

Claude Jean-Blain



INTRODUCTION
À LA NUTRITION
DES ANIMAUX
DOMESTIQUES



Editions
TEC
& **DOC**

Table des matières

Avant-propos.....	1
--------------------------	----------

Chapitre 1 **Composition des aliments**

1. Généralités.....	5
2. Nutriments.....	6
2.1. Eau.....	6
2.1.1. Définitions – Eau et valeur nutritionnelle des aliments	6
2.1.2. Mesure du pourcentage d'humidité d'un aliment	7
2.1.3. Teneur en humidité des aliments.....	7
2.2. Glucides	8
2.2.1. Classification.....	8
2.2.2. Glucides pariétaux.....	8
2.2.3. Glucides cytoplasmiques.....	11
2.3. Lipides.....	14
2.3.1. Structure et propriétés	14
2.3.2. Dosage et répartition des lipides dans les aliments	16
2.4. Protides et matières azotées non protidiques	18
2.4.1. Nature des composés azotés des aliments	18
2.4.2. Dosage et répartition des matières azotées dans les aliments	19
2.5. Minéraux.....	20
2.5.1. Nature et classification	20
2.5.2. Dosage.....	22

2.5.3. Facteurs de variation de la teneur en minéraux des aliments	23
2.6. Vitamines	24
2.6.1. Nature et classification	24
2.6.2. Répartition des vitamines dans les aliments.....	26
3. Substances annexes intrinsèques et contaminants.....	28
3.1. Généralités	28
3.2. Substances annexes intrinsèques.....	28
3.2.1. Facteurs toxiques et antinutritionnels.....	28
3.2.2. Facteurs de protection	30
4. Additifs.....	31
4.1. Définition	32
4.2. Classification.....	33
4.3. Critères d'agrément et d'utilisation d'un additif – Réglementation	33
Questions et exercices	36
Bibliographie	37

Chapitre 2

Des aliments aux nutriments

1. Digestion et absorption des produits de la digestion chez les monogastriques.....	39
1.1. Digestion enzymatique et absorption des glucides	39
1.1.1. Digestion de l'amidon	39
1.1.2. Digestion des oligosaccharides dans l'intestin grêle.....	41
1.1.3. Absorption des oses.....	41
1.1.4. Rôle nutritionnel des fibres chez les monogastriques	42
1.2. Digestion enzymatique et absorption des lipides	43
1.2.1. Digestion intestinale	43
1.2.2. Lipases gastriques et pré gastriques	44
1.2.3. Absorption des lipides.....	44
1.3. Digestion enzymatique des protéines.....	46
1.3.1. Enzymes protéolytiques	46
1.3.2. Digestion stomacale	47
1.3.3. Digestion intestinale.....	48
1.4. Microflore digestive et digestion bactérienne chez les monogastriques.....	48
1.4.1. Nature de la microflore digestive	48
1.4.2. Rôles physiologiques de la microflore	50
2. Digestion et absorption chez les ruminants.....	53
2.1. Fermenteur rumen	53
2.1.1. Paramètres physiologiques du fermenteur rumen	53
2.1.2. Micropopulation du rumen.....	54

2.1.3. Méthodes d'étude de la digestion microbienne dans le rumen	57
2.2. Digestion microbienne des glucides dans le rumen	60
2.2.1. Dégradation des glucides pariétaux et cytoplasmiques – Produits de la digestion	60
2.2.2. Perturbations des processus fermentaires et acidose	63
2.2.3. Absorption des acides gras à courte chaîne	65
2.3. Digestion microbienne des lipides dans le rumen	66
2.3.1. Hydrolyse et hydrogénation des lipides dans le rumen	66
2.3.2. Effet d'un apport supplémentaire de lipides sur la digestion microbienne	66
2.3. Digestion et métabolisme microbien de l'azote alimentaire dans le rumen	68
2.3.1. Dégradation et synthèse de l'azote alimentaire	68
2.3.2. Facteurs agissant sur la dégradation microbienne des protéines alimentaires	69
2.3.3. Facteurs agissant sur la synthèse microbienne	71
3. Digestibilité et biodisponibilité des nutriments	74
3.1. Digestibilité	74
3.1.1. Définition des coefficients de digestibilité	74
3.1.2. Détermination des coefficients de digestibilité	75
3.1.3. Facteurs de variation de la digestibilité dépendant de l'animal	80
3.1.4. Facteurs de variation de la digestibilité dépendant de l'aliment et de la ration	82
3.2. Biodisponibilité des nutriments	86
3.2.1. Notion de biodisponibilité – Définition – Intérêt	86
3.2.2. Mode d'expression de la biodisponibilité	87
3.2.3. Méthodes et critères de mesure de la biodisponibilité	88
4. Modificateurs de la digestion et de la digestibilité	92
4.1. Enzymes	92
4.1.1. Généralités	92
4.1.2. Enzymes utilisées	93
4.2. Antibiotiques	94
4.2.1. Effets zootechniques des antibiotiques	95
4.2.2. Risques potentiels de l'emploi des antibiotiques pour le consommateur et effet sur la qualité des productions animales	96
4.3. Probiotiques	97
4.3.1. Nature et propriétés des probiotiques	97
4.3.2. Effets zootechniques et sanitaires et mode d'action des probiotiques	98
4.4. Prébiotiques	99
4.4.1. Nature et propriétés des prébiotiques	99
4.4.2. Utilisation des prébiotiques en alimentation animale	100
Questions et exercices	101
Bibliographie	102

Chapitre 3

Utilisation métabolique des nutriments énergétiques et azotés

1. Utilisation métabolique des nutriments provenant de la digestion des glucides	105
1.1. Aspects généraux du métabolisme du glucose.....	105
1.2. Utilisation énergétique des glucides alimentaires chez les monogastriques	109
1.3. Utilisation des glucides alimentaires pour la synthèse des graisses de réserve chez les monogastriques.....	109
1.4. Particularités du métabolisme des glucides chez les ruminants.....	110
1.4.1. Origine du glucose	110
1.4.2. Synthèse des lipides de réserve et des graisses du lait	111
2. Utilisation métabolique des lipides alimentaires.....	111
2.1. Généralités	111
2.2. Acides gras essentiels (AGE).....	113
2.2.1. Mise en évidence et nature des AGE	113
2.2.2. Rôle biologique des AGE.....	114
2.2.3. Carence en AGE et sources alimentaires	116
2.3. Rôle énergétique des lipides	116
2.3.1. Utilisation énergétique directe des lipides	116
2.3.2. Stockage des lipides dans le tissu adipeux – Effets de la nature des lipides alimentaires sur la qualité des graisses de réserve	117
2.3.3. Effets des lipides alimentaires sur les lipides de l'œuf	120
2.3.4. Utilisation des lipides alimentaires pour la synthèse des lipides du lait chez les ruminants	121
2.3.5. Utilisation des lipides chez les ruminants non sevrés	123
3. Utilisation métabolique de l'azote alimentaire.....	123
3.1. Métabolisme azoté – Généralités	124
3.1.1. Pool métabolique et pool protéique.....	124
3.1.2. Protéosynthèse, protéolyse, turnover des protéines corporelles, bilan azoté.....	125
3.1.3. Métabolisme des acides aminés	127
3.1.4. Facteurs de variation de la protéosynthèse, de la protéolyse, du turnover des protéines et du bilan azoté.....	134
3.2. Couverture du besoin azoté	141
3.2.1. Facteurs d'efficacité des protéines alimentaires.....	141
3.2.2. Détermination du besoin azoté	149
3.2.4. Problèmes pratiques liés à la couverture du besoin azoté lors de l'établissement des rations.....	152
3.3. Particularités de la nutrition azotée chez les ruminants	158
3.3.1. Considérations générales.....	158
3.3.2. Système PDI : protéines digestibles dans l'intestin	159
3.3.3. Conséquences pratiques du métabolisme microbien de l'azote dans le rumen.....	160
Questions et exercices	163
Bibliographie	165

Chapitre 4 Bioénergétique

1. Introduction	169
2. Définition et mesure de la valeur énergétique brute, digestible et métabolisable des aliments	170
2.1. Énergie brute	170
2.2. Énergie digestible	172
2.3. Énergie métabolisable	172
3. Détermination de l'énergie produite par oxydation des nutriments dans l'organisme et de l'énergie stockée dans les tissus	174
3.1. Calorimétrie directe	174
3.2. Calorimétrie respiratoire	174
3.3. Comment mesurer l'énergie correspondant à une variation de poids ? Le bilan azote carbone	177
4. Composants de la dépense énergétique	178
4.1. Métabolisme basal	178
4.2. Thermogenèse induite par la prise alimentaire et le métabolisme d'entretien	180
4.2.1. Composants de l'extra-chaleur	181
4.2.2. Origine de l'extra-chaleur	182
4.3. Dépenses liées à l'activité physique des animaux	183
4.4. Dépenses liées aux productions animales	185
4.4.1. Définition de l'énergie nette de production et de l'extra-chaleur de production	185
4.4.2. Dépenses de croissance et d'engraissement	185
4.4.3. Dépenses de gestation	187
4.4.4. Dépenses de lactation	187
4.5. Dépenses liées à la thermorégulation. Interactions avec les autres dépenses	188
4.5.1. Définition du noyau central, de l'écorce et équation générale des échanges thermiques	188
4.5.2. Pertes de chaleur	189
4.5.3. Température critique	191
4.5.4. Relation extra-chaleur et thermorégulation	194
4.5.5. Variations pathologiques de la thermogenèse et de la dépense énergétique	194
5. Systèmes et unités de rationnement énergétique	195
5.1. Considérations générales	195
5.2. Systèmes basés sur l'énergie digestible ou métabolisable	196
5.2.1. Remarques générales	196
5.2.2. Utilisation de l'énergie métabolisable pour le rationnement des carnivores domestiques – Considérations critiques	196
5.3. Systèmes basés sur l'énergie nette	199
5.3.1. Ruminants	199
5.3.2. Cheval – Système des UFC	201

Questions et exercices	201
Bibliographie	203

Chapitre 5

Comportement alimentaire et régulation de l'ingéré

1. Définitions et interrogations relatives au comportement alimentaire	205
2. Centres nerveux intégrateurs des informations aboutissant au comportement de faim et de satiété	206
3. Origine de la sensation de faim et initialisation du repas	208
4. Apparition de la satiété et contrôle du volume des repas	209
4.1. Généralités	209
4.2. Facteurs d'encombrement – Réplétion et distension de l'estomac	209
4.3. Osmorécepteurs et pression osmotique du contenu digestif	211
4.4. Signaux métaboliques de satiété	211
4.5. Additivité ou potentialisation des facteurs de satiété entre eux	212
4.6. Mécanisme lipostatique – Rôle de la leptine	212
5. Composantes sensorielles de la prise alimentaire	216
6. Régulation de l'ingéré chez les carnivores et le problème de l'obésité .	220
7. Ingestibilité et satiété chez les ruminants – Paradoxe de l'encombrement	223
8. Quelques points de repère pratiques	225
Bibliographie	226

Chapitre 6

Eau et minéraux

1. Eau	229
1.1. Introduction – Rôle de l'eau dans l'organisme	229
1.2. Répartition de l'eau dans l'organisme	230
1.2.1. Teneur en eau de l'organisme entier et des différents tissus et organes	230
1.2.2. Secteurs ou compartiments hydriques	231
1.3. Bilan de l'eau	231
1.3.1. Apports	232
1.3.2. Pertes	233
1.4. Régulation du bilan de l'eau	237
1.4.1. Régulation comportementale – Soif	237
1.4.2. Régulation rénale	239
1.5. Besoin en eau et couverture	240
1.6. Apports d'eau insuffisants et pathologie	240
1.7. Adaptation du dromadaire au défaut d'abreuvement	242
2. Caractéristiques générales des minéraux	243

3. Macroéléments	245
3.1. Calcium et phosphore	245
3.1.1. Répartition du calcium et du phosphore dans l'organisme et les productions animales	245
3.1.2. Rôles biologiques du calcium et du phosphore	246
3.1.3. Métabolisme du calcium et du phosphore	247
3.1.4. Besoins en phosphore et en calcium	255
3.1.5. Nutrition phosphocalcique et pathologie	258
3.2. Sodium, potassium, chlore	265
3.2.1. Répartition de Na, K, Cl dans l'organisme et dans les productions	265
3.2.2. Rôles biologiques du sodium, du potassium et du chlore	266
3.2.3. Métabolisme du sodium, du potassium et du chlore	267
3.2.4. Exemples de recommandations en sodium, chlore et potassium	269
3.2.5. Effet du niveau d'apport en sodium, potassium et chlore sur les performances et sur l'état de santé de l'animal	270
4. Magnésium	273
4.1. Répartition du magnésium dans l'organisme et dans les productions	273
4.2. Fonctions biologiques du magnésium	274
4.2.1. Excitabilité neuromusculaire	274
4.2.2. Métabolisme	274
4.3. Métabolisme du magnésium	274
4.3.1. Absorption	274
4.3.2. Excrétion	275
4.3.3. Mouvements du magnésium dans l'organisme	275
4.4. Exemple de recommandations	277
4.5. Perturbations de la nutrition magnésienne	277
4.5.1. Carence d'apport en magnésium chez la vache laitière	277
4.5.2. Tétanie d'herbage	278
4.5.3. Perturbations de la nutrition magnésienne chez les carnivores	279
4.5.4. Sex-ratio et équilibre potassium, calcium magnésium dans la ration	280
5. Oligoéléments	280
5.1. Généralités	280
5.1.1. Critères de définition et classification	280
5.1.2. Origine des carences en oligoéléments et facteurs de risque	281
5.1.3. Manifestations cliniques des carences et problèmes posés par leur diagnostic	282
5.1.4. Utilisation des oligoéléments comme additifs zootechniques au-delà de la couverture du besoin nutritionnel	283
5.1.5. Toxicité des oligoéléments	284
5.2. Fer	284
5.2.1. Répartition et fonction physiologique du fer dans l'organisme	284
5.2.2. Métabolisme du fer dans l'organisme	286
5.2.3. Carences en fer	287

5.3. Cuivre.....	290
5.3.1. Répartition et rôle biologique.....	290
5.3.2. Carence en cuivre.....	292
5.3.3. Hépatite par accumulation de cuivre chez le chien.....	295
5.3.4. Cuivre additif de croissance chez le porc.....	295
5.3.5. Intoxication par le cuivre.....	296
5.4. Sélénium.....	296
5.4.1. Répartition – Rôle biologique.....	296
5.4.2. Apports et couverture des besoins.....	297
5.4.3. Carence en sélénium.....	297
5.4.4. Intoxication par le sélénium.....	299
5.5. Manganèse.....	300
5.5.1. Répartition dans l'organisme et rôle biologique.....	300
5.5.2. Besoins en manganèse.....	300
5.5.3. Carence.....	300
5.6. Zinc.....	301
5.6.1. Répartition dans l'organisme et rôle biologique.....	301
5.6.2. Métabolisme.....	302
5.6.3. Recommandations et couverture des besoins.....	302
5.6.4. Perturbations de la nutrition en zinc.....	303
5.7. Iode.....	304
5.7.1. Répartition et rôle biologique.....	304
5.7.2. Métabolisme.....	304
5.7.3. Besoins et apports.....	306
5.7.4. Carences et excès d'iode.....	306
5.8. Cobalt.....	307
5.8.1. Rôle biologique du cobalt.....	307
5.8.2. Besoins et couverture.....	307
5.8.3. Carence en cobalt.....	307
5.9. Fluor.....	308
Questions et exercices.....	309
Bibliographie.....	310

Chapitre 7

Vitamines

1. Généralités.....	315
1.1. Éléments d'histoire.....	315
1.2. Rôle biologique des vitamines.....	316
1.2.1. Relativité de la dépendance alimentaire pour les vitamines – Influence de l'espèce animale.....	317
1.2.2. Déficits, carences et excès vitaminiques en alimentation animale.....	318
1.2.3. Détermination des besoins et élaboration des recommandations.....	318
2. Groupe vitaminique A.....	319
2.1. Structure de la vitamine A et des caroténoïdes.....	319

2.2. Métabolisme du rétinol et des pigments caroténoïdes	322
2.2.1. Rétinol	322
2.2.2. Caroténoïdes	324
2.2.3. Facteurs modifiant le métabolisme du rétinol et des caroténoïdes	326
2.3. Fonctions biologiques du rétinol et des caroténoïdes	326
2.3.1. Caractères généraux	326
2.3.2. Vision	327
2.3.3. Croissance, développement et différenciation des tissus	327
2.3.4. Rôle dans la reproduction	329
2.3.5. Résistance contre les infections et les infestations	329
2.3.6. Rôle antitumoral	330
2.3.7. Fonctions anti-oxydantes spécifiques des caroténoïdes	330
2.3.8. Existe-t-il un besoin spécifique en carotène, distinct du besoin en rétinol, chez les bovins pour la reproduction ? ...	330
2.3.9. Hypervitaminose A	332
2.4. Besoin en vitamine A et sa couverture	332
2.4.1. Critères de détermination du besoin	332
2.4.2. Apport de vitamine A chez l'animal et santé humaine	333
2.4.3. Utilisation pratique des caroténoïdes pour la pigmentation de la peau des volailles et du jaune de l'œuf	333
2.4.5. Exemples de besoins et de recommandations	334
3. Groupe vitaminique D	334
3.1. Nature, répartition, structure et propriétés	335
3.2. Métabolisme	336
3.2.1. Absorption et stockage de la vitamine D d'origine alimentaire	336
3.2.2. Synthèse cutanée du cholécalciferol	336
3.2.3. Synthèse de l'hormone 1,25 diOH D ₃	338
3.2.4. Excrétion des vitamines D	339
3.3. Rôle biologique	339
3.3.1. Fonction biochimique et carence	339
3.3.2. Hypervitaminose D	340
3.4. Besoins – Recommandations – Apports	341
4. Groupe vitaminique E	342
4.1. Structure chimique, propriétés et répartition des vitamines du groupe E	342
4.2. Métabolisme	344
4.3. Rôle biologique	344
4.3.1. Mécanisme d'action cellulaire	344
4.3.2. Carences cliniques en vitamine E	345
4.3.3. Effet de la supplémentation en vitamine E sur les performances et la santé animale	347
4.4. Besoins et recommandations	349
5. Groupe vitaminique K	350
5.1. Nature, structure, propriétés et répartition des vitamines K	350
5.2. Rôle biologique des vitamines K	350

5.2.1. Fonction biochimique.....	350
5.2.2. Carences spontanées en vitamine K chez les animaux	351
5.3. Couverture des besoins et apports en vitamines K	353
6. Groupe vitaminique B	354
6.1. Généralités	354
6.2. Vitamine B ₁ ou thiamine.....	354
6.2.1. Structure, propriétés, répartition.....	354
6.2.2. Rôle biologique de la thiamine.....	358
6.2.3. Besoins et recommandations	359
6.3. Vitamine B ₂ (riboflavine)	360
6.3.1. Structure – Propriétés – Répartition	360
6.3.2. Fonctions biologiques de la riboflavine	360
6.3.3. Besoins et apports.....	362
6.4. Acide pantothénique (vitamine B ₅).....	362
6.4.1. Structure – Propriétés – Répartition	362
6.4.2. Fonctions biologiques	362
6.5. Vitamine B ₆ (pyridoxine).....	363
6.5.1. Structure chimique	363
6.5.2. Fonctions biologiques	363
6.5.3. Recommandations	363
6.6. Vitamine PP (nicotinamide/niacine)	363
6.6.1. Structure chimique	363
6.6.2. Métabolisme : la double origine de la vitamine PP.....	364
6.6.3. Rôle biologique	364
6.6.4. Besoins et recommandations.....	365
6.7. Biotine (vitamine H ou B ₈)	365
6.7.1. Structure chimique – Propriétés – Métabolisme digestif et disponibilité	365
6.7.2. Rôle biologique et carences spontanées en biotine	366
6.7.3. Recommandations et apports	368
6.8. Vitamine B ₁₂ et acide folique.....	368
6.8.1. Structure chimique et propriétés de la vitamine B ₁₂ et de l'acide folique	368
6.8.2. Métabolisme digestif et absorption de la vitamine B ₁₂ chez les monogastriques.....	369
6.8.3. Rôles biologiques de la vitamine B ₁₂ et de l'acide folique	369
6.8.4. Besoins – Recommandations	371
6.9. Vitamines du groupe B dans l'alimentation des ruminants	371
6.9.1. Indépendance alimentaire des ruminants sevrés pour les vitamines du groupe B.....	371
6.9.2. Vitamine B ₁ et nécrose du cortex cérébral	372
6.9.3. Effet d'un supplément de vitamines du groupe B dans la ration des ruminants	373
7. Vitamine C	374
7.1. Structure – Propriétés physicochimiques et répartition de la vitamine C	374
7.2. Métabolisme de l'acide ascorbique.....	375

7.2.1. Dépendance alimentaire en fonction de l'espèce	375
7.2.2. Synthèse de la vitamine C chez les espèces non dépendantes	375
7.2.3. Dégradation et élimination	376
7.3. Rôle biologique de l'acide ascorbique	376
7.3.1. Fonctions biochimiques.....	376
7.3.2. Carence en vitamine C chez le cobaye.....	376
7.3.3. Effet d'un apport de vitamine C chez les espèces non dépendantes	377
7.4. Besoins et apports	377
Questions et exercices	378
Bibliographie	379

Chapitre 8

Allaitement et sevrage chez les mammifères domestiques

Introduction	381
1. Particularités morphologiques, anatomiques et physiologiques du jeune mammifère entre la naissance et le sevrage.....	382
1.1. Vitesse de croissance du nouveau-né.....	382
1.2. Particularités de la régulation thermique	382
1.3. Particularités du métabolisme à la naissance et pendant la période néonatale	384
1.4. Développement du tube digestif	385
1.4.1. Monogastriques	385
1.4.2. Ruminants.....	386
2. Lait et colostrum.....	387
2.1. Composition et valeur alimentaire du lait	387
2.1.1. Composition chimique globale du lait – Facteurs de variation interspécifiques	387
2.1.2. Facteurs intraspécifiques de variation de la composition du lait.....	389
2.1.3. Matières azotées du lait.....	389
2.1.4. Lipides du lait.....	391
2.1.5. Matières minérales du lait	392
2.1.6. Vitamines du lait	392
2.2. Production de lait par la mère et efficacité nutritionnelle	393
2.3. Colostrum.....	394
2.3.1. Composition – Valeur nutritionnelle.....	394
2.3.2. Rôle immunologique du colostrum.....	395
3. Allaitement et sevrage.....	395
3.1. Allaitement naturel.....	396
3.1.1. Comportement maternel : établissement de la relation entre la mère et le nouveau-né.....	396
3.1.2. Rythme des tétées et consommation de lait	396
3.2. Sevrage.....	397

3.3. Allaitement artificiel	399
3.3.1. Allaitement artificiel chez les ruminants producteurs de lait pour la consommation humaine	399
3.3.2. Allaitement artificiel dans les espèces non productrices de lait	400
4. Lait de jabot des pigeons	403
Bibliographie	404
Besoins nutritionnels des animaux domestiques	407
Réponses aux questions et exercices	409
Index	419