partir d'autres espèces car aucune étude n'a été menée à ce sujet.

#### a) Vitamine A

##### i. Fonctions au sein de l'organisme

Le  $\beta$ -carotène est synthétisé par les plantes et constitue la principale source de vitamine A chez le cheval. La vitamine A associée à l'opsine forme la rhodopsine qui en subissant une photo-isomérisation est à l'origine de l'induction d'un influx nerveux par phototransduction. Le rôle essentiel de cette vitamine se trouve dans la différenciation cellulaire, elle participe également à la croissance des tissus (notamment osseuse), à la vision (transformation de la lumière en signaux électrochimiques) et, dans une moindre mesure, à la prolifération des lymphocytes B et T (14).

##### ii. Absorption et sources

La vitamine A est produite à partir des provitamines A présentes dans les composants caroténoïdes chez le cheval. Jusqu'à 400 types de caroténoïdes ont été isolés dans la nature, dont seulement une cinquantaine à activité vitaminique. Le plus actif et quantitativement significatif est le trans- $\beta$ -carotène. Chez le rat, 0,6  $\mu\text{g}$  de trans- $\beta$ -carotène peut donner 1 UI d'activité provitaminique. Le cheval obtient cependant moins de vitamine A à partir du clivage du carotène alimentaire, qui s'effectue dans la paroi de l'intestin grêle par l'action de la  $\beta$ -carotène 15,15'-dioxygénase. Cette dernière molécule est peu efficace dans l'espèce équine, c'est-à-dire que la caroténase clive le quarantième des carotènes alimentaire (11). Le cheval résorbe les pigments liposolubles, carotènes et caroténoïdes qui s'accumulent exagérément dans les graisses de réserves et leur confèrent une coloration jaune. La vitamine A est ensuite soit stockée dans le foie, soit redistribuée dans les autres tissus (25, 26). On estime chez le cheval que 0,3  $\mu\text{g}$  de rétinol contribue à former 1 UI de vitamine A (11, 43).

Les formes utilisées de provitamine A dans les AMV sont les esters de rétinol (palmitate et acétate) qui sont plus stables que le rétinol seul.

iii. Carence

La teneur en lipides des régimes affecte le statut vitaminique A. Si la ration est pauvre en lipides, l'apport de vitamine A est souvent faible et celle-ci est, de plus, mal absorbée.

Le symptôme le plus notable lors d'une carence en vitamine A est une cécité nocturne. D'autres symptômes peuvent être un signe d'appel de carence en vitamine A comme un retard de croissance et des troubles de l'hématopoïèse chez les poulains en croissance (11, 14, 43). Une étude menée sur 3 groupes de poulinières (un groupe où les juments ne consommaient que du foin, un autre où les juments étaient alimentées grâce à la pâture et un troisième groupe formé de juments nourries avec du foin et complémentées en vitamine A) a démontré que le deuxième groupe de juments qui étaient en pâture sans complément de foin étaient carencées en vitamine A et présentaient une augmentation de rétention placentaire ainsi qu'une croissance ralentie des tendons des poulains (27).

iv. Excès

Une intoxication à la vitamine A est supposée chez le cheval lorsque la concentration plasmatique de cette vitamine dépasse les 400 à 600 µg/L (11, 43).

Les signes cliniques observés lors d'intoxication à la vitamine A chez le cheval sont: une fragilité osseuse, une hyperostose (hypertrophie osseuse), une exfoliation de l'épithélium cutané et de la tératogène (susceptible de provoquer des malformations fœtales) (43, 74). Il a également été reporté le développement de maladies orthopédiques à l'origine de déformations angulaires des membres, d'ostéochondroses et d'arthrite juvénile (75).

La dose maximale tolérable de vitamine A dans l'alimentation est de 16000 UI/kg de MS, hypothèse formulée par les scientifiques mais aucune toxicité n'a été démontrée à cette valeur chez le cheval (NRC, 1987).

b) Vitamine D

i. Fonctions au sein de l'organisme

La vitamine D regroupe la vitamine D<sub>2</sub> (ergocalciférol) et la vitamine D<sub>3</sub> (cholécalfiérol). Cette vitamine régule l'homéostasie phosphocalcique sanguine, régule une partie du système immunitaire et influence la croissance ainsi que la différenciation cellulaire (14, 29, 43). La vitamine D facilite l'absorption du calcium au niveau de l'intestin, la réabsorption du calcium au niveau des reins et influence la mobilisation et l'accumulation du calcium et du phosphore dans les os (43).

## ii. Absorption et sources

La vitamine D<sub>2</sub> se trouve dans les végétaux et la vitamine D<sub>3</sub> est soit apportée par l'alimentation, soit synthétisée au niveau de la peau puis est métabolisée au sein du foie. Cependant la synthèse de la vitamine D<sub>3</sub> au niveau de la peau a été démontrée chez le cheval mais son hydroxylation est limitée (29). Ainsi l'apport en vitamine D<sub>3</sub> chez le cheval s'effectue principalement par l'alimentation.

## iii. Carence

Le rachitisme se traduit par des anomalies dans le développement et la croissance osseuse (défaut de minéralisation) et des déformations du squelette chez l'animal en croissance. Il est dû à un apport défectueux de calcium et/ou de phosphore, associé à une carence en vitamine D. De même, lors de défaut en vitamine D il peut être observé chez l'adulte des décalcifications osseuses à l'origine d'ostéomalacie (11, 29). De plus, chez des poulains privés de toute source de vitamine D, il a été observé: une perte d'appétit, un inconfort à rester debout et un amincissement du cortex des os longs entraînant un retard de fermeture des cartilages de croissances de ces derniers (11). Aucune carence n'a été décrite à ce jour, chez les chevaux nourris avec des apports en vitamine D suffisants et exposés au soleil (29, 43).

## iv. Toxicité

Lors d'intoxication, on observe une hypercalcémie à l'origine de calcifications des tissus mous, affectant plus particulièrement les vaisseaux sanguins, les poumons, les reins et le cœur et pouvant entraîner la mort, notamment lors de néphrocalcinose (30, 76).

Il existe des plantes qui consommées en excès provoquent ces troubles :

- *Cestrum diurnum* aussi appelée jasmin sauvage, n'existe qu'aux États-Unis et plus précisément en Floride, au Texas et en Californie (11),
- *Solanum glaucophyllum*, que l'on trouve en Amérique du Sud,
- *Trisetum flavescens*, que l'on trouve partout dans le monde, dont la France.

D'autres signes de toxicité de vitamine D observés sont: dépression, perte d'appétit, faiblesse, raideur de la démarche, arrêt de croissance et amaigrissement (76).

La dose supposée toxique chez le cheval est de 44 UI/kg de poids vif par jour (NRC, 1987). La dose maximale tolérable dans l'alimentation est de 4000 UI/ kg de MB d'aliment (53).

c) Vitamine E

i. Fonctions au sein de l'organisme

La vitamine E, aussi nommée  $\alpha$ -tocophérol, regroupe les tocophérols ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  qui possèdent une chaîne saturée) et les tocotriénols ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  qui possèdent une chaîne insaturée) (31, 32). Cette vitamine est stockée dans le tissu adipeux, dans le foie et dans les muscles chez les mammifères et donc chez le cheval (32). Elle protège les phospholipides membranaires des réactions de peroxydation, inactive les formes réactives du dioxygène et semble participer au bon fonctionnement du système immunitaire car les poulinières supplémentées présentent des concentrations en IgG (Immunoglobuline G) et en IgA (Immunoglobuline A) dans le colostrum des poulinières élevées (11, 31, 32).

ii. Absorption et sources

La vitamine E est synthétisée par les plantes, les algues et les champignons. L'apport de vitamine E chez le cheval s'effectue soit par alimentation, soit par l'ajout de vitamine E de synthèse dans la ration (11, 32). Il est à noter que l'on observe une meilleure activité antioxydante de la vitamine E lorsqu'elle est couplée à des caroténoïdes qui sont eux-mêmes des antioxydants (présents dans les carottes sans moisissures, la luzerne déshydratée...) (11). Il existe 8 différents stéréoisomères de la vitamine E, l'isomère naturel appelé RRR est celui qui a l'activité biologique la plus élevée (1,49 UI par mg contre 1 UI/mg pour les autres formes).

Les concentrations de vitamine E au sein de l'alimentation des chevaux varient considérablement: les fourrages frais ou récoltés à un stade immature contiennent de fortes concentrations en vitamine E (30-100 UI/kg de MS) alors que les céréales (avoine, maïs et orge) contiennent de faibles concentrations (20-30 UI/kg de MS, d'après le NRC 2007 contre 10 UI/kg de MB pour l'INRA 2011). Naturellement, la vitamine E décroît avec le temps de stockage. Par exemple, pour du foin de luzerne stocké à 33°C pendant 12 semaines, on perd entre 54 et 73% de vitamine E. Les producteurs d'aliments complètent les aliments en esters de vitamine E car cette forme est plus stable et moins sensible à l'oxydation. La vitamine E peut être obtenue de source naturelle (isomère RRR) ou synthétiquement (8 stéréoisomères) Pagan a démontré que l'isomère dit de source naturelle est 5 à 6 fois plus bio disponible dans le sérum que les sources synthétiques (13).

iii. Carence

Une carence en vitamine E induit des troubles neuromusculaires chez les chevaux, dont les signes varient en fonction de l'âge (11).

Les poulains, de la naissance jusque 11 mois, peuvent être touchés par la maladie du muscle blanc du poulain se traduisant par de la faiblesse musculaire, de l'arythmie voire une mort soudaine (32).

Les jeunes (généralement moins de 6 mois) voire les jeunes adultes peuvent contracter une myéloencéphalopathie dégénérative équine avec ataxie, faiblesse et mouvements spastiques.

Les adultes sont touchés par deux troubles : la maladie du moto-neurone et la dégénérescence musculaire chez l'adulte. La maladie du moto-neurone provoque faiblesse, atrophie musculaire, réduction des foulées et démarche prudente, tête basse, la queue légèrement relevée, l'abdomen est levretté et on peut parfois trouver lors de l'examen de l'œil des dépôts anormaux de pigments de lipofuschine (jaune-brun) sur la zone du fundus de la rétine (11, 32). La maladie du motoneurone moteur est une carence primaire en vitamine E qui peut être reproduite expérimentalement. Cependant des études récentes suggèrent que la carence pourrait, dans certains cas, être secondaire à des contraintes oxydantes excessives.

La dégénérescence musculaire est une myopathie nutritionnelle associée à une atteinte des masséters, et/ou une atteinte du myocarde, et/ou une atteinte des muscles locomoteurs (32, 33). Chez les adultes, seulement une partie des symptômes est présente.

#### iv. Toxicité

La vitamine E n'est pas toxique chez le cheval tant qu'elle n'atteint des doses élevées en vitamine E. La dose maximale tolérable de vitamine E dans l'alimentation est de 1000 UI/kg de MS (NRC, 1987). Cependant cette dose maximale tolérable est fixée par extrapolation des données des autres espèces. En effet, des troubles de la coagulation (une forte dose de vitamine E a un effet anti vitamine K) et un dysfonctionnement de la minéralisation des os ont été observés chez d'autres espèces lorsque la dose de vitamine E avait dépassé cette limite fixée (11, 43).

#### d) Vitamine K

##### i. Fonctions au sein de l'organisme

La vitamine K, est composée de trois sous-vitamines K: la phylloquinone (vitamine K<sub>1</sub>) synthétisée par les plantes, la méroquinone (vitamine K<sub>2</sub>) synthétisée par les bactéries et la ménadione (vitamine K<sub>3</sub>) qui est une forme synthétique (11, 14, 38). Cette dernière forme ne dispose pas de « chaîne latérale », elle est donc soluble dans l'eau et elle possède une activité biologique 2 à 3 fois supérieure aux vitamines K<sub>1</sub> et K<sub>2</sub>. La vitamine K est un cofacteur de l'enzyme carboxylase-vitamine-K-dépendante qui synthétise les facteurs II, VII, IX, et X qui appartiennent à la cascade de coagulation, participe au métabolisme osseux, à la spermatogénèse, à l'apoptose et à l'immunité (14, 38).

##### ii. Absorption et sources

Parmi les différents aliments existants chez le cheval, les fourrages contiennent de fortes concentrations en vitamine K: 2,73-21,6 mg/kg de MS contre 0,2-0,4 mg/kg de MS pour les céréales.

### iii. Carence

Les carences sont provoquées généralement par l'ingestion de dicoumarol, ou par administration de warfarine ou d'autres dérivés de coumarines, qui sont des raticides. Le dicoumarol est aussi produit par des légumineuses moisis comme le mélilot blanc et jaune, le trèfle des champs (*Melilotus alba* et *Melilotus officinalis*), mais seulement un cas d'intoxication a été décrit chez le cheval. La vitamine E en excès conduit également à une carence en vitamine K chez le cheval. Le dicoumarol est produit suite à la transformation du coumarol par un champignon, présent naturellement dans le trèfle des champs (77). Dans ce cas, la jument percheronne de 6 ans présentait une épistaxis unilatérale spontanée (77).

### iv. Toxicité

La toxicité est rare chez les chevaux et débiterait à partir de 1000 fois la dose recommandée de vitamine K (43). Cependant, les apports recommandés en vitamine K n'étant pas connus, il est difficile d'établir une dose maximale tolérable. Lors d'administration d'une dose comprise entre 2,1 et 8,3 mg/kg de poids vif par voie intramusculaire de ménadione chez cinq jeunes chevaux adultes, une insuffisance rénale aiguë a été décrite avec comme symptômes une colique rénale, une hématurie, une azotémie et des troubles électrolytiques (78).

## e) Vitamine B1

### i. Fonctions au sein de l'organisme

La vitamine B1 aussi appelée thiamine, est principalement impliquée dans le métabolisme des acides  $\alpha$ -cétosiques et la voie des pentoses phosphates (décarboxylation oxydative et non-oxydative, transacétylation) (11, 14). C'est une coenzyme de la pyruvate déshydrogénase qui catalyse la transformation du pyruvate en acetyl-coenzyme A (11, 42). On retrouve cette vitamine principalement dans le cerveau et les tissus nerveux (14).

### ii. Absorption et sources

Cette vitamine est présente en grande quantité dans les enveloppes externes des céréales (3,5 mg/kg de MS dans le maïs, 5,2 mg/kg de MS dans l'avoine, 5,5 mg/kg de MS dans le blé et 5,7 mg/kg de MS dans l'orge). Chez le cheval 25 % de la quantité de thiamine présente dans l'organisme est produite dans le cæcum et est absorbée (11, 42).

La supplémentation en thiamine s'effectue sous forme d'hypochloride de thiamine ou bien de mononitrate de thiamine chez le cheval.

### iii. Carence

Lors de carence en vitamine B<sub>1</sub>, l'oxydation du glucose ne peut se faire entièrement et cela provoque de l'ataxie, de l'anorexie, une bradycardie et des troubles musculaires car la chaîne respiratoire est bloquée et ne permet pas la production de molécules énergétiques (ATP, GTP) (11, 14, 43). Les carences surviennent lorsque les animaux pâturent dans des



herbages pauvres en thiamine, ou lorsqu'ils ingèrent de la fougère aigle ou de la prêle ou bien lorsqu'ils consomment des céréales trop broyées ou bien encore lors de traitements composés de coccidiostatique (Amprolium). L'amprolium crée une carence en thiamine car il possède une structure analogue à la thiamine et interfère donc dans le métabolisme de cette vitamine (79). Cependant, le cheval synthétise la thiamine au niveau intestinal, les risques de carence sont donc très faibles, la complémentation en vitamine B<sub>1</sub> n'est donc pas nécessaire (11, 42, 43).

f) Acide folique

i. Fonctions au sein de l'organisme

L'acide folique ou acide pteroyl-L-glutamique ou encore vitamine B<sub>9</sub> est utilisé dans la méthylation de l'ADN (ajout d'un carbone), la synthèse des purines et de la méthionine, ce qui lui confère un rôle essentiel dans la production d'ADN/ARN ainsi que dans la synthèse des protéines (11, 14).

ii. Absorption et sources

Il existe peu de valeurs connues de concentrations en folate des aliments composants la ration des chevaux. Les valeurs déterminées sont pour la luzerne : 2,5-4,1 mg/kg de MS, le foin de trèfle : 2,3 mg/kg de MS et les céréales (maïs : 0,3 mg/kg de MS, 0,4 mg/kg de MS pour l'avoine et 0,6 mg/kg de MS pour l'orge) (43).

La majorité de l'acide folique utilisé par l'organisme est celui qu'il produit au sein de la microflore du gros intestin chez le cheval : les chevaux nourris avec de faibles concentrations de folates (< 0.1 mg/kg de MS) possèdent de fortes concentrations de folates au sein du duodénum (0,9 mg/kg de MS), de l'iléon (0,5 mg/kg de MS), du caecum (3 mg/kg de MS) et du côlon (7,4 mg/kg de MS) (NRC, 1989). Le cheval produit 99% de ses besoins en folate.

L'absorption d'acide folique est faible chez les chevaux, elle est de 11,3% (80).

iii. Carence

Les carences en acide folique chez le cheval n'ont jamais été décrites. Cependant on peut observer une diminution des concentrations plasmatiques de l'acide folique à la suite de l'utilisation de sulfadiazine ou de pyréméthomine qui inhibent l'enzyme permettant la synthèse de l'acide folique dans le gros intestin. Une myéloencéphalopathie a été observée chez une jument Quarter Horse à la suite d'un traitement composé de sulfadiazine et de pyréméthomine, et a été accompagnée d'une diminution de la concentration sérique d'acide folique chez cette jument. Une anémie macrocytaire, une hypoplasie de la moelle épinière, de la dysphagie ont été aussi observés (due à des ulcérations buccales et une glossite) (36).

**g) Biotine**

**i. Fonctions au sein de l'organisme**

La biotine ou vitamine B8 est un cofacteur enzymatique de quatre enzymes de type carboxylase (acétylcoenzyme A carboxylase, pyruvate carboxylase, propionylcoenzyme A carboxylase et  $\beta$ -méthylcrotonyl-coenzyme A carboxylase). Elle participe donc activement à la prolifération cellulaire, à la synthèse des acides gras, à la glycolyse et à la glycogénèse. De plus, la biotine est impliquée dans l'expression des gènes et dans la structure de la chromatine. Il existe 8 isomères de la biotine mais seul la *d*-biotine possède une activité vitaminique (11, 14).

**ii. Absorption et sources**

La biotine peut être produite par la microflore du tube digestif ou bien apportée par l'alimentation. Elle est très présente dans la luzerne et un peu moins dans les céréales (soja, riz, orge, avoine, blé, maïs) (11,14).

On trouve de fortes concentrations de biotine au sein de la luzerne (0,2 mg/kg de MS), le foin de luzerne (0,49 mg/kg de MS) ; des concentrations intermédiaires dans l'avoine (0,11-0,39 mg/kg de MS), l'orge (0,13-0,17 mg/kg de MS) et de faibles concentrations dans le maïs (0,06-0,1 mg/kg de MS).

L'absorption de la biotine chez les chevaux n'est pas connue, cependant chez les autres espèces, notamment les porcs et les volailles, on atteint des taux d'absorption de 100% et 75-100%, respectivement.

La biotine existe naturellement liée à un peptide ( $\epsilon$ -N-biotinyl-L-lysine) rendant l'absorption de la biotine liée à la digestibilité de ce dernier (43).

**iii. Carence**

Une alopecie, une dermatite et des défauts de sabot (perte de structure et de corne dans la strate externe du mur du sabot ainsi qu'une perte de structure tubulaire dans l'intérieur du sabot) sont caractéristiques d'une carence en biotine (14, 37).

**h) Acide pantothénique, niacine, riboflavine et pyridoxine**

Les informations concernant les besoins en vitamine B6 et en acide panthoténique ne sont pas disponibles à ce jour chez le cheval mais elles sont vraisemblablement synthétisées dans le tractus gastro-intestinal.

L'acide pantothénique ou vitamine B5, est un porteur de groupe d'acyl dans les coenzymes A et intervient donc dans le métabolisme des acides gras et dans le cycle de Krebs. C'est aussi un facteur de croissance pour certaines levures et pour les bactéries produisant de l'acide lactique. On la trouve dans presque tous les aliments (*Panthoten* issu du

grec signifie partout), elle est très concentrée dans les germes et céréales complètes ainsi que dans les orties.

Les carences sont rares chez le cheval et se traduisent pas des signes neurologiques et de l'anémie macrocytaire hypochrome.

La niacine ou acide nicotinique ou encore vitamine B<sub>3</sub>, est issue de la transformation du tryptophane. Deux coenzymes contenant de la niacine, NAD (nicotinamide adénine dinucléotide) et NADP (nicotinamide adénine dinucléotide phosphate) interviennent dans les réactions d'oxydo-réduction, sont utilisées dans les voies cataboliques et ont également un rôle dans la réparation de l'ADN.

En général, les besoins en niacine sont couverts par l'alimentation et la production endogène par les microorganismes présents au sein de l'intestin (11). Néanmoins, de très rares carences ont été observées lors d'anorexie, mais jamais chez le cheval. Les signes cliniques possibles sont une dermatite, une diarrhée, une démence voire la mort.

Aucune toxicité n'est connue à ce jour chez le cheval. Les recherches en laboratoire menées chez le rat et la souris ont conclu que la dose maximale tolérable en niacine chez les animaux est de 350 mg/kg de poids vif (43).

La riboflavine ou vitamine B<sub>2</sub>, est un composant du FAD (flavine adénine dinucléotide) et du FMN (flavine mononucléotide), qui sont des cofacteurs d'oxydases. Cette vitamine est présente dans la luzerne et le trèfle (13-17 mg/kg de MS), en plus petites quantités dans le foin de graminées (7-10 mg/kg de MS) et très peu dans les céréales (1,4-1,7 mg/kg de MS) (NRC, 1982). Elle est aussi synthétisée en partie par les bactéries du gros intestin chez le cheval.

Aucune carence n'est connue à ce jour chez le cheval (11, 14).

La pyridoxine ou vitamine B<sub>6</sub>, est un composant de nombreuses enzymes du métabolisme protéique (notamment dans la formation des acides-aminés) et celui des acides gras. Elle existe sous deux autres formes: pyridoxal et pyridoxamine. On la trouve dans l'alimentation de base des chevaux et elle est produite de façon endogène (11, 43).

Les carences ne sont pas connues chez le cheval.

## *i) Vitamine C*

### *i. Fonctions au sein de l'organisme*

La vitamine C ou acide ascorbique, hydrosoluble, est synthétisée chez les chevaux à partir du glucose, au sein du foie. C'est un cofacteur des enzymes hydroxylases et oxydases, impliquées dans la synthèse du collagène, de la carnitine et de la norépinephrine. Elle est issue de deux composés: acide-L-ascorbique et l'acide-L-déhydroascorbique (11, 14).

### *ii. Absorption et sources*

Les concentrations en vitamine C dans les aliments pour chevaux ne sont pas disponibles à ce jour. L'acide ascorbique, le palmitate d'ascorbyl, et l'ascorbyl-2-monophosphate de calcium sont utilisés comme suppléments en vitamine C, chez le cheval

(43). Le palmitate d'ascorbyl est beaucoup plus efficace pour augmenter la concentration plasmatique de l'acide ascorbique que l'ascorbyl-2-monophosphate de calcium (43).

### *iii. Carence*

Aucune carence n'a été démontrée chez le cheval, cependant un lien entre une diminution de la vitamine C dans le sang et d'autres troubles a été mis en évidence comme les infections des plaies post-chirurgicales et traumatiques, l'épistaxis, lors de rhinopneumonies aiguës, de RAO (l'obstruction récurrente des voies respiratoires), et induirait une diminution de performance (11, 14). Cependant les symptômes observés sont soit dues à une carence en vitamine C soit la conséquence de rhinopneumonie ou de RAO, cela n'a pas été explicité à ce jour.

### *iv. Toxicité*

Aucune toxicité de la vitamine C n'a été révélée, cependant il n'est pas recommandé d'effectuer des injections intramusculaires ou sous-cutanée chez le cheval car elles sont très irritantes, la voie intraveineuse est donc à privilégier (11, 14). Chez l'homme, un excès d'acide ascorbique entraîne des réponses allergiques, une oxalurie et une interférence au sein des systèmes oxydatifs (43). Il semble donc important d'éviter un apport en vitamine C chez les chevaux atteints de cristaux d'oxalates de calcium, par extrapolation. Il existe très peu d'informations sur la tolérance et la toxicité de l'acide ascorbique chez les animaux. Des doses de 44 mg/kg de PV (soit environ 880 UI/kg de PV) ont été administrées tous les jours chez les chevaux sur une période d'au moins 8 mois sans effets négatifs apparents (43).

## **C. Bilan :**

L'ensemble des minéraux et vitamines sont essentiels au bon fonctionnement de l'organisme du cheval. Certains de ces éléments sont très souvent en carence dans l'alimentation des équidés, d'autres ne le sont pas.

Parmi ces éléments, le calcium, le cuivre, le zinc, le manganèse, l'iode, le sélénium, la vitamine A et la vitamine E sont souvent en déficits dans une ration alimentaire.

En ce qui concerne le sodium et le chlore, nous considérons que les chevaux ont à disposition une pierre à sel pour compenser les éventuelles carences en ces deux éléments.

Les autres éléments non cités (phosphore, potassium, magnésium, soufre, fer, cobalt, vitamine D et les vitamines B) ne sont pas à l'origine de carence alimentaire. Par conséquent, nous ne nous intéresserons pas à ces éléments lors de la recherche d'un aliment minéral et vitaminé.

Le calcium, le cuivre, le zinc, l'iode, le sélénium, la vitamine A, la vitamine D et la vitamine E peuvent être toxiques s'ils sont introduits au-delà des doses maximales tolérables, déterminées par le NRC (2007). Il est donc important dans le choix d'un AMV de s'intéresser au seuil de toxicité afin de ne pas les atteindre. Ces seuils de toxicité à ne pas dépasser sont regroupés dans le tableau IV.

**Tableau IV:** Doses maximales tolérables de différents éléments au sein d'une ration alimentaire chez un cheval, d'après NRC (2007).

<b>Minéraux/Vitamines</b>	<b>Doses maximales tolérables par jour</b>
<b>Calcium</b>	5 fois les apports recommandés
<b>Cuivre</b>	250 mg/kg de MS
<b>Zinc</b>	500 mg/kg de MS
<b>Iode</b>	Moins de 350 mg
<b>Sélénium</b>	20 mg
<b>Vitamine A</b>	16 000 UI/kg de MS
<b>Vitamine D</b>	44 UI/kg de poids vif
<b>Vitamine E</b>	1000 UI/kg de MS

Dans la suite de cette thèse, nous nous intéresserons aux éléments présents dans le tableau IV ainsi qu'au manganèse, car ce sont les minéraux et vitamines dont les chevaux sont le plus carencés et qui peuvent être aussi à l'origine de toxicité.

De plus, les chevaux à l'entretien étant rarement complétés en minéraux et vitamines, contrairement aux poulinières, aux poulains ou aux chevaux au travail, nous nous pencherons sur la complémentation d'une ration pour un cheval de selle à l'entretien de 500 kilogrammes.

Les carences et les excès en minéraux et vitamines déterminés chez le cheval, intéressons-nous à présent aux apports recommandés en ces éléments.

## **II. Apports alimentaires recommandés en minéraux et vitamines des chevaux et composition nutritive des principaux composants d'une ration :**

Le cheval est un herbivore dont l'essentiel de son alimentation est composée d'herbe pâturée pendant 6 à 10 mois de l'année. Cette herbe couvre 40 à 100% de ses besoins nutritionnels totaux selon le type de cheval (selle ou trait). Le cheval pâture en moyenne 15 heures par jour dont l'alimentation nocturne peut représenter de 20 à 50% du temps de pâturage total. La quantité de nutriments obtenue par le cheval est fonction de la qualité de l'herbe, de la quantité de matière sèche ingérée et de la digestibilité de la ration (42).

Cette partie a pour objectif de poser les bases théoriques de calcul d'une ration d'équidé afin d'en déterminer les éventuels déséquilibres, pour pouvoir les corriger grâce à l'incorporation d'un AMV. De plus, on s'intéressera également aux valeurs moyennes nutritives de deux prairies (Auvergne et Normandie) afin d'analyser les éventuels déficits et/ou excès en minéraux et vitamines.

Au sein de cette partie, nous nous intéresserons aux besoins nutritionnels (besoins en eau, capacité d'ingestion, besoins énergétiques et azotés) puis aux apports alimentaires recommandés pour les équidés en minéraux et vitamines, et enfin aux teneurs en minéraux et vitamines des prairies permanentes et des céréales composant une alimentation classique chez le cheval.

### **A. Besoins nutritionnels et apports alimentaires chez le cheval**

Il existe de nombreux systèmes de calculs des besoins nutritionnels chez les chevaux en fonction de leur stade physiologique (entretien, croissance, lactation, gestation, travail). Les besoins énergétiques peuvent être exprimés en énergie digestible, en énergie nette ou encore en énergie métabolisable. Les apports recommandés en énergie peuvent être exprimés en Mégacalories (Mcal), en Mégajoules (MJ) ou bien en Unité Fourragère Cheval (UFC).

Il existe deux principaux systèmes d'expression des besoins alimentaires du cheval. Tout d'abord, le NRC exprime les besoins énergétiques en énergie digestible et les besoins azotés en protéines brutes. Le deuxième système est celui du système standard Européen dont les besoins alimentaires ont été évalués et publiés par l'INRA et où les besoins énergétiques sont exprimés en énergie nette et les besoins azotés en protéines digestibles (50).

Dans cette partie, la référence de notre étude sera le système standard Européen, car il est assez complet, d'utilisation aisée et que notre étude s'intéresse à l'alimentation des chevaux en France.

#### **1. Capacité d'ingestion**

La capacité d'ingestion correspond à la quantité d'aliments volontairement ingérée. La capacité d'ingestion varie en fonction des dépenses énergétiques et du volume digestif disponible. Expérimentalement, on laisse un aliment à l'équidé par exemple, un foin de qualité standard en libre-service puis on calcule la quantité de matière sèche ingérée (MSI) rapportée au poids vif (PV) ou au poids métabolique ( $PV^{0,75}$ ). On exprime la capacité

d'ingestion en poids de matière sèche ingérée par kilo de poids métabolique (g MS/kg PV<sup>0,75</sup>) ou par kilo de poids vif (g MS/kg PV) (42).

La capacité d'ingestion augmente avec le poids et la taille du jeune cheval car le tube digestif se développe surtout à partir de 12-18 mois, au cours de la deuxième saison de pâturage suivant la naissance (42).

La capacité d'ingestion des juments augmente avec les dépenses en lactation ou en gestation. L'ingestion en gestation et notamment lors des dernières semaines diminue de 10 à 30% en fonction de la nature du fourrage, en raison de l'encombrement lié au développement du fœtus. Alors que lors de la lactation, l'ingestion augmente très rapidement de 25 à 35% dès la mise-bas dû à la libération de la place prise par le poulain au sein de la cavité abdominale (42).

La capacité d'ingestion des chevaux au travail augmente avec les dépenses énergétiques.

**Tableau V :** Capacité d'ingestion des chevaux en fonction du stade physiologique chez la jument, de l'âge chez le jeune cheval et de l'intensité du travail chez le cheval au travail, d'après INRA 2011.

Stade physiologique	Capacité d'ingestion (kg MS/100kg PV/jour)			
		<b>Gestation</b>	1,4-2,0	
	<b>Lactation</b>	2,6-3,0		
<b>Jeune cheval</b>	<b>1 an</b>	<b>2 ans</b>	<b>3 ans</b>	
	2,5-2,7	2,3-2,5	2,0-2,3	
<b>Cheval au travail</b>	<b>Entretien</b>	<b>Léger</b>	<b>Moyen</b>	<b>Intense</b>
	1,4-1,7	1,9	2,1-2,7	2,0-2,4

## 2. Les besoins énergétiques

Dans le système français, la valeur énergétique d'un aliment correspond à la quantité d'énergie nette d'un kilogramme de cet aliment qui contribue à couvrir les dépenses d'entretien et de production des animaux. La valeur est exprimée en kilocalories (kcal) par kilogramme d'aliment. Celle-ci est rapportée à un aliment de référence : un kilogramme d'orge moyen à 87 % de MS et exprimé en unité fourragère cheval (UFC) (42). Ainsi la valeur énergétique d'un aliment est donnée par la formule suivante :

$$\text{Valeur énergétique d'un aliment (UFC)} = \frac{\text{Energie nette d'un kilogramme d'aliment (kcal)}}{\text{Energie nette d'un kilogramme d'orge (kcal)}}$$

Les apports énergétiques correspondant à une fonction de production ou d'exercice sont ajoutés aux besoins d'entretien afin de déterminer les apports énergétiques totaux du cheval. Les apports totaux correspondent donc à la somme des apports d'entretien et des apports de production. Ces besoins sont proportionnels à la taille de l'animal. La dépense énergétique varie en fonction du tempérament, de la race, du sexe et de l'environnement du cheval.

**Tableau VI:** Apports énergétiques recommandés en UFC chez le cheval à l'entretien, et au travail d'après INRA (2011) et Martin-Rosset (1990).

Stade physiologique du cheval	Besoins en UFC	
	Entretien (UFC/kg PV <sup>0.75</sup> )	Cheval de trait
Cheval de selle		0,0392
Cheval de sang		0,0410
Travail moyen (UFC/100 kg de PV)	2,1-2,7	
Travail léger (UFC/100 kg de PV)	2,0-2,4	

La quantité d'UFC varie pour le travail moyen et léger en fonction du type de cheval (selle ou trait) et en fonction du cavalier. Un cavalier plus lourd demandera plus d'énergie au cheval qu'un cavalier léger.

Dans la suite de cette thèse pour des raisons de simplicité, nous prendrons l'exemple d'un cheval de selle de 500 kilogrammes à l'entretien. Son UFC est de:

$\text{UFC (cheval à l'entretien)} = 0,0392 \times 500^{0,75} \approx 4,15 \text{ UFC}$
---

### 3. Les besoins azotés

Les protéines représentent 17 à 19% du poids vif du cheval selon son état d'engraissement. Les besoins en matières azotée digestible cheval (MADC), c'est-à-dire la quantité d'acides-aminés apportés pas l'aliment, sont résumés dans le tableau VII.

**Tableau VII:** Apports en MADC recommandés chez le cheval à l'entretien, et au travail, d'après INRA (2011).

Stade physiologique du cheval	Besoins en MADC	
	Entretien	g MADC/kg PV <sup>0,75</sup>
g MADC/UFC		60-70
Travail (g MADC/UFC)	0,2-4,5	

Les besoins de productions s'ajoutent au besoin d'entretien. Ainsi le besoin total en MADC/jour correspond à la somme des besoins d'entretien et les besoins de productions (gestation, lactation, travail ou croissance).

Pour l'exemple que nous avons sélectionné la quantité de MADC nécessaire est:

$\text{MADC (cheval de selle à l'entretien de 500kg)} = 2,8 \times 500^{0,75} = 296,1 \text{ g/jour}$
---

Nous avons déterminé les besoins nutritionnels de base chez les équidés, intéressons-nous à présent aux apports recommandés en minéraux et vitamines.



## **B. Apports recommandés en minéraux et vitamines en fonction de leur âge**

### **1. Poulain : de la naissance à 36 mois :**

En ce qui concerne les apports recommandés chez le poulain, le NRC 2007 et l'INRA 2011 se rejoignent pour la plupart des nutriments. Dans un souci d'homogénéité, nous utiliserons les données de l'INRA pour les apports recommandés en minéraux et vitamines, chez le poulain.

Pour la suite de ce paragraphe rappelons quelques éléments importants dans les calculs des apports recommandés, chez les poulains. A la naissance, le poulain a un poids vif d'environ 15-35 kg pour les poneys, 45-55 kg pour les chevaux de selle et 65-80 kg pour les chevaux de races lourdes. Le gain de poids vif (GMQ) au cours du premier mois est de 1500 g/jour pour les races de selles et de 2000 g/jour pour les races de trait. De la naissance au sevrage, le poulain réalise un gain moyen de poids vif quotidien de 900-1000 g pour les races de selles et de 1300-1600 g pour les races de trait. Entre six mois et un an, le gain de poids vif journalier varie de 600 à 1600 g selon s'il s'agit d'un cheval de selle ou de trait. A partir d'un an, la croissance ralentit et le gain de poids vif quotidien diminue à 150-300 g jusqu'à l'âge adulte (3-4 ans pour les races de course et 4-5 ans pour les races de sport-loisirs).

#### **a) Apports recommandés en minéraux**

##### **i. Apports recommandés en calcium**

Le besoin d'entretien en calcium pour un poulain est de 36 mg/kg/j et ses apports nécessaires pour le gain de poids est de 16 g/kg de gain de poids/jour (42, 43). La digestibilité réelle du calcium du cheval à l'entretien est de 50%. La digestibilité réelle du calcium du cheval en croissance est de 70% de 0 à 12 mois, 50% à 18 mois et 30% à 24 mois (43).

Le NRC (2007) possède une unique équation pour le calcul des apports recommandés en calcium ( $\text{g Calcium/j} = 0,072 \times \text{PV} + 32 \times \text{GMQ}$ ), il ne prend pas en compte la variation de digestibilité réelle en fonction de l'âge, ce qui le rend moins précis.

Ce qui nous donne les équations suivantes pour les besoins en calcium du poulain. (L'unité utilisée pour le GMQ et le PV est le kilogramme (kg).)

**Tableau VIII :** Calculs des apports en calcium recommandés chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

<b>Âge</b>	<b>Equation</b>
<b>0 à 12 mois</b>	$\text{g Calcium/j} = \left( \frac{0,36}{0,50} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{16}{0,70} \times \text{GMQ} \right)$
<b>12 à 24 mois</b>	$\text{g Calcium/j} = \left( \frac{0,036}{0,50} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{16}{0,50} \times \text{GMQ} \right)$
<b>24 à 36 mois</b>	$\text{g Calcium/j} = \left( \frac{0,036}{0,50} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{16}{0,30} \times \text{GMQ} \right)$

ii. Apports recommandés en phosphore

Le besoin d'entretien en phosphore est de 18 mg/kg de PV et celle par kilogramme de GMQ est de 8 g/kg. La digestibilité réelle à l'entretien est de 35%, la digestibilité réelle variant avec l'âge est de 55% de 0 à 12 mois, 45% de 12 à 24 mois et 35% de 24 à 36 mois (42, 43).

De la même façon que pour le calcium, le NRC (2007) ne prend pas en compte les variations de digestibilités liée à l'âge et est donc moins précis. Son équation est la suivante :

$$\text{g Phosphore/j} = \left( \frac{0,018}{0,45} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{8}{0,45} \times \text{GMQ} \right)$$

Les apports recommandés en phosphore chez le poulain sont résumées dans le tableau IX.

**Tableau IX :** Calculs des apports recommandés en phosphore chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

Âge	Equation
0 à 12 mois	$\text{g Phosphore/j} = \left( \frac{0,018}{0,35} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{8}{0,55} \times \text{GMQ} \right)$
12 à 24 mois	$\text{g Phosphore/j} = \left( \frac{0,018}{0,35} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{8}{0,45} \times \text{GMQ} \right)$
24 à 36 mois	$\text{g Phosphore/j} = \left( \frac{0,018}{0,35} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{8}{0,35} \times \text{GMQ} \right)$

iii. Apports recommandés en magnésium

Le besoin d'entretien en magnésium est de 6 mg/kg de PV et celle concernant le gain de poids est de 1 g/kg. La digestibilité réelle à l'entretien est de 40%, la digestibilité réelle variant avec l'âge est de 70% de 0 à 12 mois, 60% de 12 à 24 mois et 50% de 24 à 36 mois (42, 43).

Le NRC (2007) ne prend pas en compte les variations de digestibilités en fonction de la croissance du cheval et rends donc moins précis ces calculs.

L'équation donnée par le NRC est:

$$\text{g Magnésium/j} = (0,015 \times \text{PV}) + (1,25 \times \text{GMQ})$$

**Tableau X :** Calculs des apports recommandés en magnésium chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

Âge	Equation
0 à 12 mois	$\text{g Magnésium/j} = \left( \frac{0,006}{0,40} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{1}{0,70} \times \text{GMQ} \right)$
12 à 24 mois	$\text{g Magnésium/j} = \left( \frac{0,006}{0,40} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{1}{0,60} \times \text{GMQ} \right)$
24 à 36 mois	$\text{g Magnésium/j} = \left( \frac{0,006}{0,40} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{1}{0,40} \times \text{GMQ} \right)$

iv. Apports recommandés en potassium

Le besoin d'entretien en potassium est de 50 mg/kg de PV et est de 1,5 g/kg pour le GMQ (42, 43). La digestibilité réelle à l'entretien étant de 80%, et celle pour la croissance de 50%, une seule et unique équation régit les différentes classes d'âge (42).

Le NRC (2007) et l'INRA (2011) se rejoignent pour le calcul des apports recommandés en potassium du poulain (42, 43).

$$\text{g Potassium/j} = \left( \frac{0,05}{0,80} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{1,5}{0,50} \times \text{GMQ} \right)$$

v. Apports recommandés en sodium

Le besoin d'entretien en sodium est de 18 mg/kg de PV. Le besoin en sodium en ce qui concerne le gain de poids est de 0.85 g/kg. La digestibilité réelle est de 90% pour l'entretien et de 80% pour la digestibilité au cours de la croissance.

Le NRC (2007) et l'INRA (2011) calculent les apports recommandés en sodium du poulain grâce à la même équation (42, 43).

$$\text{g Sodium/j} = \left( \frac{0,018}{0,90} \times \text{PV} \right) + \left( \frac{0,85}{0,80} \times \text{GMQ} \right)$$

vi. Apports recommandés en chlore

En 1990, l'INRA avait admis l'idée que les besoins en chlore étaient couverts par l'apport de chlorure de sodium. Aujourd'hui, les besoins ont été réévalués et sont estimés pour l'entretien à 80 mg/kg de PV/jour afin de maintenir l'homéostasie acido-basique, et entre 2,5-13 mg/kg pour le gain de poids vifs quotidien (42,43). La digestibilité réelle est supposée de 100% (42,43).

L'INRA (2011) et le NRC (2007) s'accordent sur les équations pour les apports recommandés en chlore chez le poulain (42, 43).

**Tableau XI:** Calculs des apports recommandés en chlore chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

Âge	Equation
0 à 6 mois	$\text{g Chlore/j} = (0,08 \times \text{PV}) + (0,013 \times \text{GMQ})$
6 à 12 mois	$\text{g Chlore/j} = (0,08 \times \text{PV}) + (0,005 \times \text{GMQ})$
12 à 24 mois	$\text{g Chlore/j} = (0,08 \times \text{PV}) + (0,0025 \times \text{GMQ})$

**b) Apports recommandés en oligoéléments**

Le NRC (2007) exprime les apports recommandés en oligoéléments des poulains en fonction de leur poids vif ou en pourcentage ou en milligramme par kilogramme de matière sèche d'aliment mais pas en fonction de son âge. Ainsi pour le poulain, les apports recommandés par le NRC sont:

- Cuivre: 0,217 mg/kg de PV
- Zinc: 40 mg/kg de PV
- Cobalt: 0,05 mg/kg de MS
- Sélénium: 0,1 mg/kg de MS
- Manganèse: 40 mg/kg de MS
- Soufre: 0,15% de MS
- Fer: 50 mg/kg de MS
- Iode: 0,07 mg/kg de PV

Les besoins en fer, cuivre, zinc, cobalt, sélénium, manganèse et iode définis par l'INRA (2011) sont rapportés dans le tableau XII.

**Tableau XII :** Apports recommandés en oligoéléments chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

Âges			
Oligoéléments (mg/kg de MSI)	6-12 mois	18-24 mois	32-36 mois
<b>Cu</b>	10	10	10
<b>Zn</b>	50	50	50
<b>Co</b>	0,2	0,2	0,2
<b>Se</b>	0,2	0,2	0,2
<b>Mn</b>	40	40	40
<b>Fe</b>	50	50	50
<b>I</b>	0,2	0,2	0,2

En ce qui concerne les besoins en chrome, en fluor et en silice, ils n'ont pas été identifiés à ce jour, d'après la bibliographie actuelle.

Nous choisirons les apports recommandés par l'INRA pour les poulains dans un souci d'homogénéité avec le reste des apports recommandés.

**c) Apports recommandés en vitamines**

Les apports recommandés en vitamines fournis par le NRC (2007) sont exprimés par kilogrammes de poids vif. Les apports recommandés par le NRC sont les suivants:

- Vitamine A: 45 UI/kg
- Vitamine D: 22,2 UI/kg (0-6 mois) ; 17,4 UI/kg (7-12 mois) ; 15,5 UI/kg (13-18 mois) et 13,7 UI/kg (19-24 mois).
- Vitamine E: 2 UI/kg

Les apports recommandés de l'INRA sont exprimées en UI par kilogramme de matière sèche ingérée et non par kilogramme de poids vif. Ces valeurs sont plus élevées que les apports recommandés du NRC en fonction de la quantité de MSI.

**Tableau XIII :** Apports recommandés en vitamines A, D et E chez le poulain en fonction de l'âge, d'après INRA 2011.

Âges			
Vitamine (UI/kg de MSI)	6-12 mois	18-24 mois	32-36 mois
<b>A</b>	3450	3500	3500
<b>D</b>	600	500	500
<b>E</b>	80	60	60

Ces besoins en minéraux, oligoéléments et vitamines correspondent à des moyennes pour toutes les races rencontrées en France. Il existe des petites subtilités en fonction des races (selle ou de trait) et lorsque le poids adulte est atteint, ces différences sont décrites au sein des tables de l'INRA 2011.

## 2. Cheval adulte: du travail léger au travail intense

### a) Apports recommandés en minéraux

#### i. Apports recommandés en calcium

Le calcium et le phosphore sont deux minéraux majeurs chez le cheval adulte qui permettent de maintenir l'intégrité du squelette du cheval mais aussi de permettre la contraction musculaire. Les besoins et dépenses ont été mesurés lors d'essai d'alimentation réalisés par l'INRA (2011).

L'exercice permet de stimuler la formation osseuse et le dépôt de calcium. Le NRC (2007) et l'INRA (2011) s'accordent sur les apports recommandés en calcium chez le cheval adulte. Ce dernier a donc besoin des recommandations présentées dans le tableau XIV.

**Tableau XIV :** Calculs des apports recommandés en calcium chez le cheval adulte en fonction de son poids et de l'intensité du travail, d'après INRA 2011 et le NRC 2007.

Intensité du travail	Equation
<b>Repos</b>	$\text{g Calcium/j} = 0,04 \times \text{PV}$
<b>Légère</b>	$\text{g Calcium/j} = 0,06 \times \text{PV}$
<b>Modérée</b>	$\text{g Calcium/j} = 0,07 \times \text{PV}$
<b>Intense</b>	$\text{g Calcium/j} = 0,08 \times \text{PV}$

ii. Apports recommandés en phosphore

Chez le cheval adulte, le besoin total (repos + travail) est calculé en tenant compte de l'intensité de l'effort. Les deux agences (NRC et INRA) se rejoignent sur les apports recommandés en phosphore du cheval à l'entretien et au travail. Les apports recommandés en phosphore pour le cheval au travail sont présentes dans le tableau XV.

**Tableau XV :** Calculs des apports recommandés en phosphore chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

<b>Intensité du travail</b>	<b>Equation</b>
<b>Repos</b>	$\text{g Phosphore/j} = 0,028 \times \text{PV}$
<b>Légère</b>	$\text{g Phosphore/j} = 0,036 \times \text{PV}$
<b>Modérée</b>	$\text{g Phosphore/j} = 0,042 \times \text{PV}$
<b>Intense</b>	$\text{g Phosphore/j} = 0,058 \times \text{PV}$

iii. Apports recommandés en magnésium

Chez le cheval adulte, l'exercice augmente le besoin en magnésium et sa digestibilité. Le NRC (2007) et l'INRA (2011) ont les mêmes références pour les apports recommandés en magnésium du cheval adulte. Le besoin total en magnésium (repos + travail) est présenté dans le tableau XVI.

**Tableau XVI :** Calculs des apports recommandés en magnésium chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

<b>Intensité du travail</b>	<b>Equation</b>
<b>Repos</b>	$\text{g Magnésium/j} = 0,015 \times \text{PV}$
<b>Légère</b>	$\text{g Magnésium/j} = 0,019 \times \text{PV}$
<b>Modérée</b>	$\text{g Magnésium/j} = 0,023 \times \text{PV}$
<b>Intense</b>	$\text{g Magnésium/j} = 0,030 \times \text{PV}$

iv. Apports recommandés en sodium

Les pertes endogènes en sodium chez les équidés sont estimées à 15-20 mg/kg de PV/jour à l'entretien. Si la digestibilité du sodium est de 90%, alors les équidés ont besoin d'un apport en sodium de  $(0,02 \times \text{PV})$  g. La sueur produite chez le cheval adulte induit une dépense en sodium de 2,8 g/L de sueur, ce qui correspond à 3,1 g de sodium ingéré, si l'on considère une digestibilité de cet ion de 90%. En plus de perdre de la sueur, le cheval perd du poids et ce dernier est estimé à 0,3% pour un travail d'intensité légère, 0,5% pour une intensité modérée, 1% pour une intensité intense et 2% pour un exercice très intense.

Le NRC (2007) recommande de prendre en compte dans les calculs les pertes de poids après le travail et non une estimation de la perte de poids. Le calcul correspond à l'équation suivante:

$\text{Pertes de sodium (entretien + travail, en g/j)} = 0,02 \times \text{PV} + 3,1 \times (\text{perte de poids durant exercice})$
--

En pratique, il est compliqué de peser son cheval avant et après l'effort pour obtenir l'apport supplémentaire en sodium à fournir. Il semble donc plus judicieux de calculer les apports recommandés en sodium à l'aide des équations de l'INRA (2011).

**Tableau XVII :** Calculs des apports recommandés en sodium chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

<b>Intensité du travail</b>	<b>Equation</b>
<b>Repos</b>	$\text{g Sodium/j} = 0,02 \times \text{PV}$
<b>Légère</b>	$\text{g Sodium/j} = 0,02 \times \text{PV} + 3,1 \times 0,003 \times \text{PV}$
<b>Modérée</b>	$\text{g Sodium/j} = 0,02 \times \text{PV} + 3,1 \times 0,006 \times \text{PV}$
<b>Intense</b>	$\text{g Sodium/j} = 0,02 \times \text{PV} + 3,1 \times 0,01 \times \text{PV}$
<b>Très intense</b>	$\text{g Sodium/j} = 0,02 \times \text{PV} + 3,1 \times 0,02 \times \text{PV}$

v. *Apports recommandés en chlore*

Le besoin d'entretien en chlore est de 0,08 g/kg en prenant en compte les pertes endogènes (fécales, urinaires, cutanées). Les pertes sont calculées par rapport à la production de sueur qui se traduit par une perte de 5,3 g de chlore par litre de sueur, la digestibilité du chlore étant de 100%. De la même manière que pour le sodium, le NRC calcule les apports recommandés en chlore en fonction de la perte de poids. L'équation est la suivante:

$\text{Pertes de chlore (en g/j)} = 0,08 \times \text{PV} + 5,3 \times (\text{perte de poids durant l'exercice})$
---

Pour les mêmes raisons que précédemment, nous garderons les résultats de l'INRA (2011). Les apports recommandés totaux en chlore (repos + travail) sont définies dans le tableau XVIII.

**Tableau XVIII :** Calculs des apports recommandés en chlore chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

<b>Intensité du travail</b>	<b>Equation</b>
<b>Repos</b>	$\text{g Chlore/j} = 0,08 \times \text{PV}$
<b>Légère</b>	$\text{g Chlore/j} = 0,08 \times \text{PV} + 5,3 \times 0,003 \times \text{PV}$
<b>Modérée</b>	$\text{g Chlore/j} = 0,08 \times \text{PV} + 5,3 \times 0,006 \times \text{PV}$
<b>Intense</b>	$\text{g Chlore/j} = 0,08 \times \text{PV} + 5,3 \times 0,01 \times \text{PV}$
<b>Très intense</b>	$\text{g Chlore/j} = 0,08 \times \text{PV} + 5,3 \times 0,02 \times \text{PV}$

vi. Apports recommandés en potassium

Le besoin d'entretien en potassium est de 0,05 g/kg en tenant compte des pertes endogènes (fécales, urinaires, cutanées). Les pertes sont calculées par rapport à la production de sueur qui contient 1,4 g de potassium par litre de sueur, soit une perte de 2,8 g de potassium par litre de sueur car la digestibilité du potassium est de 50%. Le NRC (2007) et l'INRA (2011) s'accordent sur les calculs d'apports recommandés en potassium, voir tableau XIX.

**Tableau XIX :** Calculs des apports recommandés en potassium chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

<b>Intensité du travail</b>	<b>Equation</b>
<b>Repos</b>	$\text{g Potassium/j} = 0,05 \times \text{PV}$
<b>Légère</b>	$\text{g Potassium/j} = 0,05 \times \text{PV} + 2,8 \times 0,003 \times \text{PV}$
<b>Modérée</b>	$\text{g Potassium/j} = 0,05 \times \text{PV} + 2,8 \times 0,006 \times \text{PV}$
<b>Intense</b>	$\text{g Potassium/j} = 0,05 \times \text{PV} + 2,8 \times 0,01 \times \text{PV}$
<b>Très intense</b>	$\text{g Potassium/j} = 0,05 \times \text{PV} + 2,8 \times 0,02 \times \text{PV}$

b) Apports recommandés en oligoéléments

Les dépenses en oligoéléments sont mal connues chez le cheval adulte. Aussi, les besoins proposés par l'INRA sont présentés en concentration par kilo de matière sèche ingérée (MS).

Les besoins en fer, cuivre, zinc, cobalt, sélénium, manganèse et iode sont rapportés dans le tableau XX. En ce qui concerne les besoins en chrome, fluor et silice, ils ne sont pas connus à ce jour.

Le NRC (2007) exprime les apports recommandés en oligoéléments des chevaux adultes en fonction de leur poids vif ou du pourcentage de matière sèche (tableau XX).

**Tableau XX :** Apports recommandés en oligoéléments chez le cheval adulte, d'après le NRC 2007.

<b>Oligoéléments</b>	<b>Quantité recommandée par jour</b>	
<b>Iode (mg/kg de PV)</b>	0,07	
<b>Cuivre (mg/kg de PV)</b>	<b>Entretien – travail léger</b>	0,2
	<b>Travail modéré</b>	0,225
	<b>Travail intense</b>	0,25
<b>Zinc (mg/kg de PV)</b>	40	
<b>Fer (mg/kg de MS)</b>	50	
<b>Manganèse (mg/kg de MS)</b>	40	
<b>Sélénium (mg/kg de MS)</b>	0,1	
<b>Cobalt (mg/kg de MS)</b>	0,05	
<b>Soufre (% de MS)</b>	0,15	

Les apports recommandés en oligoéléments de l'INRA (2011) varient en fonction de l'intensité du travail chez le cheval adulte (tableau XXI).



**Tableau XXI :** Apports recommandés en oligoéléments chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

<b>Intensité du travail</b>	<b>Repos-travail léger</b>	<b>Travail modéré</b>	<b>Travail intense à très intense</b>
<b>Oligoéléments (mg/kg de MSI)</b>			
<b>Cu</b>	10	10	10
<b>Zn</b>	50	50	50
<b>Co</b>	0,2	0,2	0,2
<b>Se</b>	0,2	0,2	0,2
<b>Mn</b>	40	40	40
<b>Fe</b>	50-80	50-80	50-80
<b>I</b>	0.2	0.2	0.2

c) **Apports recommandés en vitamines**

Les apports recommandés en vitamines sont mal connus chez les équidés. Les apports supplémentaires complémentaires à la ration de base en niacine, en acide panthoténique, pyridoxine, biotine et cyanocobalamine ne sont pas nécessaires. Aucune recommandation n'est donnée pour la vitamine C car sa production endogène est suffisante. Les apports recommandés en vitamines fournis par le NRC (2007) sont exprimés en kilogramme de poids vif. Ainsi, les apports recommandés par le NRC sont :

- Vitamine A: 30 UI/kg (entretien), 45 UI/kg (au travail)
- Vitamine D: 6,6 UI/kg
- Vitamine E: 1 UI/kg (entretien), 1,6 UI/kg (travail léger), 1,8 UI/kg (travail modéré) et 2 UI/kg (travail intense)

Pour les mêmes raisons que le choix de l'INRA par rapport au NRC dans les apports recommandés en oligoéléments, nous choisissons les apports recommandés par l'INRA (2011) en ce qui concerne les vitamines A, D et E (tableau XXII)

**Tableau XXII :** Apports recommandés en vitamines A, D et E chez le cheval adulte en fonction de l'intensité du travail, d'après INRA 2011.

<b>Intensité du travail</b>	<b>Repos-travail léger</b>	<b>Travail modéré</b>	<b>Travail intense à très intense</b>
<b>Vitamine (UI/kg de MS)</b>			
<b>A</b>	3250	3750	3750
<b>D</b>	400	600	600
<b>E</b>	50	80	80

### 3. Jument

Au sein de cette partie nous considérons que les juments sont des chevaux utilisés uniquement dans le but de reproduction et non de loisir ou de travail. Au sein des juments, nous allons distinguer les juments taries, de celles en cours de gestation et de celles en lactation. Les besoins en minéraux et vitamines varient en fonction du poids vif adulte et du type de race rencontré (cheval de selle ou cheval de trait). Lors des cinq premiers mois de gestation, l'accroissement pondéral du fœtus est faible puis devient très élevé lors des 180 derniers jours de gestation et surtout lors des 4 derniers mois. Ainsi, les apports recommandés de la jument sont calculés en fonction de son besoin d'entretien et du poids du conceptus (poids du fœtus + poids des annexes fœtales).

La lactation est également un moment de la reproduction important car c'est durant cette période que le poulain doit acquérir 45% de son poids adulte. Ainsi, les besoins en lactation seront calculés par kilo de lait produit en plus du besoin d'entretien de la jument.

#### a) Apports recommandés en minéraux

Dans cette partie, nous allons nous intéresser uniquement aux trois derniers mois de gestation et aux trois premiers mois de lactation qui sont les plus importants en termes d'augmentation des besoins de la jument. Le tableau XXIII regroupe les apports recommandés d'une jument moyenne en gestation ou en lactation. Il existe des valeurs différentes en fonction du type de jument (trait ou selle) et de leur poids.

**Tableau XXIII :** Apports recommandés en minéraux chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après INRA 2011.

<b>Stade reproduction</b>	<b>3 derniers mois de gestation</b>	<b>3 premiers mois de lactation</b>
<b>Minéraux (g/kg de MS)</b>		
<b>Ca</b>	3,5-4,5	3,5-4,0
<b>P</b>	2,6-3,8	2,8-3,2
<b>Mg</b>	0,8-0,9	0,7-0,8
<b>Na</b>	1,0-1,5	0,8-1,0
<b>Cl</b>	4,0-5,0	3,0-3,5
<b>K</b>	3,5-4,0	5,0-5,5

Le NRC (2007) présente des équations pour calculer les apports recommandés en minéraux, chez la jument. Cela semble donc plus précis que les fourchettes présentées par l'INRA 2011. Cependant, dans un souci d'homogénéité nous retiendrons le tableau XXIII, pour nos calculs.

Les apports recommandés par le NRC (2007) sont présentés dans le tableau XXIV.

**Tableau XXIV:** Apports totaux (entretien + stade physiologique) recommandés en minéraux chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après NRC 2007.

Stade reproduction	Derniers mois de gestation		Premiers mois de lactation		
	7-8 mois	9-10-11 mois	Naissance-3 mois	4-5 mois	> 5 mois
<b>Minéraux (g/jour)</b>					
<b>Ca (g)</b>	0,056 x PV	0,072 x PV	0,12 x PV	0,082 x PV	0,072 x PV
<b>P (g)</b>	0,04 x PV	0,0525 x PV	0,075 x PV	0,051 x PV	0,044 x PV
<b>Mg (g)</b>	0,0152 x PV	0,0153 x PV	0,022 x PV	0,021 x PV	0,017 x PV
<b>Na (g)</b>	-	0,022 x PV	0,025 x PV	0,024 x PV	0,023 x PV
<b>Cl (mg/kg)</b>	2	2	0,091	0,091	0,091
<b>K (g)</b>	-	0,052 x PV	0,095 x PV	0,071 x PV	0,066 x PV

**b) Apports recommandés en oligoéléments**

Le NRC (2007) exprime les apports recommandés en oligoéléments des juments en fonction de leur poids vif ou du pourcentage de matière sèche.

**Tableau XXV :** Apports totaux recommandés en oligoéléments chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après le NRC 2007.

Oligoéléments	Quantité recommandée par jour	
<b>Iode (mg/kg de PV)</b>	0,07	
<b>Cuivre (mg/kg de PV)</b>	<b>Entretien</b>	0,2
	<b>Gestation</b>	0,4
	<b>Lactation</b>	0,4 + (0,185 x kg de lait)
<b>Zinc (mg/kg de PV)</b>	40	
<b>Fer (mg/kg de MS)</b>	<b>9 mois de gestation</b>	74
	<b>10 mois de gestation</b>	76
	<b>11 mois de gestation</b>	184
	<b>Lactation (naissance)</b>	50 + 0,0013 x g de lait
	<b>Lactation (4 mois post poulinage)</b>	50 + 0,00049 x g de lait
<b>Manganèse (mg/kg de MS)</b>	40	
<b>Sélénium (mg/kg de MS)</b>	0,1	
<b>Cobalt (mg/kg de MS)</b>	0,05	
<b>Soufre (% de MS)</b>	0,15	

Les apports recommandés moyens en oligoéléments recommandés par l'INRA pour les juments, de type « selle » ou de type « trait », sont regroupés dans le tableau XXVI.

Dans un souci d'homogénéité et de résultats plus récents, nous retiendrons les valeurs des apports recommandés par l'INRA.

**Tableau XXVI:** Apports recommandés en oligoéléments chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après INRA 2011.

<b>Stade de reproduction</b>	<b>Gestation</b>	<b>Lactation</b>
<b>Oligoéléments (mg/kg de MS)</b>		
<b>Cu</b>	10	10
<b>Zn</b>	50	50
<b>Co</b>	0,2	0,2
<b>Se</b>	0,2	0,2
<b>Mn</b>	40	40
<b>Fe</b>	80	80
<b>I</b>	0,2	0,2

*c) Apports recommandés en vitamines*

Les apports recommandés en vitamines fournis par le NRC (2007) sont exprimés en UI par kilogramme de poids vif. Ainsi, les apports recommandés sont :

- Vitamine A: 60 UI/kg
- Vitamine D: 6,6 UI/kg
- Vitamine E: 1 UI/kg (gestation), 2 UI/kg (lactation)

Les apports recommandés par l'INRA 2011 en vitamine A, D et E sont rapportés dans le tableau XXVII, pour les juments en gestation et en début de lactation.

**Tableau XXVII:** Apports recommandés en vitamines A, D et E chez la jument en fonction de son stade physiologique, d'après INRA 2011.

<b>Stade de reproduction</b>	<b>3 derniers mois de gestation</b>	<b>3 premiers mois de lactation</b>
<b>Vitamine (UI/kg de MS)</b>		
<b>A</b>	4200	3800
<b>D</b>	600	600
<b>E</b>	80	50

Les apports recommandés en minéraux et vitamines chez les équidés sont très variables. Leur connaissance nous permet de déterminer les apports nécessaires afin de trouver une ration équilibrée en ces différents éléments. Il est donc essentiel de connaître les valeurs moyennes en minéraux, oligoéléments et vitamines des différents composants de la ration d'un équidé.

## **C. Valeurs nutritionnelles des fourrages en fonction des régions de France**

### **1. Définition d'une prairie permanente**

Les prairies permanentes, c'est-à-dire les prairies naturelles non semées ou les prairies semées depuis plus de 10 ans, couvrent 40% des surfaces agricoles utiles (SAU) d'Europe et 25% des SAU de France (46, 47).

La concentration en minéraux des prairies permanentes varie en fonction de la composition des prairies (légumineuses, graminées), du moment de l'année et de la fertilisation de cette prairie (47). Les prairies sont alors classées en sept groupes, en fonction du pourcentage de graminées et de légumineuses, déterminant leur qualité en termes de valeur nutritive (49).

**Tableau XXVIII:** Classification des prairies permanentes en fonction du pourcentage de graminées et de légumineuses. *INA P-G Département AGER, 2003.*

<b>Classe</b>	<b>Graminées (%)</b>	<b>Légumineuses (%)</b>	<b>Diverses herbes (%)</b>	<b>Qualification</b>
<b>I</b>	25-100	0-70	0-5	Prairies temporaires plus ou moins bonnes
<b>II</b>	70-95	0-25	5-25	Très bonnes prairies permanentes
<b>III</b>	25-70	25-70	5-25	Bonnes prairies permanentes, mais trop de légumineuses : manque de fumure azotée et surpâturage
<b>IV</b>	25-75	0-50	25-50	Prairies moyennes à médiocres
<b>V</b>	25-50	0-25	50-75	Prairies très médiocres
<b>VI</b>	0-25	0-5	75-100	Très mauvaises prairies, il s'agit plutôt de parcours dans ce cas
<b>VII</b>	0-25	0-75	0-75	Prairies artificielles bonnes à médiocres

La prairie permanente idéale appartient donc aux classes II et III (48).

Dans les espèces cultivées, on trouve parmi les graminées, les espèces suivantes : ray-grass italien, ray-grass anglais, dactyle, fléole des prés, fétuque des prés, fétuque élevée, pâturin commun, pâturin des prés, brome cathartique, sorgho fourrager et le maïs. Parmi les légumineuses, les espèces suivantes sont cultivées: luzerne, trèfle violet, trèfle blanc, trèfle hybride et le sainfoin.

Les espèces prairiales sont rassemblées dans le tableau XXIX.

**Tableau XXIX:** Liste des espèces présentes parmi les graminées et les légumineuses au sein des prairies permanentes.

Valeur alimentaire	Graminées prairiales	Légumineuses prairiales
Faible à médiocre	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flouve odorante</li> <li>– Brome mou</li> <li>– Brome stérile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Crételle</li> <li>– Cynodon</li> <li>– Folle avoine</li> <li>– Orge des rats</li> <li>– Gesses</li> <li>– Vesces</li> <li>– Mézilots</li> </ul>
Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fromental</li> <li>– Agrostis</li> <li>– Agropyron</li> <li>– Vulpin des prés</li> <li>– Avoine jaunâtre</li> <li>– Houlque laineuse</li> <li>– Fétuques ovine et rouge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Trèfle incarnat</li> <li>– Trèfle souterrain</li> <li>– Trèfle d’Alexandrie</li> <li>– Résupine</li> <li>– Lotier corniculé</li> <li>– Lupuline</li> <li>– Luzerne tachetée</li> </ul>

## 2. Valeurs nutritives des prairies permanentes

Il existe très peu de données en France concernant les valeurs nutritives des prairies, des fourrages et des concentrés. Afin de connaître la valeur nutritive des fourrages, il est donc fortement recommandé de faire une analyse de ceux-ci, afin d’obtenir des valeurs précises et d’affiner au mieux l’élaboration de la ration. Dans cette partie, on s’attardera uniquement sur la composition moyenne en matière sèche (MS), l’unité fourragère cheval (UFC), la matière azotée digestible corrigée (MADC), la cellulose brute (CB), la matière azotée totale (MAT) et aux minéraux présents dans différents fourrages. Nous ne considérerons pas les vitamines car le temps de conservation des fourrages verts est supérieur au temps de demi-vie des vitamines, ainsi lorsque la nourriture est présentée au cheval, celle-ci ne contient plus de vitamines.

### a) Prairies permanentes en plaine, en Normandie

Dans le nord de la France et en Normandie, la part des prairies naturelles dépasse 80% des surfaces en prairie permanente, contre 57% pour les Pays de la Loire et 25% pour la Bretagne. Les prairies permanentes de Normandie sont principalement couvertes de graminées (environ 80%) et seulement 20% de légumineuses (12). Par comparaison au tableau XXIX, les prairies permanentes de Normandie appartiennent à la classe II, ce sont donc de très bonnes prairies permanentes.

Le tableau XXX présente la composition moyenne des prairies permanentes en Normandie.

**Tableau XXX:** Liste des valeurs nutritives moyenne d'une prairie permanente en plaine, en Normandie, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC/ kg de MS	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
1 <sup>er</sup>	10/05 pâturage	16,6	0,76	107	172	244	4,0	6,0	1,9
	25/05 début épiaison	17,2	0,69	76	133	272	3,8	5,6	1,9
	10/06 épiaison	20,2	0,61	60	109	313	3,6	5,2	1,9
	25/06 floraison	19,2	0,53	47	92	335	3,6	4,7	1,9
2 <sup>ème</sup> après coupe épiaison	Repousses feuillues de 5 semaines	18,4	0,72	146	215	267	4,0	6,9	2,2
	Repousses feuillues de 7 semaines	18,8	0,69	95	155	272	3,8	6,9	2,2
3 <sup>ème</sup>	Repousses feuillues de 6 semaines	15,7	0,70	134	201	269	4,0	6,0	2,4

**b) Prairie permanente, en demi-montagne, en Auvergne**

Les prairies permanentes d'Auvergne sont composées en moyenne de 74% de graminées et de 10% de légumineuses, ce qui correspond à une prairie appartenant à la classe II du tableau XXIX également. Il s'agit donc de très bonnes prairies. La composition moyenne d'une prairie permanente en demi-montagne, ici en Auvergne est notifiée dans le tableau XXXI.

**Tableau XXXI:** Liste des valeurs nutritives moyenne d'une prairie permanente en demi-montagne, en Auvergne, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC/ kg de MS	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
1 <sup>er</sup>	25/05 pâturage	16,7	0,79	99	166	224	2,7	5,1	2,3
	25/06 épiaison	20,4	0,61	60	111	304	1,8	4,5	2,2
	10/07 floraison	21,7	0,50	46	92	323	1,5	3,5	2,2
2 <sup>ème</sup> après coupe épiaison	Repousses feuillues de 6 semaines	18,5	0,72	137	209	229	2,4	7,0	2,2
3 <sup>ème</sup>	Repousses feuillues de 7 semaines	19,6	0,69	111	179	230	2,7	7,0	3,1

L'herbe pâturée en Normandie, tous cycles confondus, est plus riche en phosphore (3,8 g de phosphore/kg de MS et 2,2 g de phosphore/kg de MS, respectivement) et calcium (5,9 g de calcium/kg de MS et 5,4 g de calcium/kg de MS, respectivement) que celle d'Auvergne. En revanche, l'herbe pâturée d'Auvergne est plus riche en magnésium que celle de Normandie (2,4 g de magnésium/kg de MS et 2,1 g de magnésium/kg de MS, respectivement).

### 3. Valeurs nutritives des foins

Le foin est le produit d'une herbe fauchée qui est laissée sur place puis fanée pendant une durée moyenne de 4 jours. Elle est ensuite pressée dans des balles-rondes ou carrées. Cela correspond à une herbe fanée au sol par beau temps (52).

Une autre méthode de réalisation du foin consiste à une récolte du foin pendant les périodes pluvieuses. L'herbe est coupée et mise sous forme de balles de faibles densités, 24 à 48 heures après la coupe. Ces balles sont rentrées en grange et ventilées par de l'air chaud. On a ainsi une valeur alimentaire constante et optimale car on a moins de pertes mécaniques et de pertes par lessivage. Les pertes mécaniques sont dues aux manipulations (récolte, chargement des bottes dans le tracteur puis la grange...) et correspondent à une perte moyenne de 5 à 10% de matière sèche. Quant aux pertes par lessivage, elles sont produites par d'éventuelles pluies pendant le séchage qui emportent des éléments solubles (glucides solubles, azote, vitamines, minéraux...), provoquant une perte moyenne de 0 à 20% de matière sèche (52).

#### a) Prairies permanentes

##### i. Prairie permanente, en plaine, en Normandie

Le foin étant une herbe fauchée puis séchée, celui-ci perd 5-10% de matière sèche et perd également des éléments solubles (minéraux, vitamines). Il est donc important de s'intéresser aux valeurs moyennes des foins de ces deux différentes prairies qui diffèrent des valeurs de l'herbe pâturée. La composition moyenne d'un foin issu d'une prairie permanente, en plaine et plus précisément en Normandie est représentée dans le tableau XXXII.

Par comparaison à l'herbe pâturée, le foin de cette même prairie est beaucoup moins riche en phosphore (3,2 g/kg de MS contre 3,8 g/kg de MS pour l'herbe pâturée) et en calcium (4,7 au lieu de 5,9 g/kg de MS pour l'herbe pâturée). En revanche, la quantité de magnésium présente dans l'herbe pâturée est très légèrement moins importante que dans le foin (2,1 g/kg de MS contre 2,2 g/kg de MS pour le foin).



**Tableau XXXII:** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie permanente, en plaine, en Normandie, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>Ventilé</b>	1 <sup>er</sup> cycle, 10/05, feuillu	85,0	0,69	95	165	269	3,3	4,9	3,0
	1 <sup>er</sup> cycle, 25/05, début épiaison	85,0	0,62	68	127	295	3,2	4,6	2,0
	1 <sup>er</sup> cycle, 10/06, épiaison	85,0	0,55	52	104	333	3,1	4,2	2,0
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines	85,0	0,62	83	148	295	3,2	5,6	2,2
<b>Fané au sol par beau temps</b>	1 <sup>er</sup> cycle, 25/05, début épiaison	85,0	0,62	68	127	295	3,2	4,6	2,0
	1 <sup>er</sup> cycle, 10/06, épiaison	85,0	0,55	52	104	333	3,1	4,2	2,0
<b>Fané au sol par beau temps</b>	1 <sup>er</sup> cycle, 25/06, floraison	85,0	0,48	40	88	353	3,1	3,9	2,2
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines	85,0	0,62	83	148	295	3,2	5,6	2,2
	3 <sup>ème</sup> cycle, repousses feuillues de 8 semaines	85,0	0,64	99	170	272	3,3	4,6	3,1
<b>Fané au sol (&lt; 10 jours)</b>	1 <sup>er</sup> cycle, 25/05, début épiaison	85,0	0,58	65	122	317	3,2	4,6	2,0
	1 <sup>er</sup> cycle 10/06, épiaison	85,0	0,53	48	99	351	3,1	4,2	2,0
	1 <sup>er</sup> cycle, 25/06, floraison	85,0	0,46	37	83	370	3,1	3,9	2,2
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines.	85,0	0,59	80	143	317	3,2	5,6	2,2

ii. Prairie permanente, en demi-montagne, en Auvergne

La composition moyenne d'une prairie permanente en Auvergne, tout cycle confondu, en minéraux est de : 2,2 g de phosphore par kg de MS, 5,4 g de calcium par kg de MS et de 2,4 g de magnésium par kg de MS. Pour le foin de cette même prairie, tous cycles et moyen de séchage confondus, la composition moyenne est de : 2,0 g de phosphore par kg de MS, 4,2 g de calcium par kg de MS et de 1,8 g de magnésium par kg de MS. Le foin est donc beaucoup plus pauvre en calcium, phosphore et magnésium que l'herbe pâturée de cette même prairie. Si l'on souhaite donc apporter une quantité de minéraux importante aux équidés, il est plus intéressant de les laisser pâturer que de leur fournir du foin.

Le tableau ci-dessous représente la composition moyenne d'un foin issu d'une prairie permanente, en demi-montagne et plus précisément en Auvergne.

**Tableau XXXIII :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie permanente, en demi-montagne, en Auvergne, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>Ventilé</b>	1 <sup>er</sup> cycle, 20/05, feuillu	85,0	0,71	91	159	250	2,4	4,2	2,5
	1 <sup>er</sup> cycle, 10/06, début épiaison	85,0	0,64	79	142	285	2,2	3,9	1,7
	1 <sup>er</sup> cycle, 25/06, épiaison	85,0	0,55	53	106	324	1,8	3,7	1,7
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 6 semaines	85,0	0,66	120	200	255	2,2	5,8	1,7
<b>Fané au sol par beau temps</b>	1 <sup>er</sup> cycle, 10/06, début épiaison	85,0	0,64	79	142	285	2,2	3,9	1,7
	1 <sup>er</sup> cycle, 25/06, épiaison	85,0	0,55	53	106	324	1,8	3,7	1,7
	1 <sup>er</sup> cycle, 10/07, floraison	85,0	0,47	40	88	342	1,6	2,9	1,7
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 6 semaines	85,0	0,66	120	200	255	2,2	5,8	1,7
<b>Fané au sol (&lt; 10 jours)</b>	1 <sup>er</sup> cycle, 10/06, début épiaison	85,0	0,64	75	137	308	2,2	3,9	1,7
	1 <sup>er</sup> cycle 25/06, épiaison	85,0	0,55	50	101	344	1,8	3,7	1,7
	1 <sup>er</sup> cycle, 10/07, floraison	85,0	0,47	37	83	360	1,6	2,9	1,7
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 6 semaines.	85,0	0,66	116	195	280	2,2	5,8	1,7

Le foin produit en Normandie, tout cycle et méthode de fanage confondus, est plus riche en phosphore (3,2 g de phosphore/kg de MS et 2,0 g de phosphore/kg de MS, respectivement) et calcium (4,7 g de calcium/kg de MS et 4,2 g de calcium/kg de MS, respectivement) que celle d'Auvergne. En revanche, l'herbe pâturée d'Auvergne est plus riche en magnésium que celle de Normandie (2,2 g de magnésium/kg de MS et 1,8 g de magnésium/kg de MS, respectivement).

#### 4. Valeurs nutritives des céréales

Dans cette partie, nous réunissons dans un tableau les céréales les plus utilisées et les plus rencontrées dans une ration élaborée pour un cheval. Les céréales sont riches en matière sèche et en UFC, on les utilise principalement pour compléter en énergie la ration. Leur composition moyenne en phosphore est de 3,4 g/kg de MS avec comme valeur maximale 4,0 g/kg de MS pour l'orge et le triticale. Les céréales contiennent en moyenne 0,8 g de calcium par kg de MS, l'avoine et le seigle sont les plus riches en ce minéral (1,2 g/kg de MS) et le sorgho en est le moins pourvu (0,3 g/kg de MS). Les quantités de magnésium sont plus constantes, la moyenne étant de 1,2 g/kg de MS, avec 1,6 g/kg de MS en valeur maximale

pour le riz cargo et 1,0 g/kg de MS pour la valeur la plus basse pour l'avoine décortiquée (tableau XXXIV).

**Tableau XXXIV :** Liste des valeurs nutritives moyennes des principales céréales utilisées dans l'alimentation du cheval, d'après INRA 2011.

Type de céréales	Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
	MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>Orge</b>	86,7	1,14	85	116	52	4,0	0,8	1,3
<b>Avoine</b>	88,1	0,99	78	111	138	3,6	1,2	1,1
<b>Avoine décortiquée</b>	85,6	1,14	92	124	47	3,3	1,0	1,0
<b>Blé dur</b>	87,6	1,21	116	165	31	3,9	0,9	1,2
<b>Blé tendre</b>	86,8	1,23	85	121	26	3,7	0,8	1,1
<b>Maïs</b>	86,4	1,30	66	94	25	3,0	0,5	1,2
<b>Riz cargo</b>	87,4	1,33	65	92	5	2,3	0,1	1,6
<b>Seigle</b>	87,3	1,20	63	103	22	3,4	1,2	1,2
<b>Sorgho</b>	86,5	1,24	77	109	27	3,2	0,3	1,4
<b>Triticale</b>	87,3	1,21	77	110	27	4,0	0,8	1,1

## 5. Teneurs en oligoéléments et vitamines des fourrages et des céréales

Dans les tableaux suivants sont répertoriés les oligoéléments (cuivre, zinc et manganèse) présents dans les fourrages, ainsi que les vitamines A, D et E présentes dans les fourrages et quelques céréales.

La luzerne est le fourrage le plus riche en cuivre avec 8,3 g de cuivre par kg de MS contre 6,1 g de cuivre par kg de MS en moyenne dans les autres fourrages.

Les prairies permanentes contiennent plus de zinc que les autres fourrages, avec 39 g de zinc par kg de MS en moyenne contre 27,4 g de zinc par kg de MS en moyenne dans les autres fourrages.

Le foin de prairies permanentes, suivi des prairies permanentes, sont les plus riches en magnésium avec 158,2 et 146 g de magnésium par kg de MS en moyenne respectivement contre 91,9 g de magnésium par kg de MS en moyenne dans les autres fourrages.

Les comparaisons des valeurs moyennes en oligoéléments des fourrages montrent que les prairies permanentes ou leurs foins associés sont riches en ces éléments.

Le ray-grass italien est le plus riche en vitamine A et D. En revanche, c'est le ray grass annuel qui est le plus riche en vitamine E. En moyenne, les céréales apportent très peu de vitamines, seuls l'orge et le maïs apportent de la vitamine A, toutes les autres céréales (sorgho, blé, avoine) n'apportent que de la vitamine E. On pourra donc choisir une céréale riche en vitamine A si l'herbe pâturée est pauvre en vitamine A, par exemple. En effet, il est difficile pour un propriétaire de changer de région pour changer d'herbe pâturée pour son équidé, en revanche pour changer de céréales cela est plus aisé. Ces tableaux permettent donc de choisir une céréale en fonction des apports du fourrage choisi.

**Tableau XXXV :** Liste des teneurs en oligoéléments (g/kg de MS) des fourrages, d'après INRA 2011.

Fourrages		Oligoéléments (mg/kg de MS)		
		Cuivre	Zinc	Manganèse
Prairies permanentes	1er cycle, stade pâturage	7,4	48,0	149,0
	1er cycle, épiaison	5,9	36,0	148,0
	1er cycle, floraison	5,0	34,0	141,0
Dactyle	1er cycle, stade végétatif	7,5 ± 2,8	32,0 ± 9,0	112,0 ± 32,7
	1er cycle, épiaison	6,0 ± 1,0	23,0 ± 5,1	105,0 ± 49,4
	1er cycle, floraison	4,8 ± 1,1	18,0 ± 4,9	91,4 ± 45,0
	2ème cycle	6,8 ± 1,1	22,2 ± 3,7	129,3 ± 62,9
	3ème cycle	6,5 ± 0,9	25,2 ± 2,0	128,4 ± 48,5
	4ème cycle et autres	8,7 ± 0,9	30,8 ± 3,9	193,9 ± 66,5
Fétuque des prés	1er cycle, stade végétatif	5,4 ± 1,5	23,8 ± 6,2	90,5 ± 30,1
	1er cycle, épiaison	4,8 ± 1,3	19,5 ± 4,3	86,5 ± 86,5
	2ème cycle	5,7 ± 1,3	27,1 ± 7,9	118,3 ± 35,9
	3ème cycle	5,7 ± 0,9	21,8 ± 7,0	96,0 ± 31,4
	4ème cycle et autres	6,6 ± 0,4	27,1 ± 10,8	115,0 ± 73,5
Fétuque élevée	1er cycle, stade végétatif	6,5 ± 1,3	38,0 ± 13,3	81,3 ± 48,0
	1er cycle, épiaison	5,1 ± 2,5	20,9 ± 7,9	77,9 ± 43,2
	1er cycle, floraison	3,8 ± 1,5	23,0 ± 20,6	93,5 ± 34,2
	2ème cycle	5,6 ± 1,4	24,2 ± 14,2	113,1 ± 60,3
	3ème cycle	5,9 ± 1,0	27,8 ± 13,6	47,3 ± 52,9
	4ème cycle et autres	6,3 ± 1,2	22,8 ± 9,3	131,0 ± 58,2
Ray-grass anglais	1er cycle, stade végétatif	5,2 ± 1,7	23,9 ± 9,5	84,7 ± 29,0
	1er cycle, épiaison	4,0 ± 1,3	19,5 ± 9,5	74,0 ± 25,0
	2ème cycle	5,2 ± 1,8	26,5 ± 8,2	148,4 ± 45,4
	3ème cycle	6,0 ± 0,9	37,0 ± 9,6	125,0 ± 22,2
	4ème cycle et autres	6,9 ± 1,0	33,8 ± 9,2	151,3 ± 65,2
Ray-grass italien	1er cycle, stade végétatif	8,1 ± 2,0	32,2 ± 6,6	85,1 ± 38,4
	1er cycle, épiaison	5,0 ± 1,4	23,8 ± 7,5	79,6 ± 41,7
	2ème cycle	5,8 ± 1,0	32,7 ± 8,8	133,8 ± 45,4
	3ème cycle	7,2 ± 1,3	32,2 ± 7,5	139,0 ± 32,7
	4ème cycle et autres	6,8 ± 2,0	31,8 ± 6,7	121,0 ± 23,4
Fléole	1er cycle, stade végétatif	5,4 ± 2,1	37,4 ± 13,8	77,5 ± 34,1
	1er cycle, épiaison	3,8 ± 1,0	25,3 ± 10,7	59,7 ± 36,1
	1er cycle, floraison	3,1 ± 0,8	22,3 ± 6,2	27,7 ± 10,0
	2ème cycle	5,1 ± 0,8	24,5 ± 12,7	73,0 ± 36,5
	3ème cycle	5,6 ± 0,8	21,0 ± 7,1	74,1 ± 36,0
	4ème cycle et autres	6,6 ± 1,4	27,0 ± 2,2	113,8 ± 42,0
Luzerne	1er cycle, stade végétatif	8,8 ± 0,5	32,3 ± 3,1	26,7 ± 1,2
	1er cycle, bourgeonnement	7,5 ± 1,3	22,9 ± 4,3	25,5 ± 10,5
	1er cycle, floraison	7,7 ± 2,0	22,0 ± 5,9	27,5 ± 9,3
	2ème cycle	8,5 ± 2,1	22,3 ± 5,3	52,7 ± 36,0
	3ème cycle	8,6 ± 1,5	24,1 ± 4,8	43,9 ± 35,3
	4ème cycle et autres	8,9 ± 1,5	22,8 ± 3,3	36,6 ± 24,2
Foin de prairie permanente	1 <sup>ère</sup> coupe	5,2 ± 0,5	29,1 ± 0,5	158,2 ± 5,3
Foin de Ray-grass d'Italie	1 <sup>ère</sup> coupe	4,9 ± 0,3	26,5 ± 1,4	110,0 ± 14,5
Luzerne	1 <sup>ère</sup> coupe	7,1 ± 0,3	24,6 ± 2,1	29,0 ± 2,4
	2 <sup>ème</sup> coupe	7,5 ± 0,3	23,7 ± 1,1	-
Ensilage de maïs	-	6,1 ± 0,3	26,0 ± 1,6	55,6 ± 8,7

**Tableau XXXVI:** Liste des teneurs en vitamines (g/kg de MS) des fourrages et des céréales, d'après INRA 2011.

		Vitamines (UI/kg de MS)		
		Vitamine A	Vitamine D	Vitamine E
<b>Fourrages verts de graminées</b>		25000	30	17
<b>Foins</b>	Prairie naturelle (frais)	6000	600	10
	Prairie naturelle (stockés)	1500	-	-
	Ray-grass italien	116000	2000	-
	Ray-grass annuel	48000	-	210
	Luzerne	46000	600	11
<b>Céréales (grains)</b>	Orge	1000	-	25
	Maïs	1000	-	25
	Sorgho	-	-	12
<b>Céréales (grains)</b>	Blé	-	-	17
	Avoine	-	-	15
<b>Ensilages</b>	Maïs	6000	300	-
	Seigle	23000	-	-
	Sorgho	14000	-	-

Au sein de cette partie, nous avons présenté les apports recommandés nutritionnels des équidés et les principales compositions des aliments de base d'une ration.

La Normandie et l'Auvergne sont deux régions possédant des prairies permanentes de très bonne qualité, mais il reste à déterminer si ces deux régions couvrent les apports recommandés en minéraux et vitamines des équidés. Nous allons donc calculer les éventuels déséquilibres présents au sein de ces deux prairies, pour un cheval de selle à l'entretien de 500 kg. On détaillera ensuite une méthode théorique puis pratique, de choix d'un AMV.

### **III. Méthodes de choix d'un AMV :**

Les rations de base des équidés sont toutes différentes : d'une part, par les aliments qui la compose (orge, avoine, maïs, foin, herbe pâturée, ensilage...) et d'autre part par la variabilité des caractéristiques nutritionnelles de chacun de ces éléments. Une herbe pâturée en Normandie est plus riche en phosphore et calcium qu'une herbe pâturée en Auvergne. De plus, la composition d'une herbe pâturée varie elle-même en fonction de l'année, du climat, du cycle des végétaux, de l'apport de fertilisants dans la pâture, etc.

Pour pouvoir choisir un AMV il faut dans un premier temps analyser la ration, soit de façon théorique, c'est-à-dire en utilisant les données fournies des fourrages par la région ou bien les tableaux de valeurs moyennes de l'INRA ; soit de façon précise par la réalisation d'une analyse du fourrage par un laboratoire. Cette première étape nous conduit à l'évaluation des éventuels déséquilibres de la ration. Puis dans un second temps, le choix d'un AMV en fonction des résultats des résultats d'analyses.

Au sein de cette section nous étudierons dans un premier temps l'analyse de l'étiquette des AMV, dans un deuxième temps une méthode de choix théorique d'AMV et dans un dernier temps une méthode de choix pratique.

#### **A. Analyse de l'étiquette de l'AMV**

Le premier point d'intérêt de l'étiquette d'un AMV est le taux de cendres brutes. Celui-ci doit être au minimum égal à 40 %, il doit de plus être notifié sur l'étiquette. Si un de ces points n'est pas mentionné, il ne s'agit pas d'un aliment minéral et vitaminé. Sur les 205 aliments complémentaires dits « AMV » sélectionnés précédemment dans cette thèse, seuls 23 rentrent dans ce seul critère.

Sur l'étiquette, il est mentionné pour quel type d'équidé l'AMV est destiné ainsi que la posologie. Cependant, il ne faut pas porter attention à ces notifications car elles ne correspondent pas nécessairement aux besoins de l'équidé. Par exemple, pour le complément X, il est notifié : « *Aliment complémentaire destiné au soutien des chevaux effectuant régulièrement des efforts très intenses (galop, trot)* », il n'est pas spécifié à quoi correspond un effort très intense : s'agit-il de deux heures de travail au galop par jour, de trente minutes de trot par jour ou peut-on estimer qu'un travail de cinq heures au pas correspond à un effort intense ? Autre exemple, pour le complément Y, il est écrit : « *L'aliment Y est un complément nécessaire destiné : aux poulinières à l'entretien, en gestation ou en lactation, aux poneys et aux chevaux à l'entretien et en période de travail léger à moyen.* », ici pour une jument en gestation, on peut se demander si l'AMV peut être utilisé sur toute la gestation ou seulement lors de la période où les besoins sont accrus notamment lors des trois derniers mois de gestation.

Par ailleurs, ces compléments sont très souvent à donner sur une courte période, par exemple pour l'AMV Z, nous pouvons lire qu'il faut effectuer des : « *cures de 4 semaines, 2 à 3 fois par an* », cependant si la ration est déficitaire pendant 4 semaines, elle le sera toujours après, sous réserve que l'on utilise toujours les mêmes éléments composant la ration. Il ne faut donc pas effectuer des cures mais compléter une ration en fonction des éventuels déséquilibres, tous les jours pour un équidé ayant toujours la même ration. En revanche, on pourra changer voire augmenter la quantité d'AMV à fournir pour un équidé en herbe pâturée

car les quantités de minéraux et de vitamines présents au pré varient en fonction du climat, de la saison, d'éventuels fertilisants utilisés...

Mais encore, il est indiqué sur l'étiquette la quantité d'AMV à fournir à l'équidé : « 50 grammes, 100 grammes ... », ce sont des moyennes, elles ne sont pas le reflet de la quantité à donner à l'équidé en fonction des déficits de la ration. En effet, si la ration de l'équidé est riche en calcium et qu'il lui manque du cuivre, il faudra lui apporter peu de calcium et beaucoup de cuivre, pour cela on lui donnera environ 25 grammes d'AMV et non 50 g. les indications peuvent donc créer des erreurs et dans des cas sévères, entraîner une intoxication chez l'équidé. Il est préférable d'estimer les déficits de la ration puis de choisir la quantité d'AMV à donner à l'équidé et non de se référer à ce qui est écrit sur l'étiquette.

Une fois l'étiquette analysée, se pose la question du choix de format de l'AMV. En effet, il existe différents types : les granulés, la poudre, les blocks à lécher ou bien encore les seaux à lécher à laisser au pré. Les blocks à lécher ou bien les seaux semblent être à éviter, en effet nous ne connaissons pas la quantité d'AMV ingérée par cette méthode, il est possible que l'équidé n'en consomme pas suffisamment ou au contraire en excès. Aucun contrôle de quantité n'est possible, ils ne sont donc pas recommandés. Ils restent ensuite les granulés et les poudres, dont la quantité est maîtrisée car c'est le propriétaire qui l'ajoute à la ration de base de l'équidé, avec les concentrés ou bien les céréales (avoine, orge). Il semble cependant plus intéressant d'utiliser les granulés et non la poudre, car cette dernière peut adhérer aux parois du contenant ou bien rester au fond de ce dernier, ainsi la prise de l'AMV ne semble pas optimale. Il est donc préférable de choisir le format « granulé ». En outre, il faut bien mélanger l'AMV à la ration car souvent celui-ci n'est pas appétent.

## **B. Méthode théorique de choix d'un AMV**

Pour mettre en œuvre les étapes théoriques de choix d'un AMV, nous étudierons dans une première partie les facteurs d'influence des choix de supplément nutritionnel par les propriétaires de chevaux, dans une deuxième partie une liste non exhaustive d'AMV sélectionnés en 2016, dans une troisième partie le calcul des éventuels déséquilibres des pâtures et enfin le choix de l'AMV en fonction de ces résultats.

### **1. Facteurs d'influence des choix de supplément nutritionnel chez les propriétaires d'équidés**

Il existe au sein de l'alimentation pour chevaux, une très large variété de suppléments nutritionnels : des compléments pour les articulations des chevaux, d'autres pour le stress, des électrolytes, des AMV ... Ces suppléments nutritionnels représentent 171 400 achats par an en 2011, soit 34 millions de livre sterling (soit 3 974 328 euros) avec une dépense moyenne par cheval de 198 £, soit 231,41 euros (82). Ce qui montre l'importance des suppléments nutritionnels pour les propriétaires de chevaux. Mais quels sont les critères et les motivations des propriétaires pour acheter un supplément nutritionnel par rapport à un autre ?

Deux études se sont intéressées à la question. Pour ce faire, les scientifiques ont publié un questionnaire en ligne sur des sites dédiés aux propriétaires de chevaux de dressage et de concours complet. Près de 820 réponses ont été obtenues dont 757 étaient valables. Parmi ces

757 réponses, 56,6% sont des réponses de propriétaires de chevaux de dressage, 19,9% de chevaux de concours complet et 23,5% propriétaires pratiquant les deux disciplines (81, 82).

Sur l'ensemble des réponses recueillies, 49,8% de ces propriétaires recherchent des informations complémentaires sur ces suppléments auprès de leur vétérinaire, contre 39,4% sur internet, 38,7% en demandant conseils auprès d'autres propriétaire de chevaux, 36,5% auprès de leur coach et 33,4% auprès de personnes spécialisés dans l'alimentation des chevaux (82). Parmi les sources d'informations non personnelles (magazines, articles, site internet...): 60,9% se renseignent sur des sites internet de nutrition, 53,5% sur des sites internet dédiés à leur disciplines (dressage, concours complet) et 45,2% sur des forums internet (82).

La source d'information la plus fiable pour les propriétaires de chevaux est le vétérinaire, c'est également lui qui a le plus d'impact sur leur décision. Puis viennent les personnes spécialisées dans l'alimentation des chevaux, la lecture d'articles scientifiques, les entraîneurs et enfin les autres propriétaires de chevaux (82).

Les raisons d'achat diffèrent en fonction de la discipline rencontrée. Cependant la raison pour laquelle les propriétaires d'équidés achètent un supplément nutritionnel reste la même au sein des deux disciplines : celle de résoudre un problème. Pour les propriétaires de chevaux de dressage le problème majeur de leurs chevaux est le stress mais la raison de l'achat concerne des problèmes de mobilité et d'articulations. Pour les propriétaires de chevaux d'endurance, le plus important au sein de leur discipline est l'endurance et la santé physique de leurs chevaux et ils préfèrent donc utiliser des électrolytes et des suppléments pour le bien-être des articulations et des muscles de leurs chevaux (81).

La raison d'achat et la source d'information déterminées, le prix est le premier facteur qui influence le choix final avec 69,6% des réponses, puis le conseil d'un entraîneur ou d'un autre propriétaire d'équidé (57,5%), s'ensuit les recommandations personnelles d'un ami (55,6%) et enfin la disponibilité du produit (51,3%) (82).

La source principale à l'origine de leur dernier achat est pour 18,1% des réponses : les autres propriétaires, le vétérinaire est à la deuxième place avec 17,9% des réponses, puis viennent les entraîneurs (12,4%), la publicité (10,4%), les fournisseurs de suppléments (10,2%) et internet (1,4%) (82).

Ces deux études nous montrent que le vétérinaire est la source principale d'informations et reste la source la plus fiable pour les propriétaires de chevaux mais que, malgré cela, le choix final du supplément est influencé par les autres propriétaires et le prix.

Sur les commentaires libres de ce questionnaire, de nombreux propriétaires de chevaux ont émis le souhait que leur vétérinaire inclut une part de gestion de la nutrition et de l'alimentation de leurs chevaux, lors de leur consultation vaccinale annuelle, avec la fourniture de documents écrits sur les suppléments nutritionnels. Il semble donc important que le vétérinaire équin praticien fournisse des informations nutritionnelles aux propriétaires de chevaux, cela permettrait peut-être que le vétérinaire soit le facteur décisif de leur choix final (81,82).



## **2. Liste non exhaustive des AMV existants au sein du DMV ou présents dans le commerce en 2016**

Les listes d'AMV présentent au sein des tableaux XXXVII et XXXVIII, sont une sélection d'AMV présents dans le dictionnaire des médicaments vétérinaires (DMV) et ceux vendus directement par les fournisseurs d'aliments pour chevaux dans le commerce.

La première étape de sélection des AMV consiste en une recherche du taux de cendres brutes. D'après la législation, un aliment minéral vitaminé est un complément alimentaire dont le taux de cendres brutes est supérieur ou égal à 40%, il doit de plus, être notifié sur l'étiquette de l'aliment. Nous avons donc éliminé ceux qui ne répondaient pas à ces critères. Sur 205 AMV sélectionnés (71 issus du DMV et 134 du commerce) seuls 23 rentrent dans ces critères (13 issus du DMV et 10 issus du commerce).

La deuxième étape de recherche s'est portée sur la composition en minéraux et vitamines des AMV sélectionnés précédemment afin de déterminer quels AMV choisir en fonction des éventuels déficits en minéraux et vitamines de la ration rencontrés.

La troisième étape s'est intéressée au coût d'achat au kilogramme de cet aliment complémentaire.

### ***a) Liste des AMV présents au sein du DMV***

Dans le tableau XXXVIII est référencé l'ensemble des aliments minéraux vitaminés répondant à la législation : c'est-à-dire dont le taux de cendres brutes est supérieur ou égale à 40%. Ils sont classés par ordre alphabétique.

**Tableau XXXVII:** Liste des composants analytiques des AMV présents au sein du DMV.

Caractéristiques Spécialités	Cen dres brut es (%)	Minéraux (%)			Oligoéléments (mg)			Vitamines (UI)			Prix au kg (€)
	CB	Ca	P	M g	Cu	Zn	Mn	A	D	E	(€)
BONUTRON ACTIV	58,0	8,0	4,5	0,5	1800	4000	2000	700000	50000	2500	22,70
BONUTRON RACING	60,0	11,0	6,0	-	2500	10000	5000	1200000	64000	34000	23,42
BONUTRON SENIOR	43,0	8,0	4,5	-	-	-	2500	-	70000	1150	29,83
BONUTRON SPORT	60,0	11,0	6,0	-	2500	9000	4500	100000	60000	30000	21,83
BONUTRON STUD	75,0	16,0	9,0	-	2500	8500	4200	700000	64000	3800	20,02
BONUTRON YEARLING	71,0	16,0	9,0	-	2400	8000	4400	1000000	64000	10000	19,30
EQUISTRO MEGABASE RACE	70,0	22,0	3,0	0,7	1200	3000	1000	200000	10000	11000	13,8
EQUISTRO MEGABASE FERTILITY	61,0	-	-	-	1980	3900	940	460000	65000	2500	14,4
EQUISTRE MEGABASE MAINTENANCE	60,0	16,0	8,0	2,5	400	800	300	200000	20000	1500	8,68
HOOF BIOTINE	42,0	12,0	4,0	1,0	3000	40000	-	500000	-	-	14,0
NURTENE	49,0	6,0	6,0	-	1000	10000	3500	1700000	-	8000	37,57
TWYDIL MINERAL COMPLEX	63,0	21,0	2,5	-	-	-	-	-	-	-	9,96
TWYDIL PMC	52,5	18,9	5,9	0,9	1580	6260	3270	-	-	-	59,78

b) Liste des AMV présents dans le commerce

Dans le tableau XXXVIII, sont présents les AMV dont le taux de cendres brutes est supérieur ou égale à 40% et qui était notifié sur l'étiquette. Ils sont de la même manière que précédemment regroupés par ordre alphabétique.

**Tableau XXXVIII:** Liste des composants analytiques des AMV présents au sein du commerce.

Fabricants d'aliments pour chevaux	Spécialité	Cendres brutes	Minéraux (%)			Oligoéléments (mg)			Vitamines (UI)			Prix au kilo
		CB (%)	Ca	P	Mg	Cu	Zn	Mn	A	D	E	(€)
<b>St hippolyt</b>	Gemüse Kräuter mineralien	55,0	13,5	2,7	2,4	700	2500	1100	270000	30000	5000	3,8
	Horse block	46,00	8	2,6	2,4	70	-	-	75000	10000	200	1,43
	Horse minéral cab	68,00	16	8	3,0	1500	3000	3000	360000	48000	1000	5,0
<b>Dodson &amp; Horell</b>	Daily vits&mins	78,00	18	10	4,0	2000	5000	5000	400000	60000	149254	7,5
	Performance vits & mins	68,00	14	8	24,0 g	1200	3200	400	480000	64000	119403	7,1
	Uniblock	60,00	9	5	4,0	5000	5000	3000	100000	20000	156716	1,2
<b>Destrier</b>	Destrier block	46,00	6	2		60	240	135	30000	4800	90	1,2
<b>Reverdy</b>	Minéral élevage	63,00	18	3	4,5	2000	5000	3000	450000	65000	9000	4,1
	Minéral performance	63,00	20	2	3,5	1300	3300	1500	500000	70000	11000	4,1
<b>MARSTAL FORCE</b>	Multivital-konzentrat	42,00	12	8	4,5	700	5000	2000	480000	20000	9701.5	1,7

### 3. Calcul des déficits en minéraux et vitamines de différentes pâtures et foins :

Dans cette partie, nous allons nous intéresser au calcul d'une ration pour un cheval de selle à l'entretien de 500 kg qui pâture soit en Normandie, soit en Auvergne. D'après les parties précédentes, nous connaissons les besoins en énergie, en matière azotée, en minéraux, en oligoéléments et en vitamines (tableau XXXIX).

**Tableau XXXIX:** Liste des apports recommandés (base du rationnement, minéraux, oligoéléments, vitamines) pour un cheval de selle de 500 kg à l'entretien par jour.

<b>Base du rationnement</b>	<b>Capacité d'ingestion</b>	7,5-8,5 kg MS
	<b>Besoins énergétiques</b>	4,15 UFC
	<b>MADC</b>	296,1 g de MADC/kg de MS
<b>Minéraux</b>	<b>Calcium</b>	20 g de MS
	<b>Phosphore</b>	14 g de MS
	<b>Magnésium</b>	7,5 g de MS
<b>Oligoéléments</b>	<b>Cuivre</b>	85 mg de MS
	<b>Zinc</b>	425 mg de MS
	<b>Manganèse</b>	340 mg de MS
	<b>Cobalt</b>	1,7 mg
	<b>Sélénium</b>	1,7 mg
	<b>Fer</b>	425 mg
	<b>Iode</b>	1,7 mg
<b>Vitamines</b>	<b>A</b>	27 600 UI
	<b>D</b>	3400 UI
	<b>E</b>	425 UI

#### a) En pâturage en Normandie

On considère un cheval à l'entretien de 500 kg pâture en Normandie au mois de mai (le 25 mai). Il mange exclusivement de l'herbe issue de cette pâture.

Très peu de travaux ont été réalisés sur l'ingestion d'herbe pâturée des chevaux, les seuls résultats connus à ce jour concernent un cheval de trait pâture dans le marais poitevin à l'entretien dont la consommation d'herbe pâturée est de 34 g de MS/kg PV/jour (53).

Dans le cas d'un pâturage en Normandie, le 25 mai, la prairie possède les caractéristiques suivantes : 17,2% de MS, 0,69 UFC/kg de MS, 76 g de MADC/kg de MS et 272 g/kg de MS de cellulose brute (CB).

Ce cheval consomme 7,5 kg de MS d'herbe ce qui équivaut à :

<p>UFC = <math>7,5 \times 0,69 = 5,2</math> UFC d'herbe, ce qui apporte en matière azotée digestible corrigée :</p> <p>MADC = <math>7,5 \times 76 = 570</math> g MADC de MS</p>
---

Si ce cheval consomme uniquement ce pâturage, celui-ci couvre l'ensemble de ces besoins énergétiques, protéiques et en fibres car le taux de cellulose brute apporté est de 27,2% et appartient bien à la fourchette comprise entre 15 et 30%.

**Tableau XL:** Quantité de minéraux et vitamines apportés par l'herbe pâturée en Normandie.

Minéraux et vitamines	Quantité apportée par la ration	Apports recommandés	Déficit/excès
<b>Calcium (g)</b>	42	20	+22
<b>Phosphore (g)</b>	28,5	14	+ 14,5
<b>Magnésium (g)</b>	14,25	7,5	+7,25
<b>Cuivre (mg)</b>	44,25	85	<b>-40,75</b>
<b>Zinc (mg)</b>	270	425	<b>-155</b>
<b>Manganèse (mg)</b>	1110	340	+770
<b>Vitamine A (UI)</b>	187 500	27 600	+159 900
<b>Vitamine D (UI)</b>	225	3400	<b>-3175</b>
<b>Vitamine E (UI)</b>	127,5	425	<b>-297,5</b>

Or un cheval a besoin des apports recommandés suivants : 20 g de calcium, 14 g de phosphore, 7,5 g de magnésium, 85 mg de cuivre et 425 mg de zinc, 340 mg de manganèse, 425 mg de fer, 1.7 mg d'iode, 22,5 mg de vitamine B1, 27600 UI de vitamine A, 3400 de vitamine D, 425 UI de vitamine E. Cette ration n'apporte pas suffisamment de cuivre (manque 40,75 mg), de zinc (manque 155 mg), de vitamine D (manque 3175 UI) et de vitamine E (manque 297,5 UI).

En ce qui concerne le rapport phosphocalcique, celui-ci est de 1,5 (il doit appartenir à une fourchette comprise entre 1 et 2). Cette pâture est donc parfaitement équilibrée en calcium et phosphore. Pour le rapport Cu/Zn il est de 0,2, celui-ci doit être égal environ à 0,2, donc cette pâture est équilibrée en cuivre et zinc.

Les prairies permanentes de Normandie sont donc très riches pour un cheval à l'entretien en termes de protéines, d'énergie, de calcium, de phosphore, de magnésium, de manganèse et de vitamine A. Elles sont en revanche pauvres en cuivre, zinc, vitamines D et E. Il conviendrait donc de choisir un AMV enrichi en cuivre, zinc et en vitamines D et E.

***b) En pâturage en Auvergne :***

Dans les mêmes conditions que précédemment, on considère un cheval de selle de 500 kilogrammes à l'entretien qui pâture en Auvergne un 25 mai.

Dans le cas d'un pâturage en Auvergne, les caractéristiques de la prairie sont les suivantes : 16,7% de MS, 0,79 UFC/kg de MS et 99 g de MADC/kg de MS.

Ce cheval consomme 7,5 kg de MS d'herbe ce qui équivaut à :

UFC = 7,5 x 0,79 = 5,925 UFC d'herbe, ce qui apporte en matière azotée digestible corrigée :
MADC = 7,5 x 99 = 742,5 g MADC de MS

Si ce cheval consomme uniquement ce pâturage en Auvergne, celui-ci couvre l'ensemble de ces besoins énergétiques, protéiques et en fibres car le taux de cellulose brute apporté est de 22,4%.

**Tableau XLI:** Quantité de minéraux et vitamines apportés par l'herbe pâturée en Auvergne.

Minéraux et vitamines	Quantité apportée par la ration	Apports recommandés	Déficit/excès
<b>Calcium (g)</b>	38,25	20	+18,25
<b>Phosphore (g)</b>	20,25	14	+6,25
<b>Magnésium (g)</b>	17,25	7,5	+9,75
<b>Cuivre (mg)</b>	55,5	85	<b>-29,5</b>
<b>Zinc (mg)</b>	360	425	<b>-65</b>
<b>Manganèse (mg)</b>	1117,5	340	+777,5
<b>Vitamine A (UI)</b>	187 500	27 600	+159 900
<b>Vitamine D (UI)</b>	225	3400	<b>-3175</b>
<b>Vitamine E (UI)</b>	127,5	425	<b>-297,5</b>

Or un cheval a besoin des apports recommandés suivants : 20 g de calcium, 14 g de phosphore, 7,5 g de magnésium, 85 mg de cuivre et 425 mg de zinc, 340 mg de manganèse, 22,5 mg de vitamine B1, 27600 UI de vitamine A, 3400 de vitamine D, 425 UI de vitamine E. Cette ration n'apporte pas suffisamment de cuivre (manque 29,5 mg), de zinc (manque 65 mg), de vitamine D (manque 3175 UI) et de vitamine E (manque 297,5 UI).

Les prairies d'Auvergne sont donc plus riches en zinc et cuivre que celles de Normandie.

En ce qui concerne le rapport phosphocalcique, celui-ci est de 1,9 (il doit appartenir à une fourchette comprise entre 1 et 2). Cette pâture est donc parfaitement équilibrée en calcium et phosphore. Pour le rapport Cu/Zn il est de 0,16, celui-ci doit être égal environ à 0,2, donc cette pâture est équilibrée en cuivre et zinc.

Les prairies permanentes d'Auvergne sont donc très riches pour un cheval à l'entretien en termes de protéines, d'énergie, de calcium, de phosphore, de magnésium, de manganèse et de vitamine A. Elles sont en revanche pauvres en cuivre, zinc, vitamines D et E. Il conviendrait donc de choisir un AMV enrichi en cuivre, zinc et en vitamines D et E.

c) *Avec une ration composée de foin de Normandie et d'orge*

Dans ce paragraphe, intéressons-nous à une autre ration : celle composée de foin issu d'une prairie de Normandie au 1<sup>er</sup> cycle, le 25 juin, en stade d'épiaison et fané au sol couplé à de l'orge. Le foin et l'orge possèdent les caractéristiques suivantes :

**Tableau XLII:** Liste des caractéristiques nutritionnelles du foin issu d'une prairie permanente en Normandie et de l'orge.

Caractéristiques	Foin de Normandie	Orge
MS	85,0	86,7
UFC	0,46	1,14
MADC	37	82
CB	370	52
Ca (g/kg de MS)	3,9	4,0
P (g/kg de MS)	3,1	0,8
Mg (g/kg de MS)	2,2	1,3
Cu (mg/kg de MS)	5,2	-
Zn (mg/kg de MS)	29,1	-
Mn (mg/kg de MS)	158,2	-
Vitamine A (UI)	0	0
Vitamine D (UI)	0	0
Vitamine E (UI)	0	0

Soit F : la quantité de foin à donner à un cheval à l'entretien de 500 kg et soit O : la quantité d'orge à donner à ce même cheval.

Nous posons donc l'équation suivante puis nous la résolvons pour déterminer F et O.

$$\begin{cases} F + O = 7,5 \\ F \times 0,46 + O \times 1,14 = 4,15 \end{cases}$$

La résolution de cette équation, nous donne que F = 6,5 kg de MS et O = 1,03 kg de MS. Cette ration apporte 324,96 g de MADC, ce qui apporte un excédent de 28,86 g de MADC soit 10% de plus que la quantité nécessaire. De plus, cette ration apporte en termes de minéraux et vitamines :

**Tableau XLIII:** Quantité de minéraux et vitamines apportés par la ration composée de foin de Normandie et d'orge.

Minéraux et vitamines	Quantité apportée par la ration	Apports recommandés	Déficit/excès
Calcium (g)	21	20	+1
Phosphore (g)	29,5	14	+15,5
Magnésium (g)	15,63	7,5	+8,13
Cuivre (mg)	33,8	85	<b>-51,2</b>
Zinc (mg)	189,15	425	<b>238,85</b>
Manganèse (mg)	1028,3	340	+688,3
Vitamine A (UI)	0	27 600	<b>-27 600</b>
Vitamine D (UI)	0	3400	<b>-3400</b>
Vitamine E (UI)	0	425	<b>-425</b>

Or un cheval a besoin des apports recommandés suivants : 20 g de calcium, 14 g de phosphore, 7,5 g de magnésium, 85 mg de cuivre et 425 mg de zinc, 340 mg de manganèse, 22,5 mg de vitamine B1, 27600 UI de vitamine A, 3400 de vitamine D, 425 UI de vitamine E. Cette ration n'apporte pas suffisamment de cuivre (manque 51,2 mg), de zinc (manque

238,85 mg), de vitamine A (manque 27 600 UI), de vitamine D (manque 3400 UI) et de vitamine E (manque 425 UI).

Le rapport phosphocalcique est de 0,7, cette ration est donc déséquilibrée en calcium et phosphore, elle apporte beaucoup trop de phosphore. Il faudrait donc ajouter 23,3 g de calcium soit par l'ajout de carbonate de calcium, soit par un AMV composé de calcium.

Le rapport Cu/Zn est de 0,18, 0,18 appartient à l'intervalle [0,15 ;0,25], cette ration est donc équilibrée en cuivre et zinc.

Cette ration a donc besoin d'être enrichies en calcium, en cuivre, en zinc et en vitamines A, D et E.

**d) Avec une ration de foin issu d'Auvergne et d'orge**

Utilisons à présent du foin issu d'une prairie permanente en Auvergne de 1<sup>er</sup> cycle, le 25 juin, en stade d'épiaison et fané au sol associée à de l'orge. Le foin et l'orge possède les caractéristiques suivantes :

**Tableau XLIV:** Liste des caractéristiques nutritionnelles du foin issu d'une prairie permanente en Auvergne et de l'orge.

<b>Caractéristiques</b>	<b>Foin d'Auvergne</b>	<b>Orge</b>
<b>MS</b>	85,0	86,7
<b>UFC</b>	0,54	1,14
<b>MADC</b>	50	82
<b>CB</b>	344	52
<b>Ca (g/kg de MS)</b>	3,7	4,0
<b>P (g/kg de MS)</b>	1,8	0,8
<b>Mg (g/kg de MS)</b>	1,7	1,3
<b>Cu (mg/kg de MS)</b>	5,2	-
<b>Zn (mg/kg de MS)</b>	29,1	-
<b>Mn (mg/kg de MS)</b>	158,2	-
<b>Vitamine A (UI)</b>	0	0
<b>Vitamine D (UI)</b>	0	0
<b>Vitamine E (UI)</b>	0	0

Soit F : la quantité de foin à donner à un cheval à l'entretien de 500 kg et soit O : la quantité d'orge à donner à ce même cheval.

Nous posons donc l'équation suivante puis nous la résoudrons pour déterminer F et O.

$$\left\{ \begin{array}{l} F + O = 7,5 \\ F \times 0,54 + O \times 1,14 = 4,15 \end{array} \right.$$

La résolution de cette équation, nous donne que F = 7,3 kg de MS et O = 0,167 kg de MS. Cette ration apporte 378,7 g de MADC, ce qui apporte un excédent de 82,6 g de MADC soit 28% de plus que la quantité nécessaire. De plus, cette ration apporte en termes de minéraux et vitamines :



**Tableau XXLIV:** Quantité de minéraux et vitamines apportés par la ration composée de foin d’Auvergne et d’orge.

Minéraux et vitamines	Quantité apportée par la ration	Apports recommandés	Déficit/excès
<b>Calcium (g)</b>	13,2	20	<b>-6,8</b>
<b>Phosphore (g)</b>	27,7	14	+13,7
<b>Magnésium (g)</b>	13,7	7,5	+6,2
<b>Cuivre (mg)</b>	38	85	<b>-47</b>
<b>Zinc (mg)</b>	212,4	425	<b>-212,6</b>
<b>Manganèse (mg)</b>	1154,9	340	+814,9
<b>Vitamine A (UI)</b>	0	27 600	<b>-27 600</b>
<b>Vitamine D (UI)</b>	0	3400	<b>-3400</b>
<b>Vitamine E (UI)</b>	0	425	<b>-425</b>

Or un cheval a besoin des apports recommandés suivants : 20 g de calcium, 14 g de phosphore, 7,5 g de magnésium, 85 mg de cuivre et 425 mg de zinc, 340 mg de manganèse, 22,5 mg de vitamine B1, 27600 UI de vitamine A, 3400 de vitamine D, 425 UI de vitamine E. Cette ration n’apporte pas suffisamment de cuivre (manque 47 mg), de zinc (manque 238.85 mg), de vitamine A (manque 27 600 UI), de vitamine D (manque 3400 UI) et de vitamine E (manque 425 UI).

Le rapport phosphocalcique est de 0,5 ; ce qui est un déséquilibre important. De plus, cette ration manque de calcium (6,8 g). Il faudra donc apporter un complément en calcium.

Le rapport Cu/Zn est de 0,18 ; il y a donc un bon équilibre entre la quantité de cuivre et de zinc présents au sein de cette ration.

Cette ration a donc besoin d’être enrichies en calcium, en cuivre, en zinc et en vitamines A, D et E.

#### **4. Choix théorique de l’AMV en fonction de la région**

Nous nous intéresserons au rapport phosphocalcique, à la quantité de cuivre, de zinc, de fer, de cobalt, d’iode, de sélénium, de manganèse et des vitamines A, D et E. Nous estimons que ce cheval dispose d’une pierre à sel lui apportant les quantités de sodium et de chlore nécessaire à son organisme. De même, nous ne nous intéresserons pas au potassium car il est très largement apporté dans l’alimentation du cheval et ne présente aucune toxicité. Quant au magnésium, les excès sont rares et se rencontrent uniquement lors d’apport excessif en calcium et phosphore, nous n’en tiendrons pas compte dans la suite de cette étude.

Les vitamines B12 et l’acide folique ne présentent pas de carence chez le cheval, nous nous n’en occuperons pas. De même pour l’acide pantothénique, la niacine, la riboflavine, la pyridoxine, la choline, l’acide pangamique et la biotine. Les vitamines hydrosolubles B ne sont pas stockées, elles sont éliminées via l’urine si elles sont introduites en excès, c’est pourquoi nous ne nous intéresserons pas à leur apports par les AMV. Les apports recommandés en vitamine C et la quantité présente au sein de l’alimentation du cheval ne sont pas connues. De plus, aucune toxicité de la vitamine C n’est connue. Aucune carence alimentaire, ni de toxicité existe chez le cheval pour la vitamine K. Pour l’ensemble de ces raisons nous ne nous intéresserons pas aux vitamines K, C et B.

a) En pâture en Normandie

Les déficits en minéraux et vitamines de la ration déterminés, en fonction de la région rencontrée et du type de fourrage choisit pour un cheval à l'entretien de 500 kg, choisissons un AMV.

Pour un animal pâturant en Normandie au mois de mai, il lui faut un AMV qui puisse apporter 40,75 mg de cuivre, 155 mg de zinc, 3175 UI de vitamine D et 297,5 UI de vitamine E.

Déterminons quels aliments minéraux et vitaminés correspondent au mieux à cette ration en termes de vitamines mais aussi en fonction du prix.

i. En complétant la ration avec l'AMV « Bonutron activ »

Calculons la quantité d'AMV « Bonutron activ » à apporter à cette ration. Cet AMV apporte pour un kilogramme de complément : 80 g de calcium, 45 g de phosphore, 5 g de magnésium, 1800 mg de cuivre, 4000 mg de zinc, 2000 mg de manganèse, 5000 mg de fer, 20 mg de cobalt, 40 mg d'iode, 700 000 UI de vitamine A, 50 000 UI de vitamine D et 2500 UI de vitamine E.

Or dans cette ration, il manque 40,75 mg de cuivre, 155 mg de zinc, 22,5 mg de vitamine B1, 3175 UI de vitamine D et 297,5 UI de vitamine E. Nous calculons ensuite la quantité d'AMV nécessaire dans le cas où l'on veut couvrir le manque en cuivre seul, dans un deuxième cas lorsque l'on veut couvrir le manque en zinc seul, dans un troisième cas lors du couvrement du manque en vitamine D seul et enfin dans le cas où l'on couvre le manque en vitamine E.

Prenons l'exemple du comblement du déficit en vitamine D de cette ration. On sait qu'un kilogramme d'AMV apporte 50 000 UI de vitamine D. Nous cherchons à déterminer quelle quantité d'AMV, nommée x, est-il nécessaire d'apporter pour pallier au déficit de 3175 UI de vitamine D.

1000 g d'AMV	50 000 UI de vitamine D
x	3175 UI de vitamine D

On applique un produit en croix,  $x = (3175 \times 1000)/50\ 000 = 64$  g d'AMV, il faut donc 64 g d'AMV pour pallier le déficit en vitamine D de la ration. On réalise le même calcul pour les autres déficits et on obtient :

- Si l'on se base sur le comblement du déficit en vitamine E, il faut 119 g de cet AMV
- Si l'on se base sur le comblement du déficit en cuivre, il faut 23 g de cet AMV
- Si l'on se base sur le comblement du déficit en zinc, il faut 39 g de cet AMV

Nous choisissons la quantité permettant à la fois de couvrir le manque en cuivre, en zinc, en vitamine D et en vitamine E de cette ration et cela correspond à la quantité la plus élevée de ces 4 résultats. Pour cet AMV, la quantité à choisir est de 119 g.

Cela apporte :

- Rapport phosphocalcique : 1,48 appartient à l'intervalle [1 ; 2]
- Rapport Cuivre/Zinc : 0,29 > 0,25
- Quantité de cuivre apportée au total (ration + AMV) : 139,7 mg > 85 mg

- Quantité de zinc apportée au total (ration + AMV) : 482,0 mg > 425 mg
- Quantité de manganèse apportée au total (ration + AMV) : 1216,0 mg > 340 mg
- Quantité de fer apportée au total (ration + AMV) : 265,0 mg < 425 mg
- Quantité de cobalt apportée au total (ration + AMV) : 1,1 mg < 1,7 mg
- Quantité d'iode apportée au total (ration + AMV) : 2,1 mg > 1,7 mg
- Quantité de calcium apportée au total (ration + AMV) : 42,4 g > 20g
- Quantité de phosphore apportée au total (ration + AMV) : 28,5 g > 14g
- Quantité de vitamine B1 apportée au total (ration + AMV) : 47,6 mg > 22,5 mg

Cet AMV permet d'obtenir un rapport phosphocalcique satisfaisant, en revanche le rapport cuivre/zinc est déséquilibré. Celui-ci doit être aux alentours de 0,2 (intervalle [0,15 ; 0,25]). Si nous utilisons cet AMV nous induirons un excès de cuivre par rapport au zinc et cela provoquera une carence en cuivre. Pour cette raison, nous ne retiendrons pas cet AMV pour cette ration.

ii. Liste des AMV possibles avec cette ration

Nous appliquons cette même méthode, à l'ensemble des AMV présents dans les deux listes précédentes et nous obtenons la liste suivante.

Par souci de simplification, nous nommons les AMV suivants :

- 1 : Bonutron racing du laboratoire Audevard
- 2 : Bonutron sport du laboratoire Audevard
- 3 : Bonutron yearling du laboratoire Audevard
- 4 : Gemüse kraüter mineralien de St Hippolyt
- 5 : Performance vits and mins de Dodson and Horell
- 6 : Mineral performance de Reverdy
- 7 : Multivital-konzentrat de Marstall-force

**Tableau XLVI:** Tableau regroupant les AMV disponibles pour une ration composée d'herbe pâturée en Normandie un 25 mai.

Quantités cumulées AMV + ration	AMV disponibles (du DMV)			AMV disponibles (Du commerce)				Dose maximale tolérable pour ce cheval en minéraux et vitamines
	1	2	3	4	5	6	7	
Quantité à donner (g/jour)	50	53	50	106	50	47	160	< 1 kg
Vitamine A (UI)	247500	192800	192500	216120	211500	211000	264300	< 2760000 UI
Vitamine D (UI)	3425	3405	3425	3405	3425	3515	3425	22 000 UI
Vitamine E (UI)	1828	1718	628	658	6097	645	1680	< 7500 UI
Ca/P	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	Entre 1 et 2
Cu/Zn	0,22	0,24	0,24	0,22	0,24	0,25	0,15	Entre 0,15 et 0,25
Cu (mg)	168,3	176,5	163,3	118,3	103,8	103,2	155,4	1875 mg
Zn (mg)	766,1	746,3	666,9	534,6	428,8	419,7	1063,8	500 000 mg
Mn (mg)	1234,0	1348,1	1328,3	1226,4	1129,8	1178	1427,5	3000 mg
I (mg)	5	4,2	4,5	3,2	0,8	0,8	2,7	< 20 mg
Se (mg)	3,5	2,65	2,25	0,795	0,8	2,58	0,705	< 20 mg
Prix (€/jour)	2,7	1,15	0,96	0,40	0,35	0,19	0,27	-

Nous ne connaissons en général pas les apports en iode et sélénium des fourrages. Si ces derniers ne sont pas présents dans la ration, les AMV permettant de compléter en cuivre, en zinc, en iode, en sélénium, en vitamine D et en vitamine E de cette ration sont : le numéro 1, le numéro 2 et le numéro 3. Le choix de l'AMV restant se déterminant à l'aide du prix, il convient de sélectionner le numéro 3 : Bonutron yearling.

**b) En pâture en Auvergne**

Une herbe pâturée en Auvergne au mois de mai apporte au cheval : 38,25 g de calcium, 20,25 g de phosphore, 17,25 de magnésium, 55,5 mg de cuivre, 360 mg de zinc, 117,5 mg de manganèse, 187 500 de vitamine A, 22,5 mg de vitamine B1, 225 UI de vitamine D et 127,5 UI de vitamine E. Il manque donc à cette herbe pâturée : 29,5 mg de cuivre, 65 mg de zinc, 3175 UI de vitamine D et 297,5 UI de vitamine E.

Grâce à la méthode détaillée précédemment, nous avons retenu les AMV présents dans le tableau ci-dessous.

Par souci de simplification, les AMV ont été numérotés :

- 1 : Bonutron racing du laboratoire Audevard
- 2 : Bonutron sport du laboratoire Audevard
- 3 : Bonutron stud du laboratoire Audevard
- 4 : Bonutron yearling du laboratoire Audevard
- 5 : Equistro megabase maintenance du laboratoire Vétuquinol
- 6 : Gemüse kraüter mineralien de St Hippolyt
- 7 : Performance vits and mins de Dodson and Horell
- 8 : Mineral élevage de Reverdy
- 9 : Mineral performance de Reverdy

**Tableau XLVII:** Tableau regroupant les AMV disponibles pour une ration composée d'herbe pâturée en Auvergne.

Quantités cumulées AMV + ration	AMV disponibles (issus du DMV)					AMV disponibles (issus du commerce)				Dose maximale tolérable pour ce cheval en minéraux et vitamines
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Quantité à donner (g/jour)	50	53	78	50	198	106	50	49	45	< 1 kg
Vitamine A (x100UI)	2475	1928	2421	1925	2271	2161,2	2115	2095,5	2100	<2760000 UI
Vitamine D (UI)	3425	3405	5217	3425	4185	3405	3425	3410	3375	22 000 UI
Vitamine E (UI)	1828	172	424	628	425	658	6098	569	623	< 7500 UI
Ca/P	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	Entre 1 et 2
Cu/Zn	0,21	0,22	0,24	0,23	0,24	0,21	0,22	0,25	0,22	Entre 0,15 et 0,25
Cu (mg)	179,5	187,8	251,2	174,6	119	129,6	115	153,2	114,5	1875 mg
Zn (mg)	856,1	836,3	1025,5	756,9	487	624,6	518,8	604,2	509,7	500 000 mg
Mn (mg)	1365,5	1355,6	1446,3	1335,8	1165,1	1233,9	1137,3	1264	1185,5	3000 mg
I (mg)	5	4,2	5,5	4,5	1,9	3,2	0,8	0,9	0,8	< 20 mg
Se (mg)	3,5	2,65	1,95	2,25	2,38	0,80	0,8	0,735	0,735	< 20 mg
Prix (€/jour)	1,16	1,16	1,5	0,96	1,72	0,40	0,35	0,20	0,19	-

L'ensemble de ces AMV complétés à la ration ne dépasse pas les doses maximales tolérables en minéraux et vitamines. Afin de préciser la sélection, intéressons-nous au complément de la ration par ces AMV en cuivre, zinc, iode, sélénium, vitamine D et vitamine

E, en estimant que les apports en iode et sélénium des fourrages soient nuls. Les AMV répondant à l'ensemble de ces critères sont les AMV numéro 1 et numéro 2.

c) **Ration foin de Normandie et orge**

Une ration composée de foin de Normandie et d'orge apporte au cheval : 21 g de calcium, 29,5 g de phosphore, 15,63 g de magnésium, 33,8 mg de cuivre, 189,15 mg de zinc, 1028,3 mg de manganèse, et aucunes vitamines A, D et E. Il manque donc à cette ration : 23,3 g de calcium, 51,2 mg de cuivre, 235,85 mg de zinc, 27 600 de vitamine A, 3400 UI de vitamine D et 425 UI de vitamine E.

Au sein de cette ration, nous avons besoin de 23,3 g de calcium, après calculs effectués selon la méthode précédente, nous avons obtenus des quantités d'AMV nécessaires supérieures à 1 kilogramme par jour et des apports en vitamine D supérieur à 22 000 UI (dose maximale tolérable). Le calcium étant le facteur limitant dans cette ration, nous décidons de l'apporter non par un AMV présents dans ces listes mais par du carbonate de calcium. Sachant que les sources composées de carbonate de calcium sont composées de 35-38% de calcium et de 2-4% de magnésium, à l'aide d'un calcul en produit en croix, il nous faut 61,3 à 66,6 g de carbonate de calcium en fonction de la quantité de calcium présente. Il nous reste donc à apporter dans cette ration : 51,2 mg de cuivre, 235,85 mg de zinc, 27 600 UI de vitamine A, 3400 UI de vitamine D et 425 UI de vitamine E.

Grâce à la méthode détaillée précédemment, nous avons retenus les AMV présents dans le tableau ci-dessous.

Par souci de simplification, les AMV sont classés par la numérotation suivante :

- 1 : Bonutron racing du laboratoire Audevard
- 2 : Gemüse kraüter mineralien de St Hippolyt
- 3 : Multivital konzentrat de Marstall-force

**Tableau XLVIII:** Tableau regroupant les AMV disponibles pour une ration composée de foin de Normandie et d'orge.

Quantités cumulées AMV + ration	AMV disponible (issus du DMV)	AMV disponibles (issus du commerce)		Dose maximale tolérable pour ce cheval en minéraux et vitamines
	1	2	3	
Quantité à donner (g/jour)	53	113	170	< 1 kg
Vitamine A (UI)	63600	30510	81600	< 2760000 UI
Vitamine D (UI)	3392	3350	3400	22 000 UI
Vitamine E (UI)	1802	565	1649	< 7500 UI
Ca/P	1,5	1,5	1,5	Entre 1 et 2
Cu/Zn	0,23	0,24	0,15	Entre 0,15 et 0,25
Cu (mg)	166,6	113,1	152,8	1875 mg
Zn (mg)	720,4	472,5	1039,2	500 000 mg
Mn (mg)	1293,9	1153	1368,3	3000 mg
I (mg)	5,3	3,4	46,3	< 20 mg
Se (mg)	3,71	0,85	2,74	< 20 mg
Prix (€/jour)	1,58	0,43	0,29	-

L'ensemble de ces AMV complétés à la ration ne dépasse pas les doses maximales tolérables en minéraux et vitamines. Afin de préciser la sélection, intéressons-nous au complément de la ration par ces AMV en cuivre, zinc, iode, sélénium, vitamine D et vitamine E, en estimant que les apports en fer, cobalt, iode et sélénium des fourrages sont nuls. Les AMV 1 et 3 répondent à l'ensemble de ces critères.

**d) Ration composée de foin d'Auvergne et d'orge**

Une ration composée de foin d'Auvergne et d'orge apporte au cheval : 13,2 g de calcium, 27,7 g de phosphore, 13,7 g de magnésium, 38 mg de cuivre, 212,4 mg de zinc, 1154,9 mg de manganèse, et aucunes vitamines A, D et E. Il manque donc à cette ration : 28,35 g de calcium, 47 mg de cuivre, 212,6 mg de zinc, 21,55 mg de vitamine B1, 27 600 UI de vitamine A, 3400 UI de vitamine D et 425 UI de vitamine E.

Au sein de cette ration, nous avons besoin de 28,35 g de calcium, après calculs effectués selon la méthode précédente, nous avons obtenus des quantités d'AMV nécessaires supérieures à 1 kilogramme par jour et des apports en vitamine D supérieur à 22 000 UI (dose maximale tolérable). Le calcium étant le facteur limitant dans cette ration, nous décidons de l'apporter non par un AMV présents dans ces listes mais par du carbonate de calcium. Sachant que les sources composées de carbonate de calcium sont composées de 35-38% de calcium et de 2-4% de magnésium, il nous faut donc 74,6 à 81,0 g de carbonate de calcium en fonction de la quantité de calcium présente. Il nous reste donc à apporter dans cette ration : 47

mg de cuivre, 212,6 mg de zinc, 27 600 de vitamine A, 3400 UI de vitamine D et 425 UI de vitamine E.

Grâce à la méthode détaillée précédemment, nous avons retenus les AMV présents dans le tableau ci-dessous.

Par souci de simplification, les AMV sont rangés par numéro :

- 1 : Bonutron racing du laboratoire Audevard
- 2 : Gemüse kraüter mineralien de St Hippolyt

**Tableau XLIX:** Tableau regroupant les AMV disponibles pour une ration composée de foin d'Auvergne et d'orge.

Quantités cumulées AMV + ration	AMV disponible (issu du DMV)	AMV disponible (issu du commerce)	Dose maximale tolérable pour ce cheval en minéraux et vitamines
	1	2	
Quantité à donner (g/jour)	170	113	< 1 kg
Vitamine A (UI)	63 600	30 510	< 2760000 UI
Vitamine D (UI)	3392	3390	22 000 UI
Vitamine E (UI)	1802	565	< 7500 UI
Ca/P	1,5	1,5	Entre 1 et 2
Cu/Zn	0,23	0,24	Entre 0,15 et 0,25
Cu (mg)	170,8	117,3	1875 mg
Zn (mg)	743,7	495,7	500 000 mg
Mn (mg)	1420,5	1279,6	3000 mg
I (mg)	5,3	3,4	< 20 mg
Se (mg)	3,71	0,848	< 20 mg
Prix (€/jour)	1,24	0,43	-

L'ensemble de ces AMV complétés à la ration ne dépasse pas les doses maximales tolérables en minéraux et vitamines. Afin de préciser la sélection, intéressons-nous au complément de la ration par ces AMV en cuivre, zinc, iode, sélénium, vitamine D et vitamine E, en estimant que les apports en iode et sélénium des fourrages sont nuls. Seul l'AMV numéro 1 rassemble l'ensemble de ces critères. C'est donc l'AMV désigné pour cette ration.



## 5. Analyse de la ration au laboratoire

Dans la partie précédente, nous avons estimé les déficits en minéraux et vitamines de différentes rations, basé sur des tables de valeurs moyennes nutritives d'herbe pâturée et de foin en Normandie et en Auvergne. Mais cela reste une estimation car nous utilisons des valeurs moyennes et non les valeurs réelles des fourrages données aux équidés. Afin d'être au plus proche des quantités d'AMV à distribuer aux chevaux, il semble plus intéressant d'effectuer une analyse minérale et vitaminée de la ration de l'animal et plus précisément du fourrage utilisé. En effet, les céréales ont été largement étudiées et des valeurs nutritionnelles précises ont été déterminées. En revanche, les fourrages ne bénéficient pas de ce système car la valeur nutritionnelle d'un fourrage peut varier selon :

- la nature du sol,
- les conditions climatiques,
- la nature des espèces fourragères,
- le stade de récolte,
- les conditions de récolte,
- les conditions de conservation,

Autant de paramètres qui nous poussent à faire analyser le fourrage pour optimiser la ration.

### a) Analyse chimique

#### i. Prélèvement

Pour analyser le fourrage il faut réaliser un prélèvement. Celui-ci peut être réalisé au pâturage, au cours du stockage ou lors de la distribution. Afin que l'analyse soit représentative du lot, il est conseillé de faire une quinzaine de prélèvements par grappillage :

- Sur différentes zones de la parcelle en évitant les zones non consommées par le cheval
- Sur différentes bottes d'un lot : ouvrir 5 bottes au hasard et y prendre 3 poignées à 3 endroits différents, plutôt au cœur des bottes
- Utiliser une sonde de prélèvement bien aiguisée ou « à vilebrequin » ou à « perceuse électrique »

Une fois les échantillons prélevés, il faut les placer dans un récipient propre, les couper en brins fins et homogénéiser.

#### ii. Conditionnement

Une fois l'homogénéisation effectuée, reprendre entre 500 g et 1 kg du mélange selon le fourrage, soit environ 1 litre selon sa teneur en humidité (quantité nécessaire et suffisante pour l'analyse). Puis le conditionner dans des sacs fournis par le laboratoire sans tasser. Et enfin, il faut compléter consciencieusement une fiche par échantillon.

Les informations requises sur cette fiche sont les suivantes :

- Nom de l'exploitant/adresse de facturation
- Identification de l'échantillon de fourrage : nom de la parcelle, identifier le lieu précis de stockage (en marquant les balles analysées par un ruban rouge sur le lieu de stockage)
- Caractéristiques de la parcelle : type de prairie (naturelle ou temporaire), espèces végétales principales, pourcentage de légumineuses, numéro du cycle de végétation
- Analyse demandée : espèce à laquelle le fourrage est destiné (bovin ou équin)
- Analyses à effectuer : pourcentage de matière sèche (MS), de cellulose brute (CB) – digestibilité de la matière organique (dMO), énergie (UFC), matières azotées (MADC), matières minérales totales (phosphore, calcium, magnésium, potassium, sodium, cuivre, zinc, manganèse et fer)

iii. Envoi au laboratoire

L'envoi s'effectue par la poste ou bien par dépôt direct au laboratoire. Ce transfert doit être le plus rapide possible (surtout pour le fourrage vert, l'ensilage et l'enrubanné) pour limiter le risque d'échauffement et de fermentation. Pour l'herbe pâturée, il convient éventuellement de laisser sécher à l'air libre ou à une température inférieure stricte à 60 °C. Pour le foin, il n'y a pas de précaution particulière.

iv. Mode d'analyses

Il existe deux modes d'analyses de la composition chimique utilisés : l'analyse chimique et l'analyse infra-rouge. L'analyse chimique détermine la composition chimique de l'aliment afin d'en déduire la digestibilité de la matière organique et les valeurs nutritionnelles en découlant pour l'espèce animale considérée. C'est la méthode de référence offrant le maximum de précision mais c'est la plus onéreuse. Pour l'analyse infra-rouge, l'échantillon de fourrage est placé dans une chambre où il est traversé par un rayon infra-rouge. La lumière est diffractée par la matière, ce qui génère un spectre répercutant les différences de composition de la matière analysée. Le spectre est alors comparé à une base de données qui est régulièrement étalonnée par des analyses chimiques complémentaires. La composition chimique correspondante est alors déduite.

A partir de la composition chimique et en fonction des caractéristiques du fourrage (nature, espèces, cycle de végétation), des équations permettent de calculer les valeurs alimentaires pour l'espèce animale considérée.

v. Les résultats :

Le taux de matière sèche est obtenu en plaçant l'échantillon dans une étuve à 103 °C pendant quatre heures. On obtient ainsi un échantillon déshydraté. Puis on compare le poids initial et le poids final, on peut ainsi déterminer le pourcentage de matière sèche.

La cellulose brute est obtenue grâce à la méthode WEENDE qui permet de mesurer la quantité de glucides pariétaux (cellulose, lignine). Cette valeur détermine la digestibilité du fourrage. Plus elle est élevée, moins le fourrage est digestible. La technique de WEENDE distingue deux catégories de glucides : la fraction résistante à l'hydrolyse, appelée « cellulose de Weende » ou Cellulose Brute (CB), et l'extractif non azoté (ENA), fraction solubilisée calculée par différence  $ENA = MS - (MAT + MG + Mn + CB)$  ; MAT représente les matières azotées totales ou protéines brutes, MG les matières grasses et Mn les minéraux (cendres brutes). Cette méthode est ancienne et insatisfaisante pour évaluer l'utilisation des glucides alimentaires chez le cheval. Enfin, tous les types de glucides pariétaux sont confondus et sous-évalués (dissolution d'une partie des glucides pariétaux – pectines, gommes, mucilages, environ la moitié des hémicelluloses...). Ainsi, cette technique traduit essentiellement la notion de fibres insolubles et néglige beaucoup les fibres solubles. C'est malgré tout la méthode retenue car la seule légale actuellement.

Les matières azotées totales, sont obtenues grâce à une analyse chimique.

Les matières minérales sont obtenues par calcination de l'échantillon dans un four à 550°C pendant six heures. Les résidus (cendres) sont les matières minérales (voir partie D).

vi. Quel laboratoire ?

Il existe de nombreux laboratoires qui analysent les fourrages des animaux et en particuliers celui des chevaux. Il y a les laboratoires départementaux voire régionaux qui peuvent pour la plupart analyser les fourrages : le laboratoire CESAR, le laboratoire EVIALIS, etc.

Le délai d'obtention des résultats est de trois semaines à un mois pour la méthode chimique, d'une semaine pour la méthode infra-rouge (pour la matière sèche en laboratoire) ou immédiat en matière brute (analyseur portable infra-rouge).

Le tarif de l'analyse varie entre 30 à 50 € hors taxe (HT) et peut être dégressif en fonction du nombre d'analyses demandées. Le coût de cette analyse peut facilement être amorti par un meilleur ajustement de la ration en concentrés et en aliment minéral et vitaminé.

## C. Méthode de choix pratique d'un aliment minéral et vitaminé

La partie précédente correspond à la méthode idéale de choix d'un aliment minéral et vitaminé, elle est précise mais compliquée à réaliser. En effet, il faut analyser les composants de la ration puis les éventuels déficits afin de pouvoir choisir un AMV. Ce qui en clientèle est difficile à mettre en œuvre car, celle-ci attend très souvent du vétérinaire qu'elle le conseille et lui fournisse l'aliment complémentaire lors de son passage au sein de la clinique. De plus, l'analyse des fourrages est onéreuse et peut constituer un frein pour les propriétaires de chevaux. C'est pourquoi nous allons déterminer quelques points essentiels au bon choix d'un AMV pour un cheval de selle à l'entretien de 500 kg.

### 1. Etape numéro 1 : analyse du rapport phosphocalcique

Les rations distribuées aux équidés permettent rarement de satisfaire les apports recommandés compte tenu des teneurs des aliments en minéraux, en oligoéléments et en vitamines (voir annexes 1 à 18). Il faut donc compléter les rations par des aliments minéraux et vitaminés. Au préalable du choix d'un AMV, il faut déterminer les éventuels déséquilibres minéraux et vitamines de la ration, soit par une analyse précise, soit par une estimation à l'aide des tables de l'INRA 2011. Une fois les déséquilibres éventuels déterminés, on s'intéresse à la quantité de calcium présente dans la ration. Celle-ci peut-être soit excessive, soit déficitaire. Le phosphore n'étant pas en carence, seul sa participation dans le rapport phosphocalcique nous intéresse. A présent, étudions les trois cas cités précédemment.

#### a) Ration déficitaire en calcium

Une ration est déficitaire en calcium si la différence entre les apports recommandés et les apports réels est supérieure à 10% des apports recommandés en calcium. Dans ce cas, il faut calculer le rapport phosphocalcique des déficits et choisir un AMV dont le rapport Ca/P est très légèrement supérieur ou égal à ce rapport. Par exemple, prenons le cas d'une ration qui apporte 6 g de calcium et 10 g de phosphore. On sait que les apports recommandés pour un cheval de 500 kg à l'entretien sont de 20 g de calcium et de 14 g de phosphore. On détermine le rapport des déficits :

$$(Ca/P)_d = \frac{\text{Différence apports recommandés} - \text{apports réel de la ration pour le calcium}}{\text{Différence apports recommandés} - \text{apports réel de la ration pour le phosphore}} = \frac{(20-6)}{(14-10)} = 3,5$$

Ici, on doit choisir un AMV dont le rapport phosphocalcique est très légèrement supérieur ou égal à 3,5. On calcul ensuite la quantité d'AMV à apporter à la ration à l'aide de la fraction suivante :

$$\text{Quantité AMV à apporter} = \frac{\text{Déficit élément (calcium ou phosphore)}}{\text{Pourcentage de cet élément (calcium ou phosphore) dans l'AMV}}$$

Ce calcul est effectué pour le calcium et pour le phosphore, puis on choisit la quantité d'AMV la plus grande. Si la ration ne présente pas d'autres déséquilibres, nous choisissons un AMV possédant les caractéristiques présentées dans le tableau L.

L'INRA (2011) a déterminé des ordres de grandeurs de teneurs en minéraux et vitamines pour satisfaire les besoins recommandés pour tous les types de chevaux, y compris le cheval à l'entretien, elles sont résumées dans le tableau XXXIX.

**Tableau L:** Ordre de grandeur de la composition théorique de l'aliment minéral et vitaminé pour un cheval à l'entretien de 500 kg, sans déséquilibres de sa ration, d'après INRA 2011.

Teneurs	Quantité d'AMV distribuée par jour (g)			
	25	50	100	150
<b>Cuivre (mg/kg de MS)</b>	1600-4000	800-2000	400-1000	250-700
<b>Zinc (mg/kg de MS)</b>	7000-20 000	3500-10 000	1750-5000	1250-3300
<b>Manganèse (mg/kg de MS)</b>	0-8000	0-4000	0-2000	0-1300
<b>Iode (mg/kg de MS)</b>	54,4-95,2	27,2-47,6	13,6-23,8	9,1-16
<b>Sélénium (mg/kg de MS)</b>	54,4-95,2	27,2-47,6	13,6-23,8	9,1-16
<b>Vitamine A (UI/kg de MS)</b>	800 000- 3 000 000	400 000-1 500 000	200 000-750 000	130 000-500 000
<b>Vitamine D (UI/kg de MS)</b>	150 000- 600 000	75 000- 300 000	37 000-150 000	25 000-100 000
<b>Vitamine E (UI/kg de MS)</b>	13 600- 23 800	6800-11900	3400-6000	2300-4000

Le calcium, le phosphore, le cuivre, le zinc, le manganèse et les vitamines A et D ont été déterminés par l'INRA (2011). Pour l'iode, le sélénium et la vitamine E, nous les avons calculés. Pour cela, il suffit de connaître les apports recommandés en ces éléments pour un cheval à l'entretien puis de calculer ces apports si ceux-ci sont apportés à 80% ou à 140% des apports nécessaires. En effet, les apports en minéraux et vitamines sont tolérés si ceux-ci appartiennent à une fourchette comprise entre 80 et 140% des apports recommandés totaux. Il suffit ensuite d'effectuer un produit en croix pour obtenir les quantités nécessaires que doit apporter un AMV en ces éléments.

***b) Ration très peu déficitaire en calcium voire non déficitaire***

Une ration très peu voire non déficitaire en calcium est une ration dont la différence entre les apports recommandés et les apports réels en calcium est inférieure à 10%, soit inférieure à 2 g et si le rapport phosphocalcique de la ration est compris entre 1 et 2. Dans cette situation, il faut choisir un AMV dont le rapport phosphocalcique est proche de 1,5 et sélectionner un AMV dont les caractéristiques appartiennent au tableau L.

c) **Ration excédentaire en calcium**

Une ration excédentaire en calcium est une ration dont la différence entre les apports réels et les apports recommandés en calcium est supérieure à 10%. De plus, on doit vérifier que cet excédent ne dépasse pas 5 fois les apports recommandés en calcium, sinon il faut soit changer de ration, soit diminuer le temps de pâture du cheval.

On détermine le rapport phosphocalcique des excédents, si celui-ci est strictement supérieur à 2, c'est que la ration est trop riche en calcium par rapport au phosphore. Si celui-ci est compris entre 1 et 2, la ration est équilibrée en calcium et phosphore. On cherche alors un aliment minéral et vitaminé dont le rapport phosphocalcique est proche de l'intervalle [1 ;2[ , ainsi qu'une quantité d'AMV comprises entre 25 et 50 g, afin d'éviter un apport trop important en calcium. Pour ce qui est des autres minéraux, si ceux-ci sont apportés en quantités nécessaires et suffisantes, il suffit de consulter le tableau L et de sélectionner la colonne correspondante au poids d'AMV désigné. L'AMV sélectionné sera donc un complément alimentaire dont le rapport phosphocalcique est proche de 1, la quantité fournie sera faible et les caractéristiques des autres éléments appartenant à la colonne de la quantité d'AMV désignée du tableau L.

Si le rapport phosphocalcique des excédents appartient à l'intervalle [0 ;1[, la ration est déséquilibrée en calcium, il y a un surplus de phosphore, on risque alors de créer une hypocalcémie. Il faut sélectionner un AMV dont le rapport phosphocalcique est supérieur à 3 afin d'apporter plus de calcium que de phosphore dans la ration tout en limitant la quantité d'AMV à fournir aux environs de 25 à 50 g, car nous sommes dans une situation d'excès. Puis nous utilisons la même méthode que précédemment pour le choix des caractéristiques des autres éléments de l'AMV.

**2. Etape numéro 2 : rapport cuivre/zinc**

La méthode précédente permet de choisir un AMV grâce à son rapport phosphocalcique et d'en déterminer la quantité. Si la ration présente un déficit cuivre et/ou en zinc, il faut déterminer la quantité correspondante de ces éléments par kilogramme de matière sèche.

Prenons l'exemple d'une ration déficitaire en cuivre de 17 mg et en zinc de 100 mg, dont la quantité à apporter est de 25 g d'AMV suite à l'étape 1. Il faut donc un AMV qui apporte 17 mg de cuivre dans 25 g d'AMV, il suffit de ramener 25 g à 1000 g pour déterminer la valeur de cuivre pour un kilogramme de matière sèche à l'aide d'un produit en croix. Soit x la valeur en milligrammes de cuivre de l'AMV à sélectionner pour un kilogramme de matière sèche. On obtient le calcul suivant :

$$x = \frac{1000 \times 17}{25} = 680 \text{ mg de cuivre par kilogramme de MS}$$

On applique le même calcul pour le zinc et on obtient :

$$y = \frac{100 \times 1000}{25} = 4004 \text{ mg/kg de MS d'AMV}$$

On se reporte alors au tableau L et l'on voit que ses valeurs correspondent aux valeurs basses de la colonne des 50 g. On divise alors toutes les autres valeurs de cette colonne par deux afin de ne pas apporter en excès les autres éléments, ce qui nous permet d'obtenir une fourchette des caractéristiques de l'AMV de choix à sélectionner.

On vérifie ensuite le rapport des apports totaux en cuivre et zinc de la ration. Si le rapport cuivre/zinc appartient à l'intervalle [0,15 ; 0,25], la ration est bien équilibrée en cuivre et zinc.

Si ce rapport est supérieur à 0,25, la ration est excédentaire en cuivre, on cherche alors un AMV dont la quantité de cuivre est proche de la valeur basse de l'intervalle déterminé pour cet élément précédemment.

Si ce rapport est inférieur à 0,15, la ration est déficitaire en cuivre, on sélectionne un AMV dont la quantité de cuivre est proche de la valeur haute de l'intervalle déterminé précédemment pour cet élément.

### **3. Etape numéro 3 : autres minéraux et vitamines**

La quantité d'AMV à apporter dans la ration a été fixée par le rapport phosphocalcique, le rapport cuivre/zinc a été ajusté si besoin. Il reste à vérifier si la ration est déficitaire en autres minéraux et/ou en vitamines. Si la ration est équilibrée pour les autres minéraux et vitamines, on choisira un AMV dont les caractéristiques appartiendront au tableau L. Dans la suite de ce paragraphe, on estime que la quantité d'AMV a été déterminée ainsi que le rapport phosphocalcique de cet aliment complémentaire. Prenons l'exemple d'une quantité à distribuer d'AMV de 25 g.

#### **a) Manganèse**

Si la ration est déficitaire en manganèse, par exemple pour un cheval pâturant sur une herbe pâturée pauvre en manganèse, on sélectionne un AMV dont les caractéristiques en manganèse appartiennent aux valeurs hautes du tableau L. Dans la colonne 25 g, les valeurs de choix pour le manganèse sont comprises entre 0 et 8000 mg/kg de MS. Dans ce cas, on choisit un AMV dont les caractéristiques appartiennent plutôt aux valeurs proches de 8000 mg/kg de MS. Si la ration comporte une quantité de manganèse proche des apports recommandés, la caractéristique de l'AMV à choisir peut être comprise dans tout l'intervalle 0 à 8000 mg/kg de MS, car il n'existe pas de toxicité pour cet élément chez les équidés.

#### **b) Iode et sélénium**

Si dans la ration, l'iode et le sélénium sont manquants, on choisit un AMV dont les quantités en milligrammes par kilogramme de matière sèche en ces éléments sont dans les valeurs hautes de l'intervalle du tableau L, donc proches de 95,2 mg/kg de MS. En revanche, si les apports en sélénium et en iode de la ration sont proches des apports recommandés en ces éléments, on choisit un AMV dont les valeurs sont comprises dans l'intervalle 54,4-95,2 mg/kg de MS. En effet, même si la ration est complète en iode et sélénium et que l'on choisit

un AMV appartenant aux valeurs hautes de l'intervalle, nous sommes toujours en dessous du seuil de toxicité, qui est de 20 mg d'iode ou de sélénium totale dans la ration.

c) Vitamine A

Pour la vitamine A, si la ration est pauvre voire nulle en cet élément, on prend un AMV dont les valeurs en vitamine A par kilogramme de matière sèche appartiennent aux valeurs hautes, c'est-à-dire proches de 3 000 000 UI/kg de MS. Au contraire, si la ration apporte suffisamment de vitamine A, on choisit plutôt un AMV dont les valeurs en vitamine A appartiennent aux valeurs basses de l'intervalle de cet élément du tableau L, aux alentours de 800 000 UI/kg de MS. Cependant, même si l'on choisit les valeurs hautes dans ce cas, la valeur de toxicité n'est pas atteinte.

d) Vitamine D

En ce qui concerne la vitamine D, si la ration est pauvre en cette vitamine, on sélectionne un AMV dont les quantités en cet élément appartiennent aux valeurs hautes de l'intervalle du tableau L, c'est-à-dire proches de 600 000 UI/kg de MS. Si la ration est équilibrée en cet élément, on choisit un aliment minéral et vitaminé dont les quantités en vitamine D appartiennent aux valeurs du tableau L, entre 150 000 et 600 000 UI/kg de MS.

e) Vitamine E

Pour la vitamine E, si la ration est déficitaire, on complètera la ration avec un AMV dont les caractéristiques en cet élément sont proches des valeurs hautes de l'intervalle du tableau L, c'est-à-dire aux environs de 23 800 UI/kg de MS. Dans le cas contraire, il n'existe pas de toxicité en cet élément, on peut donc choisir aisément un AMV dont les valeurs en vitamine E appartiennent à l'intervalle de cet élément dans le tableau L, intervalle compris entre 13 600 et 23 800 UI/kg de MS.

Enfin, on vérifie que le rapport vitamine A/vitamine D est compris entre 5 et 10, ainsi que la quantité de vitamine A apportée. Celle-ci ne doit pas dépasser 16 000 UI/kg de MS, afin de ne pas créer une carence en vitamine E.



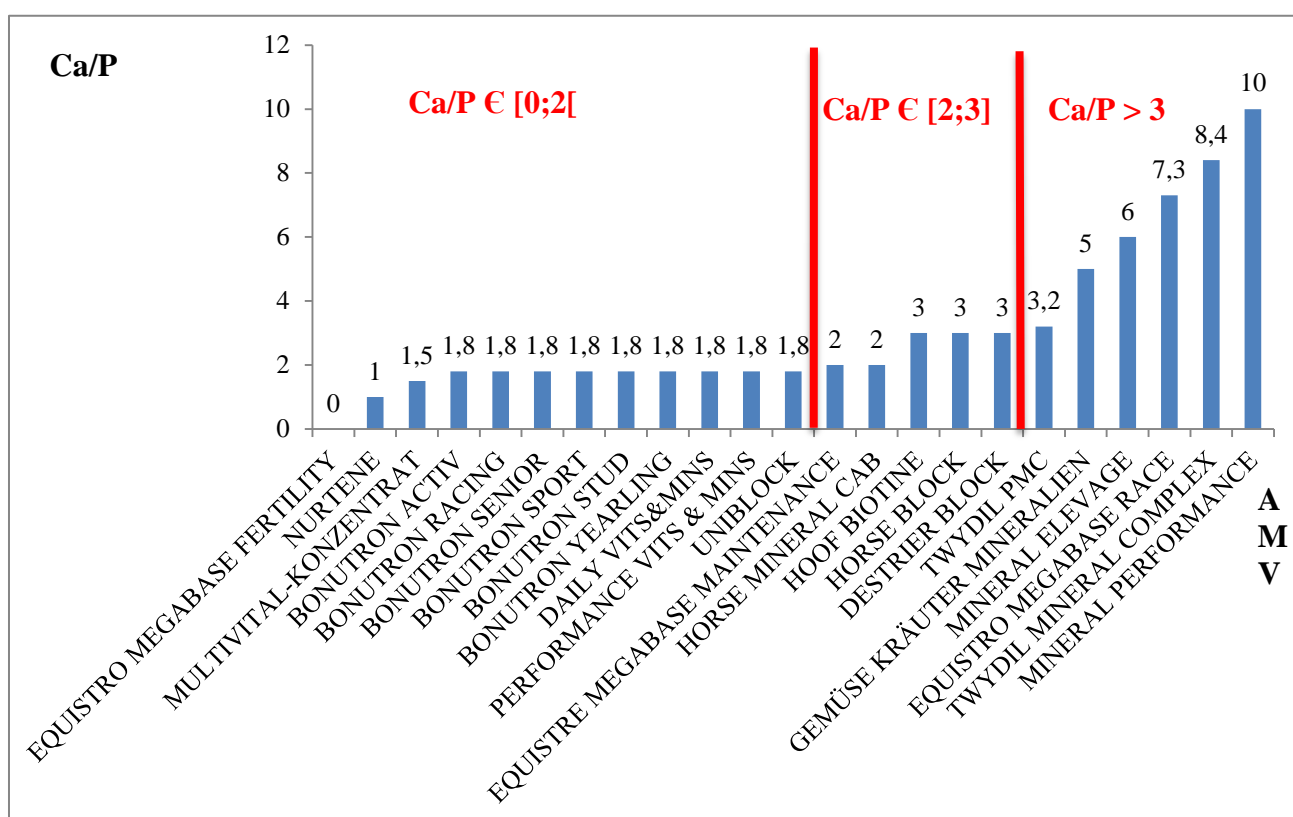
#### 4. Comparaison des AMV

L'ensemble des points précédents permettent de choisir les caractéristiques idéales d'un aliment minéral et vitaminé afin de respecter l'équilibre de la ration. Comparons à présent les AMV entre eux pour pouvoir les sélectionner plus aisément.

##### a) Rapport phosphocalcique

La méthode précédente permet de choisir dans un premier temps un AMV en fonction des rapports phosphocalciques. Voici donc un graphique répertoriant les AMV en fonction de ces rapports, tous AMV confondus, qu'ils soient directement vendus par les fabricants d'alimentation pour chevaux ou qu'ils soient inscrits dans le DMV.

**Graphique I:** Graphique représentant les AMV classés en fonction de leur rapport phosphocalcique.



On remarque que 74% des AMV possèdent un rapport phosphocalcique compris entre 1 et 3. Au sein de cet intervalle, 52% environ appartiennent à l'intervalle [0 ; 2], contre 22% compris entre 2 et 3. Nous utiliserons les AMV dont le rapport phosphocalcique est compris entre 0 et 2 lorsque nous serons dans une situation d'excédent en calcium afin d'apporter un peu plus de phosphore que de calcium.

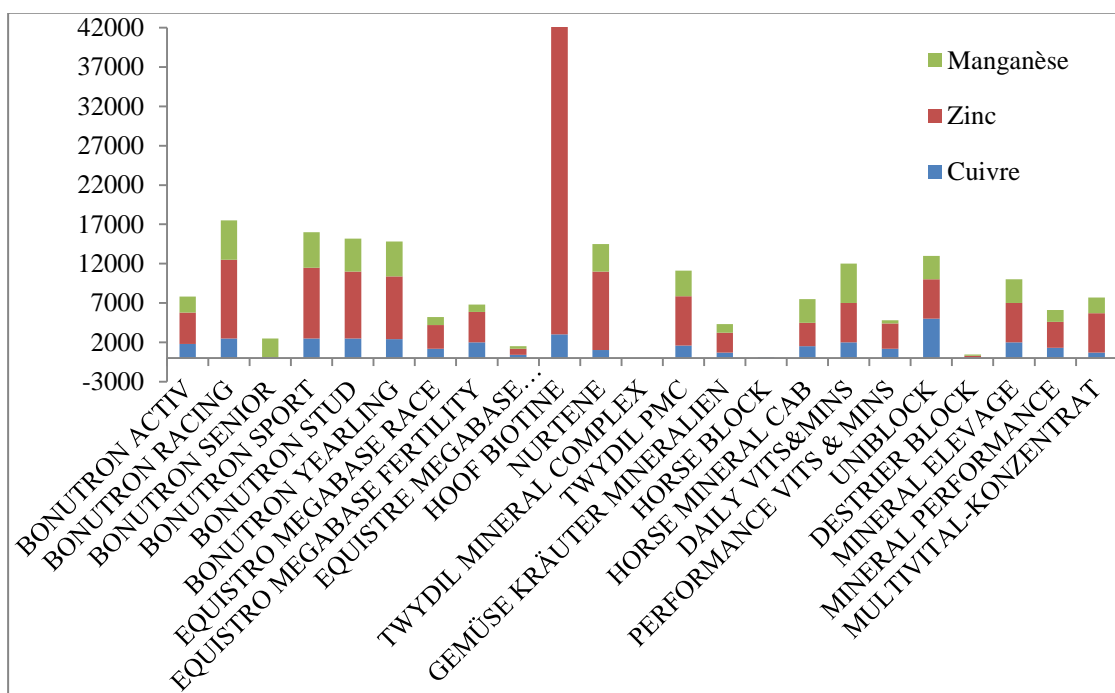
Ceux dont le rapport Ca/P est compris entre 2 et 3 sont à utiliser dans le cas où la ration est équilibrée où ayant un déficit léger en calcium (moins de 10% des apports recommandés).

Enfin, ceux qui disposent d'un rapport Ca/P sont à utiliser dans le cas d'un déficit important en calcium (supérieur à 10 % des apports recommandés en calcium) afin de rééquilibrer la ration sans ajouter un excès de phosphore.

**b) Quantité de cuivre, de zinc, d'iode, de sélénium et de manganèse**

Pour comparer les quantités en oligoéléments apportés par les AMV, nous avons évalué la contribution en pourcentage de chaque minéral par rapport au total de minéraux apportés par l'AMV. Par exemple pour l'AMV, bonutron senior il y a 100% de manganèse car celui-ci ne dispose pas de cuivre, ni de zinc. Le cuivre, le zinc et le manganèse étant de l'ordre du millier de milligrammes comparés à l'iode et le sélénium dont l'ordre est de la dizaine de milligrammes, nous avons effectués la comparaison de ces éléments en deux graphiques.

**Graphique II:** Graphique représentant les AMV classés en fonction des quantités de cuivre, zinc et manganèse présents au sein des différents AMV.



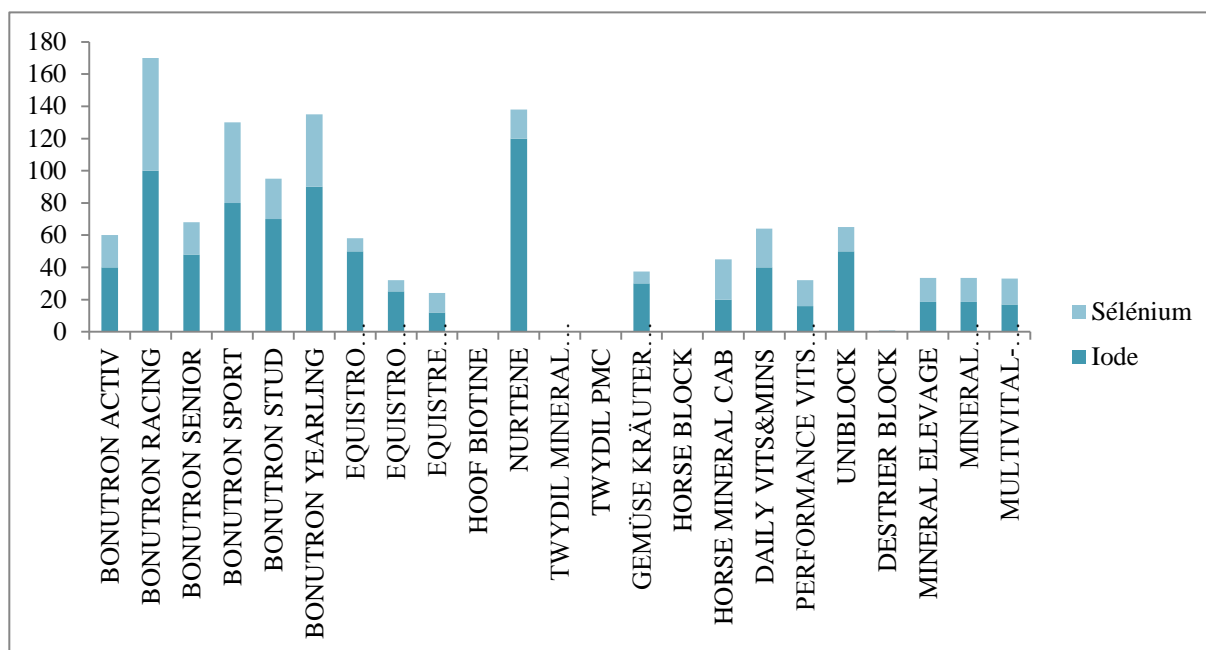
Ce graphique permet de distinguer parmi les AMV lesquels sont les plus riches en cuivre, zinc ou manganèse.

Les AMV contiennent en moyenne 1500 mg de cuivre, avec un minimum de 0 mg de cuivre pour Bonutro Senior et Twydil mineral complex et un maximum à 5000 mg de cuivre par kg de MS pour Uniblock. Les AMV les plus riches en cuivre sont : Hoof biotine avec 3000 mg de cuivre par kg de MS et Uniblock avec 5000 mg de cuivre par kg de MS. Les AMV les plus pauvres en cuivre mais en contenant quand même un minimum sont : Destrier Block avec 60 mg de cuivre par kg de MS et Horse Block avec 70 mg de cuivre par kg de MS.

La quantité moyenne de zinc présente dans les MV est de 6000 mg de zinc par kilogramme de MS, avec un minimum de 0 mg pour bonutron senior, twydil mineral complex et horse block et un maximum de 40 000 mg de zinc par kg de MS pour Hoof biotine. Les AMV enrichies en zinc sont : Hoof biotine, le bonutron racing et Nurtene.

La quantité moyenne de manganèse apportée par les AMV est de 2200 mg par kg de MS, avec un minium à 0 mg par kg de MS pour Hoof biotine, Twydil mineral complex et Horse block et un maximum de 5000 mg par kg de MS pour Daily vits & mins et Bonutron Racing.

**Graphique III:** Graphique représentant les AMV classés en fonction des quantités d'iode et de sélénium présents au sein des différents AMV.



De la même manière que pour le cuivre, le zinc et le manganèse, nous pouvons lire à l'aide du graphique III les AMV les plus riches en iode et en sélénium.

La quantité moyenne en iode présente au sein des AMV est de 37 mg par kilogramme de matière sèche, avec un minimum de 0 mg pour Twydil mineral complex, Twydil pmc, Horse block et Destrier block ; et un maximum de 120 mg pour Nurtene. Les AMV les plus riches en iode sont : Nurtene, Bonutron racing et Bonutron yearling.

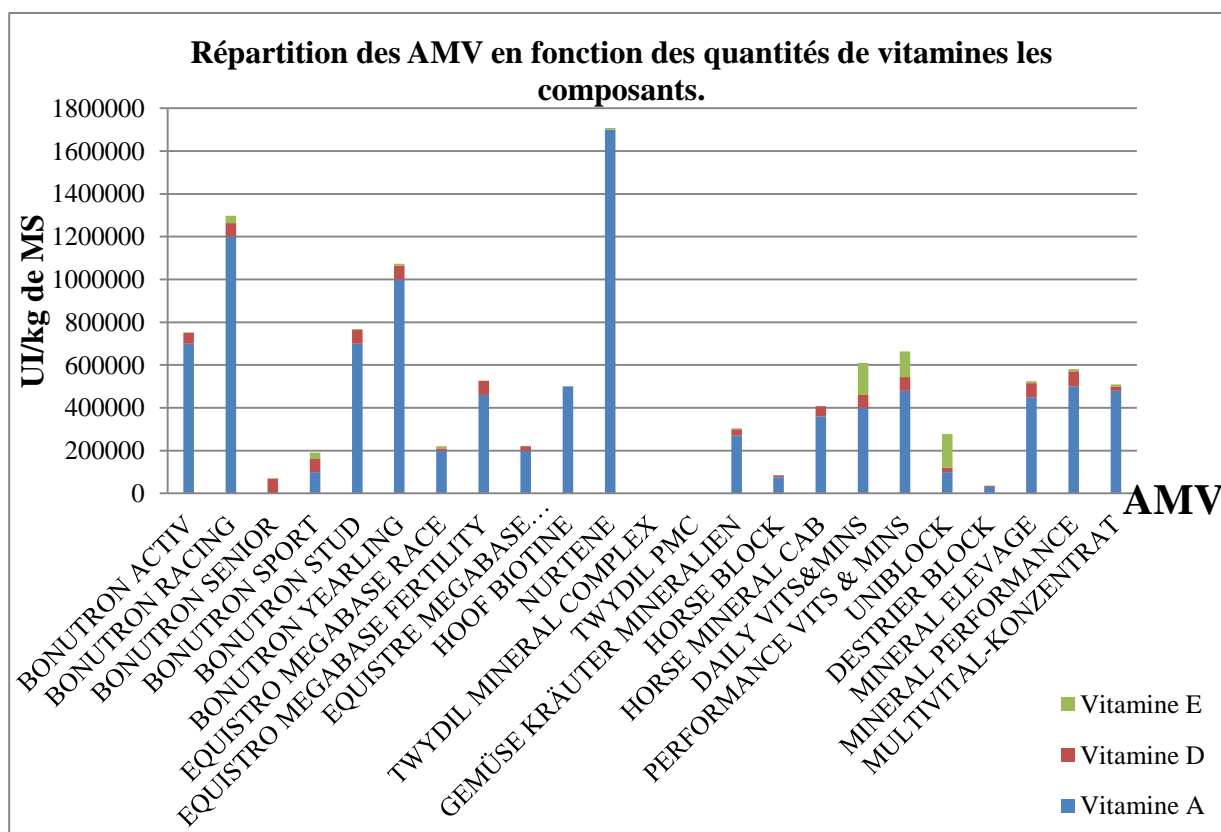
Les AMV disposent en moyenne d'un apport en sélénium de 18 mg par kilogramme e matière sèche avec un minimum de 0 mg pour Hoof biotine, Twydil mineral complex, Twydil

pmc et Horse block, et un maximum de 70 mg pour Bonutron racing. Les AMV les plus riches en sélénium sont : Bonutron racing, Bonutron sport et Bonutron yearling.

## 5. Quantité de vitamines

Intéressons-nous à la composition des AMV en fonction des quantités de vitamines les composants.

**Graphique IV:** Graphique représentant les AMV classés en fonction des quantités de vitamines présentes au sein des différents AMV.



La quantité moyenne en vitamine A présente au sein des AMV est de 430 000 UI/kg de MS, avec un minimum de 0 UI pour les AMV suivants : Bonutron senior, Twydil mineral complex et Twydil PMC; et un maximum de 1 700 000 UI pour Nurtene. Les AMV les plus riches en iode sont : Nurtene, Bonutron racing et Bonutron yearling.

Les AMV sont composés en moyenne de 37 000 UI/kg de MS de vitamine D, avec un minimum de 0 UI/kg de MS au sein des AMV suivants : Hoof biotine, Nurtene, Twydil mineral complex et Twydil PMC ; et un maximum de 70 000 UI/kg de MS pour Bonutron senior et Mineral elevation. Les aliments complémentaires les plus riches en vitamine D sont : Bonutron senior et Mineral élévation.

Les AMV les plus riches en vitamine E sont Daily vits and mins, Performance vits and mins et Uniblock. Les AMV qui ne sont pas composés de vitamine E sont : Hoof biotine,

Twydil mineral complex et Twydil PMC. La quantité moyenne de vitamine E rencontrée au sein des AMV est de 25 000 UI/kg de MS.

Grâce à la méthode décrite précédemment et les graphiques présentés, il devient plus facile de trouver l'AMV aux caractéristiques les plus proches de ce que l'on recherche pour une ration d'un équidé. Il est donc important de commencer par définir les déséquilibres éventuels de la ration. Puis dans un second temps, de déterminer le rapport phosphocalcique de l'AMV à choisir ainsi que de fixer une quantité d'AMV à apporter quotidiennement. Une fois ces deux premières étapes réalisées, il faut s'intéresser aux autres déséquilibres et choisir les caractéristiques idéales du futur AMV.

## CONCLUSION

L'alimentation des chevaux, qu'elle soit constituée de céréales associées à un fourrage, d'un aliment complet ou uniquement d'herbe pâturée, ne permet que très rarement d'apporter tous les minéraux et toutes les vitamines nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme des chevaux. C'est pourquoi il est essentiel de leur fournir un aliment minéral et vitaminé (AMV) en complément. Se pose alors la question de quel AMV choisir parmi la multitude de produits proposés dans le commerce. Le choix s'effectue en fonction du stade physiologique de l'animal (poulain, jument, cheval au travail), de la région de pâture et de la ration. Cependant déterminer quel AMV choisir en se basant sur le stade physiologique et la composition théorique de la pâture reste beaucoup moins précise que celle qui consiste en une analyse des aliments proposés (herbe pâturée, foin, ensilage...) dans la ration consommée par le cheval.

Dans ce travail, afin de choisir le bon AMV, il nous a semblé nécessaire de s'intéresser dans un premier temps aux apports recommandés en minéraux et vitamines en fonction du stade physiologique du cheval (poulain, jument en gestation, en lactation, cheval au travail). Dans un second temps, nous avons étudié les apports minéraux et vitaminés fournis à l'animal par sa ration. Pour cela, il est possible soit d'analyser la ration en envoyant des échantillons en laboratoire, soit d'estimer la composition théorique de la ration à l'aide des tables de valeurs nutritives déterminées par l'INRA. Suite aux résultats obtenus, nous avons établis une liste d'AMV les plus intéressants à utiliser en fonction de ces différents critères. Enfin la sélection de l'aliment minéral et vitaminé le plus adapté à l'équidé se détermine, soit à l'aide de la méthode théorique, soit avec la méthode pratique.

A ce jour, nous disposons d'une liste non exhaustive d'AMV disponibles nous permettant de compléter les rations des chevaux en bonne santé. Mais qu'en est-il pour les chevaux malades, carencés en certains minéraux ou vitamines, ou bien pour les chevaux qui travaillent de façon intensive (concours nationaux, internationaux...)? Dans une autre étude, il serait intéressant de s'attarder aux gammes diététiques et aux AMV type « électrolytes » pour les chevaux au travail pour répondre à cette question.

**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

**En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire**

Je soussignée, Nathalie PRIYMENKO, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **COQUEREL Charlotte** intitulée « **Le choix d'un aliment minéral et vitaminé chez le cheval.**» et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 29 septembre 2016  
Docteur Nathalie PRIYMENKO  
Enseignant chercheur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :  
La Directrice de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Isabelle CHMITELIN



Vu :  
Le Président du jury :  
Professeur Claude MOULIS



Melle COQUEREL Charlotte  
a été admis(e) sur concours en : 2011  
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 25/06/2015  
a validé son année d'approfondissement le : 13/07/2016  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

Vu et autorisation de l'impression :  
Président de l'Université  
Paul Sabatier  
Monsieur Jean-Pierre VINEL

Le Président de l'Université Paul Sabatier  
par délégation,  
La Vice-Présidente de la CFVU



Régine ANDRE-OBRECHT

## ANNEXES

**Annexe 1 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'une prairie cultivée avec du fétuque élevé.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>1<sup>er</sup></b>	Epi à 10 cm du sol	20,0	0,65	101	165	247	3,0	3,8	1,5
	Épiaison	20,9	0,56	60	111	295	2,7	3,3	1,5
<b>2<sup>ème</sup> après coupe épiaison</b>	Repousses feuillues à 5 semaines	20,8	0,64	98	161	256	4,1	4,8	2,0
<b>3<sup>ème</sup></b>	Repousses feuillues de 6 semaines	17,7	0,64	101	164	260	3,4	5,7	2,0

**Annexe 2 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'une prairie cultivée avec du dactyle.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>1<sup>er</sup></b>	Epi à 10 cm du sol	16,7	0,73	138	210	233	3,4	3,8	1,6
	Début épiaison	16,3	0,68	97	159	256	2,3	2,9	1,6
<b>2<sup>ème</sup> après coupe épiaison</b>	Repousses feuillues à 5 semaines	20,5	0,62	106	166	290	3,0	5,2	1,8
<b>3<sup>ème</sup></b>	Repousses feuillues de 6 semaines	18,2	0,63	111	174	273	3,0	6,2	1,8

**Annexe 3 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'une prairie cultivée avec de la luzerne.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>1<sup>er</sup></b>	Bourgeonnement	17,6	0,63	131	193	299	2,7	16,1	1,5
	Floraison	21,7	0,55	113	168	333	2,3	16,1	1,5
<b>2<sup>ème</sup> après coupe épiaison</b>	Repousses à tiges de 5 semaines	19,3	0,66	154	222	286	2,7	14,6	2,0
<b>3<sup>ème</sup></b>	Repousses à tiges de 5 semaines	21,0	0,67	168	241	261	2,7	18,5	2,0
<b>4<sup>ème</sup></b>	Repousses à tiges de 5 semaines	19,1	0,68	178	259	207	2,7	18,0	2,0



**Annexe 4 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'une prairie cultivée avec du trèfle violet.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
1 <sup>er</sup>	Bourgeonnement	14,3	0,72	112	180	232	2,7	12,7	3,0
	Floraison	18,0	0,63	96	154	289	2,3	12,2	3,0
2 <sup>ème</sup> après coupe épiaison	Repousses à tiges de 6 semaines	16,4	0,71	132	205	219	2,7	13,7	3,5
3 <sup>ème</sup>	Repousses à tiges de 6 semaines	14,2	0,74	145	226	166	3,0	12,2	3,5

**Annexe 5 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un ensilage issu d'une prairie cultivée composée uniquement de dactyle.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
Préfané coupe fine	1 <sup>er</sup> cycle : début épiaison	33,5	0,61	79	163	270	2,3	2,7	1,4
	1 <sup>er</sup> cycle : fin épiaison	33,5	0,54	61	129	325	2,3	2,7	1,4
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison : repousses feuillues de 7 semaines	33,5	0,53	75	151	314	2,6	5,2	1,4
Mi-fané	1 <sup>er</sup> cycle : début épiaison	55,0	0,60	100	158	289	2,3	2,7	1,4
	1 <sup>er</sup> cycle : fin épiaison	55,0	0,52	73	122	333	2,3	2,7	1,4
	1 <sup>er</sup> cycle : début floraison	55,0	0,49	67	113	350	2,3	2,7	1,4
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison. Repousses feuillues de 7 semaines	55,0	0,52	92	145	324	2,6	5,2	1,4

Le stade de récolte optimal (stade pâteux, c'est-à-dire le stade où débute la maturité du maïs) est déterminé par l'état de maturité des épis, autrement dit des grains. Il est atteint lorsque la teneur en matière sèche des épis se situe entre 50 et 60%. A ce stade, les nutriments importants comme l'amidon ont atteint leur concentration maximale et la plante entière présente une teneur en MS située entre 30 et 35%.

Les avantages de récolter le maïs au stade pâteux sont : Avantages de récolter au stade pâteux sont:

- une bonne condition pour la fermentation lactique
- absence de « jus de fermentation »
- une bonne aptitude au tassement
- un rendement en énergie et digestibilité élevé
- une ingestion de MS maximale

Au stade vitreux, qui correspond au stade de maturité complète du maïs, contient plus 60% de matière sèche au sein des épis et plus de 35% de matière sèche dans la plante entière.

Le tableau ci-dessous représente la composition moyenne d'un ensilage issu d'une céréale plante entière, maïs.

**Annexe 6 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un ensilage issu d'une prairie cultivée composée de maïs plante entière.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>Conditions normales de végétation</b>	Hachage fin, sans conservateur, pâteux	30,0	0,87	29	69	205	1,8	2,0	1,2
	Hachage fin sans conservateur, vitreux	35,0	0,87	29	69	201	1,8	2,0	1,2
<b>Mauvaises conditions de végétation</b>	Hachage fin sans conservateur, sécheresse estivale, pauvre en épis	32,0	0,80	33	77	203	1,8	2,0	1,2

**Annexe 7 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie cultivée composée de fétuque élevée.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>Ventilé</b>	1 <sup>er</sup> cycle, une semaine avant début épiaison	85,0	0,57	74	135	273	2,7	2,7	2,5
	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,51	53	106	316	2,4	2,7	2,0
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines	85,0	0,54	69	128	296	2,9	3,5	1,7
<b>Fané au sol par beau temps</b>	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,51	56	106	316	2,4	2,7	2,0
	1 <sup>er</sup> cycle, floraison	85,0	0,42	46	92	348	2,2	2,7	1,5
	2 <sup>ème</sup> cycle après déprimage, repousses feuillues de 7 semaines	85,0	0,54	75	131	288	2,9	3,5	1,5
	2 <sup>ème</sup> cycle, après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines	85,0	0,53	72	128	296	2,9	3,5	1,7
<b>Fané au sol (&lt; 10 jours)</b>	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,49	52	101	336	2,4	2,7	2,0
	1 <sup>er</sup> cycle, floraison	85,0	0,40	42	87	366	2,2	2,7	1,0
	2 <sup>ème</sup> cycle après déprimage, repousses à tiges de 5 semaines	85,0	0,50	71	126	311	2,9	3,5	2,0
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines.	85,0	0,52	69	123	317	2,9	3,5	1,7

**Annexe 8 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie cultivée composée de dactyle.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
Ventilé	1 <sup>er</sup> cycle, une semaine avant début épiaison	85,0	0,65	114	185	275	2,4	2,7	3,0
	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,59	80	138	307	2,2	2,3	1,5
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines	85,0	0,54	80	139	323	2,4	3,9	1,5
Fané au sol par beau temps	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,59	80	138	307	2,2	2,3	1,5
	1 <sup>er</sup> cycle, floraison	85,0	0,45	46	93	357	1,9	1,9	1,5
	2 <sup>ème</sup> cycle après déprimage, repousses à tiges de 8 semaines	85,0	0,38	40	84	356	2,4	3,5	1,7
	2 <sup>ème</sup> cycle, après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines	85,0	0,54	80	139	323	2,4	3,9	1,5
Fané au sol (< 10 jours)	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,56	76	133	328	2,2	2,3	1,5
	1 <sup>er</sup> cycle, floraison	85,0	0,44	43	88	374	1,9	1,9	1,5
	2 <sup>ème</sup> cycle après déprimage, repousses à tiges de 8 semaines	85,0	0,37	36	79	373	2,4	3,5	1,7
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines.	85,0	0,51	77	134	343	2,4	3,9	1,5

**Annexe 9 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie cultivée composée de composée de luzerne.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
Ventilé	1 <sup>er</sup> cycle, début bourgeonnement	85,0	0,58	114	185	311	2,4	12,5	2,5
	1 <sup>er</sup> cycle, début floraison	85,0	0,53	104	171	338	2,4	12,5	2,5
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe bourgeonnement, repousses à tiges de 7 semaines	85,0	0,55	111	181	338	2,2	11,0	2,0
Fané au sol par beau temps	1 <sup>er</sup> cycle, bourgeonnement	85,0	0,54	106	174	351	2,4	12,5	2,5
	1 <sup>er</sup> cycle, floraison	85,0	0,49	98	163	374	2,2	12,5	2,5
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe bourgeonnement, repousses à tiges de 7 semaines	85,0	0,54	108	177	361	2,2	11,0	2,0

**Annexe 10 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie cultivée composée de composée de trèfle violet.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
Ventilé	1 <sup>er</sup> cycle, début bourgeonnement	85,0	0,62	111	180	245	2,7	10,3	2,0
	1 <sup>er</sup> cycle, début floraison	85,0	0,56	89	150	301	2,2	9,9	2,0
Fané au sol par beau temps	1 <sup>er</sup> cycle, bourgeonnement	85,0	0,53	101	167	280	2,4	9,9	2,0
	1 <sup>er</sup> cycle, floraison	85,0	0,49	82	141	337	2,2	9,5	2,0
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe bourgeonnement, repousses à tiges de 7 semaines	85,0	0,53	110	179	286	2,4	10,3	2,5

**Annexe 11:** Liste des valeurs nutritives moyenne d'une prairie cultivée avec du ray-grass d'Italie en non-alternatif, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
1 <sup>er</sup>	Epi à 10 cm du sol	15,8	0,78	97	168	450	3,0	4,3	1,4
	Epiaison	17,8	0,62	37	88	541	2,3	4,3	1,4
2 <sup>ème</sup> après coupe épiaison	Repousses à tiges de 6 semaines	17,6	0,61	91	150	276	3,0	4,8	1,4
3 <sup>ème</sup>	Repousses feuillues de 6 semaines	20,3	0,70	91	156	228	3,0	5,2	1,4

**Annexe 12 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'une prairie cultivée avec du Ray-grass anglais, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
1 <sup>er</sup>	Epi à 10 cm du sol	17,2	0,79	92	157	227	3,7	5,7	1,5
	Epiaison	19,8	0,63	40	87	305	2,7	5,2	1,5
2 <sup>ème</sup> après coupe épiaison	Repousses feuillues de 6 semaines	20,3	0,75	112	180	230	3,7	6,2	1,7
3 <sup>ème</sup>	Repousses feuillues de 6 semaines	16,6	0,70	108	173	244	4,1	6,2	1,7

**Annexe 13:** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un ensilage issu d'une prairie permanente en plaine, en Normandie, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>Préfané coupe fine</b>	1 <sup>er</sup> cycle : 25/05 début épiaison	33,5	0,62	66	141	285	3,2	6,3	2,2
	1 <sup>er</sup> cycle : 10/06 épiaison	33,5	0,56	55	120	324	3,1	5,7	2,2
	2 <sup>ème</sup> cycle après déprimage : repousses à tiges de 7 semaines	33,5	0,59	56	121	328	3,1	6,3	2,1
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison : repousses à tiges de 7 semaines	33,5	0,62	78	160	285	3,2	8,0	2,0
<b>Mi-fané</b>	1 <sup>er</sup> cycle : 25/05 début épiaison	55,0	0,60	80	134	301	3,2	6,3	2,2
	1 <sup>er</sup> cycle : 10/06 épiaison	55,0	0,53	64	112	332	3,1	5,7	2,2
	1 <sup>er</sup> cycle : 25/06 floraison	55,0	0,47	53	96	349	3,1	5,2	2,4
	2 <sup>ème</sup> cycle : repousses feuillues de 7 semaines	55,0	0,60	98	155	301	3,2	8,0	2,0

**Annexe 14:** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un ensilage issu d'une prairie permanente demi-montagne, en Auvergne, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MA T (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>Préfané coupe fine</b>	1 <sup>er</sup> cycle : 10/06 début épiaison	33,5	0,63	95	154	276	2,4	5,3	1,9
	1 <sup>er</sup> cycle : 25/06 épiaison	33,5	0,56	71	122	315	1,8	4,9	1,9
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison : repousses feuillues de 6 semaines	33,5	0,64	136	206	245	2,4	8,2	1,9
<b>Mi-fané</b>	1 <sup>er</sup> cycle : 10/06 début épiaison	55,0	0,61	72	149	293	2,4	5,3	1,9
	1 <sup>er</sup> cycle : 25/06 épiaison	55,0	0,53	51	114	325	1,8	4,9	1,9
	1 <sup>er</sup> cycle : 10/07 floraison	55,0	0,45	40	96	340	1,5	3,6	1,9
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison. Repousses feuillues de 6 semaines	55,0	0,62	107	205	268	2,4	8,2	1,9

**Annexe 15:** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un ensilage issu d'une prairie cultivée composée de ray-grass d'Italie non-alternatif, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
Préfané coupe fine	1 <sup>er</sup> cycle : début épiaison	33,5	0,63	47	117	254	2,6	4,6	1,3
	1 <sup>er</sup> cycle : fin épiaison	33,5	0,57	36	95	297	2,3	4,6	1,3
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison : repousses à tiges de 7 semaines	33,5	0,55	61	132	301	2,6	4,6	1,3
Mi-fané	1 <sup>er</sup> cycle : début épiaison	55,0	0,61	55	108	275	2,6	4,6	1,3
	1 <sup>er</sup> cycle : fin épiaison	55,0	0,54	39	85	310	2,3	4,6	1,3
	1 <sup>er</sup> cycle : début floraison	55,0	0,50	32	76	317	2,3	4,6	1,3
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison. Repousses à tiges de 7 semaines	55,0	0,52	74	125	314	2,6	4,6	1,3

**Annexe 16:** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un ensilage issu d'une prairie cultivée composée de ray-grass anglais, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
Préfané coupe fine	1 <sup>er</sup> cycle : début épiaison	33,5	0,62	51	117	304	2,8	5,8	1,4
	1 <sup>er</sup> cycle : fin épiaison	33,5	0,56	35	91	327	2,6	5,8	1,4
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison : repousses à tiges de 7 semaines	33,5	0,58	61	134	288	2,8	5,8	1,6
Mi-fané	1 <sup>er</sup> cycle : début épiaison	55,0	0,61	59	108	316	2,8	5,8	1,4
	1 <sup>er</sup> cycle : fin épiaison	55,0	0,54	38	81	335	2,6	5,8	1,4
	1 <sup>er</sup> cycle : début floraison	55,0	0,52	37	79	344	2,3	5,8	1,4
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison. Repousses à tiges de 7 semaines	55,0	0,57	74	127	303	2,8	5,8	1,6

**Annexe 17 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie cultivée, composée de Ray-grass d'Italie non-alternatif, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>Ventilé</b>	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,59	38	84	288	2,2	3,5	1,4
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses à tiges de 7 semaines	85,0	0,56	61	117	310	2,4	3,5	1,4
<b>Fané au sol par beau temps</b>	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,59	38	84	288	2,2	3,5	1,4
	1 <sup>er</sup> cycle, floraison	85,0	0,47	18	57	327	1,9	3,5	1,2
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses à tiges de 7 semaines	85,0	0,56	61	117	310	2,4	3,5	1,4
	3 <sup>ème</sup> cycle, repousses feuillues de 7 semaines	85,0	0,64	78	141	243	2,7	4,3	1,4
<b>Fané au sol (&lt; 10 jours)</b>	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,56	34	79	311	2,2	3,5	1,4
	1 <sup>er</sup> cycle, floraison	85,0	0,46	15	52	346	1,9	3,5	1,2
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses à tiges de 7 semaines.	85,0	0,54	57	112	331	2,4	3,5	1,4



**Annexe 18 :** Liste des valeurs nutritives moyennes d'un foin issu d'une prairie cultivée, composée de Ray-grass anglais, d'après INRA 2011.

Cycle		Composition analytique					Minéraux (g/kg de MS)		
		MS (%)	UFC	MADC (g/kg de MS)	MAT (%)	CB (g/kg de MS)	P	Ca	Mg
<b>Ventilé</b>	1 <sup>er</sup> cycle, une semaine avant début épiaison	85,0	0,65	58	113	302	2,7	4,3	1,5
	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,60	37	83	325	2,4	4,3	1,6
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses à tiges de 7 semaines	85,0	0,59	62	119	297	2,7	4,3	1,8
<b>Fané au sol par beau temps</b>	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,60	37	83	325	2,4	4,3	1,6
	1 <sup>er</sup> cycle, début de floraison	85,0	0,53	27	69	347	2,2	4,3	1,6
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses à tiges de 7 semaines	85,0	0,59	62	119	297	2,7	4,3	1,8
	2 <sup>ème</sup> cycle, repousses feuillues de 7 semaines	85,0	0,67	95	165	264	2,9	4,7	1,8
<b>Fané au sol (&lt; 10 jours)</b>	1 <sup>er</sup> cycle, épiaison	85,0	0,57	33	78	345	2,4	4,3	1,6
	1 <sup>er</sup> cycle, début floraison	85,0	0,52	23	64	365	2,2	4,3	1,6
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses à tiges de 7 semaines.	85,0	0,56	59	114	319	2,7	4,3	1,8
	2 <sup>ème</sup> cycle après coupe épiaison, repousses feuillues de 7 semaines.	85,0	0,63	92	160	288	2,9	4,7	1,8

## **BIBLIOGRAPHIE :**

1. SCHRYVER X, HINTZAND J, LOWE E. (1971). Calcium and phosphorus. Inter-relationships in horse nutrition. *Equine Veterinary Journal*, 3, 102–109.
2. MEACHAM VB(1984). A review of calcium, phosphorus magnesium metabolism in the horse. *Equine Veterinary Science*, 4, 210–214.
3. TORIBIO RE (2011). Disorders of calcium and phosphate metabolism in horses. *Veterinary Clinics of North America (Equine Practice)*, 27, 129-47.
4. MEYER H (1987). Nutrition of the equine athlete, *Equine Exercise Physiology 2*, ICEEP Publications, 644-673.
5. STEPHEN M, VAN METRE C (1999). Treatment of sodium balance disorders. *Veterinary Clinics of North America Food Animal Practice*, 15, 587-607.
6. KRONFELD DS (2001). Body fluids and exercise: replacement strategies. *Journal of Equine Veterinary Science*, 21, 368-375.
7. ROSE RJ (1990). Electrolytes: clinical application. *Veterinary clinics of North America: Equine Practice*, 6, 281-294.
8. SWEENEY RW (1999). Treatment of potassium balance disorders. *Veterinary Clinics of North America Food Animal Practice*, 15, 609-617.
9. JONES WE (2002). Magnesium. *Journal of Equine Veterinary Science*, 22, 410-411.
10. STEWART AJ (2011). Magnesium disorders in horses. *Veterinary clinics of North America: Equine Practice*, 27, 149-63.
11. FRAPE D. (2010). Equine nutrition and feeding. Fourth edition. UK : Wiley-Blackwell. Chapitres 3 et 4, 498 pages. ISBN: 978-1-4051-9546-1.
12. AGRESTE (2010). PRAIRIES PERMANENTES – Renouvellement, ministère de l’agriculture, 9 pages.
13. PAGAN JD (2005). Form of  $\alpha$ -tocopherol affects vitamin E bioavailability in Thoroughbred horses J, *Kentucky Equine Research*, 21, 101-102.
14. KANEKO J, HARVEY JW AND BRUSS ML (2008). Clinical biochemistry of domestic animals. Sixth edition. Elsevier. Chapitres 22 et 23, 896 pages. ISBN: 978-0-12-370491-7.
15. KUYPERS M (2003). L’alimentation en cuivre chez les équidés : implication dans la prévention des affections ostéo-articulaires du poulain. Thèse de doctorat vétérinaire, Alfort, numéro 45, 118 pages.

16. CYMBALUK NF, SMART ME (1993). A review of possible metabolic relationships of copper to equine bone disease. *Equine Veterinary Journal*, 25, 19-26.
17. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1989). Nutrient requirements of horses. Fifth Revised Edition. *National Academy of Sciences*, 100 pages.
18. AUER DE, SEAWRIGHT AA (1989). A suspected case of acute copper toxicity in a horse. *Australian Veterinary Journal*, 66, 191-192.
19. DE SIMONE EA, BOTTINI JM & AL (2013). Association between low serum zinc concentration and hypogammaglobulinemia in foals of different age categories, *Journal of Equine Veterinary Science*, 33, 401-405.
20. DEMANGEON N (2007). Iode, sélénium et antioxydants chez le cheval d'endurance : évaluation du statut sanguin et des facteurs de variation chez 54 chevaux d'endurance de haut niveau. Thèse de doctorat vétérinaire, Alfort, numéro 15, 151 pages.
21. LAVOIE JP (2000). Selenium deficiency abortion, *Journal of Equine Veterinary Science*, 20, 322.
22. LON D, LEWIS, WILLIAMS, WILKINS (1997). Selenium and vitamin E deficiencies, *Feeding and Care of the Horse*, second edition, chapitre 2, 400 pages, ISBN: 978-0683049671.
23. BELAINESH DESTA & AL (2011). Acute selenium toxicosis in polo ponies, *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 23, 623-628.
24. HUFF AN, MEACHAM TN (1984). Vitamin and mineral nutrition of the horse, *Journal of Equine Veterinary Science*, 4, 29-31.
25. HARPER F (1993). Broodmare may need extra vitamin A in winter, *Journal of Equine Veterinary Science*, 13, 659-660.
26. IRWIN LN, ROBBERSON JA, CROUCH G (1991). Hepatic vitamin A and carotene levels in the newborn foal, *Journal of Equine Veterinary Science*, 11, 278-280.
27. GREIWE-CRANDELL KM, KRONFELD DS, GAY LA, SKLAN D (1995). Seasonal vitamin A depletion in grazing horses is assessed better by the relative dose response test than by serum retinol concentration, *Journal nutrition*, 125, 2711-2716.
28. RALSTON SL, RICH GA, JACKSON S, SQUIRES EL (1986). The effect of vitamin a supplementation on seminal characteristics and vitamin a absorption in stallions, *Journal of Equine Veterinary Science*, 6, 203-207.
29. HYMOLLER L, KROGH JENSEN S (2015). We Know Next to Nothing About Vitamin D in Horses!, *Journal of Equine Veterinary Science*, 35, 785-792.
30. HARMEYER J, SCHLUMBOHM C. (2004). Effects of pharmacological doses of Vitamin D3 on mineral balance and profiles of plasma Vitamin D3 metabolites in horses, *The journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 89-90, 595-600.

31. GEE EK, BRUEMMER JE, SICILIANO PD, MOREL PCH, ENGLE TE, SQUIRES EL (2009). The Influence of Dietary Vitamin E on Serum Vitamin E and Fatty Acids, and Spermatozoa Fatty Acids in Stallions, *Journal of Equine Veterinary Science*, 29, 334-336.
32. PIDOU E (2010). La vitamine E chez le cheval : Synthèse bibliographique, Thèse de doctorat vétérinaire, Toulouse, 109 pages.
33. DE LA RUA-DOME'NEC'H R & AL (1997). Association between plasma vitamin E concentration and the risk of equine motor neuron disease, *The Veterinary Journal*, 154, 202-213.
34. BARIGYE R, DYER NW, NEWELL TK (2007). Fatal Myocardial Degeneration in an Adult Quarter Horse with Vitamin E Deficiency, *Journal of Equine Veterinary Science*, 27, 405-408.
35. VERDONCK F, MERLEVEDE I, GODDEERIS BM, DEPREZ P, COX E. (2007). Vitamin E deficiency and decreased serum immunoglobulin concentrations in a population of donkeys, *Veterinary Record*, 160, 232-233.
36. PIERCY RJ, HINCHCLIFF KW & REED SM (2002). Folate deficiency during treatment with orally administered folic acid, sulfadiazine and pyrimethamine in a horse with suspected equine protozoal myeloencephalitis, *Journal of Equine Veterinary Science*, 29, 311-316.
37. KEMPSON SA (1987). Scanning electron microscope observations of hoof horn from horses with brittle feet, *Veterinary Record*, 120, 568-570.
38. SKINNER JE, CAWDELL-SMITH AJ, REGTOP HL, TALBOT AM, BIFFIN JR, BRYDEN WL (2015). Extent of vitamin K absorption from the equine hindgut, *Journal of Equine Veterinary Science*, 35, 409.
39. PHILIPPART M-A (2007). Les troubles neurologiques d'origine métabolique chez le cheval d'endurance, Thèse de doctorat vétérinaire, Alfort, 149 pages.
40. LAKRITZ J, MADIGAN J, CARLSON GP. (1992) Hypovolemic hyponatremia and signs of neurologic disease associated with diarrhea in a foal. *J Am Vet Med Assoc*, 200, 1114-1116.
41. LANGLOIS C (2006). Développement de troubles métaboliques chez les chevaux d'endurance lors de courses de longue distance : étude épidémiologique sur les épreuves françaises en 2003, Alfort, 117 pages.
42. MARTIN-ROSSET W (2011). Nutrition et alimentation du cheval. Nouvelles recommandations alimentaires de l'INRA. Versailles Cedex, France : Editions Quae. Chapitres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12 et 13, 624 pages. ISBN : 978-2-7592-1668-0.
43. LAWRENCE LM, CYMBALUK N & al (2007). Nutrition requirements of horses. Sixth revised edition. United States of America : National research council. Chapitres 5 et 6, 341 pages. ISBN: 978-0309102124.

44. AFFSA (2002). Evaluation des besoins nutritionnels des animaux en vitamines A, D et E ainsi que des risques pour la santé animale et la santé du consommateur, liés à des apports élevés chez les animaux producteurs d'aliments. 77 pages.
45. AUBRY M (2013). Détermination de la teneur en cendres brutes dans les aliments pour animaux, Agence fédérale pour la sécurité de la Chaîne alimentaire, 5 pages.
46. COMMISSARIAT GENERAL DU DEVELOPPEMENT DURABLE (2013). Les prairies permanentes : évolution des surfaces en France. Analyse à travers le registre parcellaire graphique, Ministère de l'Ecologie, du développement durable et de l'Energie, 18 pages.
47. PIRHOFER-WALZL K & AL (2011). Forage herbs improve mineral composition of grassland herbage, *Grass and Forage Science*, 66, 415-423.
48. LUKAČ B (2012). Importance of non-leguminous forbs in animal nutrition and their ensiling properties: a review, *Zemdirbystė=Agriculture*, 99, 3-8.
49. INA P-G (2003). Les prairies, Département AGER, AgroParitech, 21 pages.
50. MARTIN-ROSSET W (1990). Base du rationnement, L'alimentation des chevaux, INRA, Paris, p 45-63.
51. LE COZ BUNEL N (2006). L'alimentation du cheval de concours complet d'équitation, Thèse de doctorat vétérinaire, Toulouse, 190 pages.
52. DEMARQUILLY C (1967). Valeur alimentaire des foins condensés, *Zootech*, 16, 307-321.
53. RICHARD E (2015). Maladies des chevaux, third edition, chapitre 3, pages, ISBN : 978-2-85557-350-2.
54. MARTIN & AL (1992). Milk and water intakes of foals sucking grazing mares, *Equine Veterinary Journal*, 24, 295-299.
55. HINTZ HF & AL (2000). Macrominerals-calcium, phosphorus and magnesium, *advanced Equine Nutrition*, 10, 121-131.
56. HINTZ HF and SCHRYVER X (1973). Magnesium, calcium, and phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of magnesium, *Journal Animal Science*, 37, 927-930.
57. SCHRYVER X and HINTZ HF (1971). Calcium metabolism in ponies fed a high phosphorus diet, *Journal of Nutrition*, 101, 259-264.
58. SCHRYVER X & AL (1987). Salt consumption and the effect of salt on mineral metabolism in horses, *The Cornell Veterinarian*, 77, 122-131.
59. SWARTZMAN & AL (1978). Inhibition of calcium absorption in ponies fed diets containing oxalic acid, *American journal of veterinary research*, 39, 1621-1623.
60. STURGEON LS & AL (2000). The digestibility and mineral availability of matua, bermudagrass, and alfalfa hay in mature horses, *Journal of Equine Veterinary Science*, 20, 45-48.

61. LOPEZ & AL (2006). Fractionation of calcium and magnesium in equine serum, *American journal of veterinary research*, 67, 463-466.
62. GARCIA-LOPEZ & AL (2001). Prevalence and prognostic importance of hypomagnesemia and hypocalcemia in horses that have colic surgery, *American journal of veterinary research*, 62, 7-12.
63. BARLET & AL (1995). Physiologie de l'absorption intestinale du phosphore chez l'animal, *Reproduction Nutrition Development*, 35, 475-489.
64. SCHRYVER X & AL (1971). Phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of phosphorus, *Journal of Nutrition*, 101, 1257-1263.
65. CYMBALUK NF & AL (1990). Cold housing effects on growth and nutrient demand of young horses, *Journal of animal science*, 68, 3152-3162.
66. STADERMANN & AL (1992). Calcium and magnesium absorption with roughage or mixed feed, *Pferderheilkunde*, 1, 77-80.
67. KAPUSNIAK LJ & AL (1988). Calcium, magnesium and phosphorus absorption from the small and large intestine of ponies fed elevated amounts of aluminum, *Journal of Equine Veterinary Science*, 8, 305-309.
68. CORKE MJ (1981). An outbreak of sulphur poisoning in horses, *Veterinary Record*, 109, 212-213.
69. MULLANEY TP & al (1988). Iron toxicity in neonatal foals, *Equine Veterinary Journal*, 20, 119-124.
70. HUDSON C & AL (2001). Effects of exercise training on the digestibility and requirements of copper, zinc and manganese in thoroughbred horses, *16th Equine Nutr. and Physiol. Soc. Symp.*, 68, 138-140.
71. PARAGON BM (1995). Alimentation minérale des animaux domestiques. Thèse de doctorat vétérinaire, Alfort, 66 pages.
72. CYMBALUK NF & AL (1981). Influence of dietary molybdenum on copper metabolism in ponies, *Journal of Nutrition*, 111, 96-106.
73. WAGNER EL & AL (2005). Absorption and retention of trace minerals in adult horses, *The Professional Animal Scientist*, 21, 207-211.
74. KRONFELD DS & AL (1990). Dietary aspects of developmental orthopedic disease in young horses, *Equine Practice*, 6, 451-465.
75. ANDRIS J (1996). Developmental Orthopedic Disease: joint and bone abnormalities of the growing horse, *New England Equine Medical and Surgical Center*, 6 pages.
76. HARRINGTON DD (1982). Acute vitamin D2 (ergocalciferol) toxicosis in horses: case report and experimental studies, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 180, 867-873.

77. MC DONALD GK (1980). Moldy sweetclover poisoning in a horse, *The Canadian Veterinary Journal*, 21, 250-251.
78. REBHUN WC (1984). Vitamin K3-induced renal toxicosis in the horse, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 184, 1237-1239.
79. CYMBALUK NF & AL (1978). Amprolium-induced thiamine deficiency in horses: clinical features, *American Journal of Veterinary Research*, 39, 255-261.
80. ORDAKOWSKI AL (2001). Folate status and supplementation in the horse, Thèse de doctorat en philosophie animal et des sciences avicoles, 144 pages.
81. AGAR C (2016). The use of nutritional supplements in dressage and eventing horses, *Veterinary Record*, 46, 30-31.
82. GEMMILL R & AL (2016). Factors affecting owners' choice of nutritional supplements for use in dressage and eventing horses, *Veterinary Record*, 46, 31-32.
83. LAVOIE JP & HINCHCLIFF (2009). Blackwell's Five-Minute Veterinary Consult: Equine, 2<sup>nd</sup> Edition. Chapitre 11, 912 pages. ISBN: 978-0-8138-1487-2.
84. ARRAMOUNET C (2011). Etude de la formation des urolithes chez le cheval et prévention par l'alimentation, Thèse de doctorat vétérinaire, Toulouse, 127 pages.
85. CUNHA TJ (1990). Horse feeding and nutrition, 2<sup>nd</sup> edition, chapitres 6 et 7, 445 pages. ISBN : 978-0121965617.
86. STRICKLAND K, SMITH F, WOODS M, MASON J. (1987). Dietary molybdenum as a putative copper antagonist in the horse, *Equine Veterinary Journal*, 19, 50-54.
87. LEFEVRE M (2002). Alimentation en zinc chez les équidés et implications dans les affections ostéo-articulaires juvéniles du poulain, Thèse de doctorat vétérinaire, Alfort, 96 pages.

NOM : COQUEREL

PRENOM : Charlotte

TITRE : LE CHOIX D'UN ALIMENT MINERAL ET VITAMINE CHEZ LE CHEVAL.

RESUME :

La complémentation en aliment minéral et vitaminé (AMV) des équidés est rendue complexe par la diversité et le nombre de références accessibles aux particuliers et aux professionnels. On peut déjà éliminer un certain nombre de produits par la définition légale d'un AMV, qui stipule qu'un aliment complémentaire est dit « AMV » s'il contient un minimum de 40% de cendres brutes. On peut alors revoir les méthodes de calculs pour déterminer les apports recommandés en minéraux et vitamines des chevaux. Cette méthode se base sur les formules proposées par l'INRA. Les apports recommandés établis, deux méthodes nous permettent de choisir un AMV. La première dite « théorique », est précise pour chaque minéral et vitamine, mais complexe à réaliser. La seconde dite « pratique » basée sur les rapports en minéraux les plus souvent incriminés dans les carences et/ou toxicités chez l'équidé, est plus simple mais moins précise.

MOTS-CLES : aliment minéral et vitaminé, chevaux, aliment complémentaire, fourrage, prairie, minéraux, vitamines.

---

TITLE : VITAMIN-MINERAL PREMIX CHOICE IN HORSE.

ABSTRACT :

Dietary supplementation of minerals and vitamins in horse breeding is complicated by the diversity and the numbers of accessible references to private individual or professional. We already can remove some products thanks to the legal definition of a vitamin-mineral premix, which indicate that a supplement food is a vitamin-mineral premix if it's minimal composed by 40% crude ash. We can then review the calculating method to determinate recommended intakes of minerals and vitamins in horses. This method is based on formulas suggested by the INRA. Recommended intakes established, two methods permit to choose a vitamin-mineral premix. The first one, named "theoretical", is precise for each minerals and vitamins, but complex to achieve. The second one, named "practical", based on reporting in minerals most often responsible of deficiencies or toxicities in horses, is easier but less precise.

KEYWORDS : vitamin-mineral premix, horses, supplement food, forage, grassland, minerals, vitamins.